

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

Poslijediplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

Doktorski rad

Armiranobetonski konstrukcijski elementi
poboljšane otpornosti na prodor
elektromagnetskog zračenja

Stanko Čolak, univ. mag. ing. aedif.

Osijek, 2025. godine

(prazna stranica ili stranica za posvetu)

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Postgraduate University Study Programme in Civil Engineering

Doctoral dissertation

Reinforced concrete structural elements of improved resistance
to penetration of electromagnetic radiation

Stanko Čolak, univ. mag. ing. aedif.

Osijek, 2025

Prosudbena povjerenstva i bibliografski podaci

Povjerenstvo za prihvaćanje teme doktorskog rada

Povjerenstvo za prihvaćanje teme doktorskog rada imenovano na *n. redovitoj* - *izvanrednoj* sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj dd.mm.gggg. godine:

1. *Izv. prof. dr. sc. Ivan Kraus, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek (predsjednik Povjerenstva)*
2. *Prof. dr. sc. Damir Varevac, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek (član)*
3. *Prof. dr. sc. Boris Trogrlić, dipl. ing. građ., Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu (član)*

Tema i mentori doktorskog rada prihvaćeni su odlukom Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na *n. redovitoj* - *izvanrednoj* sjednici održanoj dd.mm.gggg. godine.

Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada

Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada imenovano na *n. redovitoj* - *izvanrednoj* sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj dd.mm.gggg. godine:

1. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) prvog člana (predsjednik Povjerenstva)*

2. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) drugog člana*
3. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) trećeg člana*

Doktorski rad prihvaćen je odlukom Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na *n. redovitoj - izvanrednoj* sjednici održanoj *dd.mm.gggg. godine*.

Povjerenstvo za obranu doktorskog rada

Povjerenstvo za obranu doktorskog rada imenovano na *n. redovitoj - izvanrednoj* sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj *dd.mm.gggg. godine*:

4. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) prvog člana (predsjednik Povjerenstva)*
5. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) drugog člana*
6. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) trećeg člana*
7. *ime, prezime, znanstveno-nastavno zvanje, akademski naziv i stupanj, visoko učilište i država (ukoliko je visoko učilište izvan Republike Hrvatske) trećeg člana (zamjena)*

Doktorski rad javno je obranjena dd.mm.gggg. godine na Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Doktorski rad sadržava *n stranica, n ilustracija, n tablica, n dodataka i n citiranih publikacija.*

Mentor doktorskog rada je prof. dr. sc. *Damir Varevac, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.*

Prvi komentor doktorskog rada je izv. prof. dr. sc. *Ivana Miličević, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.*

Drugi komentor doktorskog rada je prof. dr. sc. *Slavko Rupčić, dipl. ing. elec., Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija.*

Istraživanje u okviru doktorskog rada pripada znanstvenom području tehničkih znanosti, znanstvenom polju građevinarstvo.

Izjava o akademskoj čestitosti

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je doktorski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te kako nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem kako nisam prijavio doktorski rad s istovjetnom temom na drugom studiju Sveučilišta ili na drugom sveučilištu.

Osijek, *dd.mm.gggg.*

Stanko Čolak, mag. građ.

(prazna stranica)

Sažetak

Istraživanja o armiranobetonskim konstrukcijskim elementima poboljšane otpornosti na prodor elektromagnetskog (EM) zračenja nedovoljno su istraženo područje. U literaturi ne postoji dovoljan broj korisnih, pouzdanih i konzistentnih podataka potrebnih za procjenu utjecaja materijala koji imaju sposobnost upijanja EM zračenja na nosivost armiranobetonskih konstrukcijskih elemenata. Tijekom istraživanja u ovom radu izrađeni su uzorci AB plošnih nosača izmjera 60x60 cm i debljina od 10 do 30 cm. Betonu su dodani različiti materijali za koje se pretpostavljalo da će pružiti zaštitu od EM zračenja. Na uzorcima je izmjeren prodor EM zračenja u frekvencijskom opsegu koji odgovara frekvencijama od radio valova do frekvencija mobilne mreže 5G te je utvrđena razina oklapanja. Koristeći materijale koji su pokazali najbolja EM svojstva izradili su se armiranobetonski elementi i ispitana je mehanička otpornost kako bi se utvrdilo na koji način dodaci betonu utječu na razinu nosivosti. Dane su smjernice za primjenu i daljnja istraživanja naznačenih materijala u plošnim nosačima. Pored nabrojanih općih ciljeva, jedan od najznačajnijih ciljeva istraživanja bio je istražiti i utvrditi mogućnosti povećanja sposobnosti širokopojasnog upijanja elektromagnetske energije betonskih elemenata konstrukcije uporabom različitih materijala koji imaju potencijal za zaštitu od EM zračenja.

Istraživanja su podijeljena u tri faze. Prva faza bila je pregled stanja područja, druga faza obuhvaćala je eksperimentalna ispitivanja u laboratoriju (ispitivanje betonskih elemenata pojačanih različitim materijalima na učinkovitost zaštite od prodora EM zračenja, ispitivanje nosivosti na savijanje elemenata koji pokazuju najbolja svojstva učinkovitosti zaštite od prodora EM zračenja), a u trećoj fazi rada izvršena je analiza dobivenih rezultata i predstavljeni su odgovarajući zaključci.

Istraživanjem u ovom radu dokazano je kako najbolju učinkovitost zaštite pružaju plošni nosači armirani mrežastom armaturom (u gornjoj i donjoj zoni) i čeličnim mikrovalnim rezonatorima ispod gornje zone armature. Ispitivanjima na razini konstrukcijskog elementa dokazano je kako čelični mikrovalni rezonatori ne djeluju štetno na nosivost armiranobetonskog plošnog nosača na savijanje. Dapače, plošni nosači armirani i mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju veću nosivost u odnosu na kontrolni plošni nosač pojačan samo mrežastom armaturom. Svi naznačeni eksperimentalni dokazi potvrđeni su numerički u računalnom programu Ansys, a za pojedine nosače izvršen je i analitički proračun. Ovim su istraživanjima dokazani ciljevi i hipoteze postavljeni na početku rada.

Ključne riječi

armiranobetonski konstrukcijski elementi, plošni nosači, elektromagnetsko zračenje, učinkovitost zaštite, mikrovalni rezonatori, Ansys

Abstract

Research on reinforced concrete (RC) structural elements with improved resistance to electromagnetic (EM) radiation penetration is an under-researched area. In the literature, there is an insufficient number of useful, reliable and consistent data required to evaluate the impact of materials capable of absorbing EM radiation on the load-bearing capacity of RC structural elements. During the research conducted in this dissertation, models of RC slabs measuring 60x60 cm and with thicknesses ranging from 10 to 30 cm were fabricated. Various materials that were assumed to provide protection against EM radiation were added to the concrete. The penetration of EM radiation within the frequency range corresponding to radio waves up to 5G mobile network frequencies was measured on the slabs, and the shielding level was determined. Using the materials that exhibited the best EM properties, RC slabs were fabricated and their mechanical resistance was tested in order to determine how concrete additives affect the load-bearing capacity. Guidelines are provided for the application and further research of the investigated materials in slab elements. One of the most important research objectives was to investigate and determine the possibilities of increasing the broadband electromagnetic energy absorption capacity of concrete structural elements by using different materials with potential for protection against EM radiation.

The research was divided into three phases. The first phase comprised a state-of-the-art review of the field. The second phase involved experimental laboratory testing (testing concrete slabs reinforced with different materials to evaluate the effectiveness of protection against EM radiation penetration, as well as testing the bending load-bearing capacity of slabs that show the best properties of protection against EM radiation penetration), and in the third phase of the work, an analysis of the obtained results was carried out, and the corresponding conclusions were presented.

The research presented in this dissertation demonstrated that the highest shielding efficiency is achieved by slabs reinforced with mesh reinforcement (in the upper and lower zones) and steel microwave resonators placed below the upper reinforcement zone. Tests conducted at the structural element level confirmed that steel microwave resonators do not have a detrimental effect on the bending load-bearing capacity of reinforced concrete slabs. Moreover, slabs reinforced with both mesh reinforcement and steel microwave resonators exhibited a higher load-bearing capacity compared to control slabs reinforced only with mesh reinforcement. All the presented experimental results were confirmed numerically using the software Ansys, and analytical calculations were also performed for selected structural elements. The objectives and hypotheses defined at the beginning of the study were confirmed.

Key words

reinforced concrete structural elements, slabs, electromagnetic radiation, shielding efficiency, microwave resonators, Ansys

Sadržaj

Popis slika.....	XV
Popis tablica.....	XIX
Popis kratica i simbola.....	XXII
Popis engleskih izraza i kratica.....	XXV
1. Uvod.....	1
1.1 Općenito	1
1.2 Svrha i cilj	6
1.3 Metodologija istraživanja	7
1.4 Prikaz po poglavljima.....	9
1.5 Znanstveni doprinos	10
2. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	11
2.1 Uvod.....	11
2.2 Materijali za poboljšanje zaštite od EM zračenja.....	11
2.2.1 Leteći pepeo.....	11
2.2.2 Ugljična vlakna.....	16
2.2.3 Ugljikove nanočestice.....	20
2.2.4 Zgura.....	28
2.2.5 Metalni/željezni oksidi.....	31
2.3 Utjecaj umetaka u betonu na zaštitu od prodora EM zračenja	38
3. Eksperimentalna ispitivanja zaštite na prodor EM zračenja.....	43
3.1 Uvod i opis eksperimentalnih istraživanja.....	43
3.1.1 Sastavi mješavina betona, priprema i njega uzoraka	44
3.1.2 Uzorci plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	51

3.1.3	Metode ispitivanja	60
3.2	Ispitivanja na učinkovitost zaštite od EM zračenja	64
3.2.1	Nearmirani uzorci plošnih nosača	74
3.2.2	Uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785	87
3.2.3	Uzorci plošnih nosača pojačani s čeličnim vlaknima.....	100
3.2.4	Uzorci plošnih nosača pojačani s ugljičnim vlaknima	114
3.2.5	Uzorci plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	127
3.2.6	Usporedba uzoraka plošnih nosača jednakih debljina različitih pojačanja	140
3.2.7	Uzorci plošnih nosača kao dijelovi međukatne konstrukcije	155
4.	Ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata	179
4.1	Eksperimentalna ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata.....	179
4.2	Optimizacija eksperimentalnih rezultata	228
4.3	Numerični model plošnih uzoraka	232
4.4	Proračun analitički prema EC2 (HRN EN-1992-1-1:2013).....	248
5.	Parametarska analiza	259
5.1	Uvod.....	259
5.2	Analiza rezultata ispitivanja nosača na razini konstrukcijskih elemenata	259
5.3	Usporedba plošnih nosača različitih debljina, armatura i klasa betona.....	264
5.3.1	Modeli plošnog nosača za parametarsku analizu	264
5.3.2	Usporedba plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima s plošnim nosačima bez mikrovalnih rezonatora	351
5.3.3	Debljina 15 cm	388
5.3.4	Debljina 20 cm	394
5.3.5	Debljina 25 cm	400
5.3.6	Armatura Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni.....	406
5.3.7	Armatura Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni.....	412

5.3.8	Armatura Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni.....	418
5.3.9	Klasa betona C25/30	424
5.3.10	Klasa betona C30/37	430
5.3.11	Klasa betona C35/45	436
5.4	Zaključci parametarske analize	442
6.	Zaključak i smjernice za daljnja istraživanja	445
6.1	Zaključak.....	445
6.2	Znanstveni doprinosi	451
6.3	Smjernice za daljnja istraživanja.....	451
	Literatura	454
	Prilog – Ponašanja modela plošnih nosača u programu Ansys	458

Popis slika

Slika 2.1	Evolucija konstante prigušenja α u ovisnosti o frekvenciji pri različitim koncentracijama letećeg pepela	12
Slika 2.2	Promjena tlačne čvrstoće u ovisnosti o udjelu letećeg pepela u mortu	13
Slika 2.3	Promjena tangensa gubitka dielektričnosti ($\tan\delta$) u funkciji frekvencije za ispitivane uzorke morta	14
Slika 2.4	Usporedba učinkovitosti zaštite od EM zračenja cilindričnih uzoraka izrađenih od cementne paste s dodatkom raznih vrsta letećeg pepela	15
Slika 2.5	Usporedba učinkovitosti oklapanja uzoraka polimera pojačanih samo ugljičnim vlaknima i uzoraka pojačanih ugljičnim vlaknima oblaganih niklom u vremenu od 3, 5 i 10 minuta	17
Slika 2.6	Vrste tkanina od ugljičnih vlakana: a) obično (jednostavno) tkanje, b) unakrsno (dijagonalno, paralelno) tkanje, c) jednosmjerno tkanje	18
Slika 2.7	Usporedba učinkovitosti EM oklapanja sedam uzoraka tkanina od ugljičnih vlakana	19
Slika 2.8	Uzorci za ispitivanje učinkovitosti zaštite od EM zračenja prema standardu ASTM D4935-18	20
Slika 2.9	Rezultati ispitivanja uzoraka UHPC-a pojačanih ugljikovim nanočesticama i kontrolnog uzorka UHPC-a prema ASTM D4935-18	21
Slika 2.10	Uzorci za ispitivanje učinkovitosti zaštite od EM zračenja prema standardu IEEE-STD-299	22
Slika 2.11	Rezultati učinkovitosti zaštite od EM zračenja s uklonjenim dijelom zaštitne komore za uzorke UHPC-CNT s malim područjem upada, prema standardu IEEE-STD-299	23
Slika 2.12	Usporedba učinkovitosti zaštite od EM zračenja uzoraka UHPC-a pojačanih različitim količinama ugljikovih nanočestica	24
Slika 2.13	Usporedba učinkovitosti zaštite uzoraka čistog betona (M1), betona pojačanog s 2% (M2) i 3% (M3) ugljikovih nanočestica	25
Slika 2.14	Usporedba učinkovitosti zaštite uzoraka kompozitne stijenke čistog betona, betona pojačanog s 2% i 3% ugljikovih nanočestica	26
Slika 2.15	Usporedba učinkovitosti AB oklapanja uzoraka betonskog kompozita različitih debljina pojačanih s 3% ugljikovih nanočestica	27
Slika 2.16	Usporedba rezultata ispitivanja učinkovitosti zaštite nepojačanog keramičkog uzorka i keramičkih uzoraka pojačanih metalurškim zgurama	29
Slika 2.17	Usporedba rezultata ispitivanja tri uzorka cementne paste s dodatkom mješavine zgura	30

Slika 2.18	Rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite i koeficijenta upijanja a) i c) uzoraka zida od glinenih opekarskih elemenata i b) i d) uzoraka u obliku sendviča	32
Slika 2.19	Rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite od EM zračenja kontrolnog uzorka morta bez dodataka i uzoraka morta s dodatkom MS-a	33
Slika 2.20	Rezultati ispitivanja na refleksiju uzoraka morta s dodatkom različitih količina titanijevog dioksida i čeličnih vlakana	35
Slika 2.21	Refleksija cementnih kompozita pojačanih nanočesticama TiO ₂ česticama različitih veličina, s debljinom (a) 1 cm i (b) 2 cm u frekvencijskom rasponu od 2 do 18 GHz	36
Slika 2.22	Utjecaj udjela Mn-Zn ferita na refleksijska svojstva uzoraka	37
Slika 2.23	Usporedba rezultata ispitivanja na učinkovitost oklapanja uzoraka kružnog poprečnog presjeka pomiješanih s različitom količinom bambusova ugljena	39
Slika 2.24	Maksimalna, minimalna i prosječna učinkovitost EM oklapanja	40
Slika 3.1	Čelična vlakna kojima je pojačan uzorak plošnog nosača	48
Slika 3.2	Ugljična vlakna kojima je pojačan uzorak plošnog nosača	48
Slika 3.3	Oblik i raspored križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora koji su ugrađeni u betonski uzorak plošnog nosača	49
Slika 3.4	Oblik i raspored prstenastih čeličnih mikrovalnih rezonatora koji su ugrađeni u betonski uzorak plošnog nosača	49
Slika 3.5	Čelični kalup za plošni nosač	50
Slika 3.6	Uzorak plošnog nosača	50
Slika 3.7	Svježi beton u kalupu izmjera 60x60x30 cm	50
Slika 3.8	Svježi beton u kalupu izmjera 15x15x15 cm	50
Slika 3.9	Uzorak betonske kocke	50
Slika 3.10	Primjer postavljanja križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora	51
Slika 3.11	Primjer postavljanja prstenastih čeličnih mikrovalnih rezonatora	51
Slika 3.12	Izmjere križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora koji su ugrađeni u ispitani uzorak plošnog nosača	52
Slika 3.13	Mikrovalni rezonator	53
Slika 3.14	LC rezonatorska shema	55
Slika 3.15	Uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja mrežaste armature Q785 i s ugrađenim jednim slojem čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature (1 plus 2 arm)	56
Slika 3.16	Uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja mrežaste armature Q785 i s ugrađenom dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora (2 plus 2 arm)	57
Slika 3.17	Uzorak plošnog nosača s ugrađenom dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora (2 plus bez arm)	58

Slika 3.18	Metodologija izrade uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	59
Slika 3.19	Primjer postavljanja mrežaste armature Q785 i mikrovalnih rezonatora u čelične kalupe (lijevo: uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim jednim slojem mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature; desno: uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim dva sloja mikrovalnih rezonatora)	60
Slika 3.20	Grafički prikaz poroznosti mješavina betona	61
Slika 3.21	Grafički prikaz slijeganja mješavina betona	61
Slika 3.22	Usporedba rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće uzoraka mješavina betona	64
Slika 3.23	Probna ispitivanja uzoraka plošnih nosača	67
Slika 3.24	Mrežni analizator <i>KEYSRIGHT FieldFox rf Analyzer N9914A</i>	67
Slika 3.25	Shema eksperimentalnog ispitivanja uzoraka plošnih nosača na učinkovitost zaštite od prodora EM zračenja (bočni i uzdužni pogled)	68
Slika 3.26	Mrežni analizator tipa Anritsu MS2038C	69
Slika 3.27	<i>Hyperlog</i> antena (frekvencijski opseg rada od 500 MHz do 18 GHz)	69
Slika 3.28	<i>Bicolog</i> antena (frekvencijski opseg rada od 50 MHz do 1 GHz)	70
Slika 3.29	Drveni nosač s aluminijskom pločom premazanom zaštitnom bojom	71
Slika 3.30	Uzorak plošnog nosača na drvenom okviru za ispitivanje	73
Slika 3.31	Ispitivanje uzorka plošnog nosača na prodor EM zračenja	73
Slika 3.32	Usporedba koeficijenta refleksije S11 nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih <i>Bicolog</i> antenom	74
Slika 3.33	Usporedba koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih <i>Bicolog</i> antenom	76
Slika 3.34	Usporedba koeficijenata refleksije S11 nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih <i>Hyperlog</i> antenom	80
Slika 3.35	Usporedba koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih <i>Hyperlog</i> antenom	82
Slika 3.36	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih <i>Bicolog</i> antenom	87

Slika 3.37	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	89
Slika 3.38	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	94
Slika 3.39	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	95
Slika 3.40	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	100
Slika 3.41	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	102
Slika 3.42	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	107
Slika 3.43	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	109
Slika 3.44	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	114
Slika 3.45	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	116
Slika 3.46	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	121
Slika 3.47	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	123
Slika 3.48	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	128
Slika 3.49	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom	130

Slika 3.50	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	135
Slika 3.51	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom	136
Slika 3.52	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Bicollog antenom	141
Slika 3.53	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Bicollog antenom	143
Slika 3.54	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Hyperlog antenom	148
Slika 3.55	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Hyperlog antenom	150
Slika 3.56	Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PP1	156
Slika 3.57	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP1 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom	157
Slika 3.58	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP1 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom	157
Slika 3.59	Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PP2	158
Slika 3.60	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP2 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom	158
Slika 3.61	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP2 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom	159
Slika 3.62	Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PK1	160
Slika 3.63	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK1 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom	160
Slika 3.64	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK1 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom	161
Slika 3.65	Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PK2	162
Slika 3.66	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK2 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom	162
Slika 3.67	Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK2 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom	163
Slika 3.68	Eksperimentalno ispitivanje praznog okvira Bicollog antenom	163
Slika 3.69	Eksperimentalno ispitivanje praznog okvira Hyperlog antenom	164
Slika 3.70	Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača mjerenih Bicollog antenom	165
Slika 3.71	Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača mjerenih Bicollog antenom	167

Slika 3.72	Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača mjerenih Hyperlog antenom	172
Slika 3.73	Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača mjerenih Hyperlog antenom	174
Slika 4.1	Raspored pojačanja plošnog nosača prije betoniranja	181
Slika 4.2	Poprečni presjek kontrolnog uzorka armiranobetonskog plošnog nosača (P-K-1 i P-K-2 i krajnje trećine dužine P-K-3)	182
Slika 4.3	Poprečni presjek srednje trećine dužine armiranobetonskog plošnog nosača P-K-3	182
Slika 4.4	Poprečni presjek armiranobetonskog plošnog nosača pojačanog čeličnim mikrovalnim rezonatorima (P-P-1 i P-P-2 i krajnje trećine dužine P-P-3)	183
Slika 4.5	Poprečni presjek srednje trećine dužine armiranobetonskog plošnog nosača pojačanog čeličnim mikrovalnim rezonatorima P-P-3	183
Slika 4.6	Osiguranje zaštitnog sloja i veze između gornje i donje armature na bočnim stranama	184
Slika 4.7	Osiguranje zaštitnog sloja i veze između gornje i donje armature na prednjoj i stražnjoj strani	184
Slika 4.8	Oblik i način vezivanja križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora koji su ugrađeni u ispitani plošni nosač	185
Slika 4.9	Tlocrtne dimenzije ispitivanog plošnog nosača	186
Slika 4.10	Nacrt bočnog pogleda ispitivanog plošnog nosača	186
Slika 4.11	Ispitani plošni nosač	187
Slika 4.12	Hidraulička preša i ispod nje mjerač sile Burster 8438-6200 kapaciteta 200 kN	188
Slika 4.13	LVDT_1 senzor (lijevo) i LVDT_2 senzor (desno)	189
Slika 4.14	Mjerna stanica	189
Slika 4.15	Prikaz mjernog sustava	190
Slika 4.16	Statički sustav eksperimentalnih ispitivanja	191
Slika 4.17	Dijagram momenata savijanja plošnog nosača	193
Slika 4.18	Plošni nosač P-P-1	193
Slika 4.19	Plošni nosač P-P-2	194
Slika 4.20	Plošni nosač P-P-3	194
Slika 4.21	Plošni nosač P-K-1	195
Slika 4.22	Plošni nosač P-K-2	195
Slika 4.23	Plošni nosač P-K-3	196
Slika 4.24	Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-1	197

Slika 4.25	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom	198
Slika 4.26	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom	198
Slika 4.27	Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w (mm)	198
Slika 4.28	Oštećenje plošnog nosača P-P-1 tijekom opterećenja	199 200
Slika 4.29	Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-2	202
Slika 4.30	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom	202
Slika 4.31	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom	203
Slika 4.32	Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w (mm)	203
Slika 4.33	Oštećenje plošnog nosača P-P-2 tijekom opterećenja	204 205
Slika 4.34	Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-3	207
Slika 4.35	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom	207
Slika 4.36	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom	208
Slika 4.37	Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w (mm)	208
Slika 4.38	Oštećenje plošnog nosača P-P-3 tijekom opterećenja	209 210
Slika 4.39	Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-1	212
Slika 4.40	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom	212
Slika 4.41	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom	213
Slika 4.42	Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w (mm)	213
Slika 4.43	Oštećenje plošnog nosača P-K-1 tijekom opterećenja	214 215
Slika 4.44	Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-2	217
Slika 4.45	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom	217
Slika 4.46	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom	218

Slika 4.47	Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w (mm)	218
Slika 4.48	Oštećenje plošnog nosača P-K-2 tijekom opterećenja	219 220
Slika 4.49	Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-3	222
Slika 4.50	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom	222
Slika 4.51	Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom	223
Slika 4.52	Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w (mm)	223
Slika 4.53	Oštećenje plošnog nosača P-K-3 tijekom opterećenja	224 225
Slika 4.54	Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača na savijanje	227
Slika 4.55	Dijagram ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno	228
Slika 4.56	Usporedba dijagrama ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno s plošnim nosačima P-P-1 i P-P-2	229
Slika 4.57	Dijagram ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno	230
Slika 4.58	Usporedba dijagrama ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno s plošnim nosačima P-K-1 i P-K-2	230
Slika 4.59	Usporedba optimiziranih dijagrama ponašanja plošnih nosača	231
Slika 4.60	Usporedba dijagrama ponašanja plošnih nosača P-P-3 i P-K-3	231
Slika 4.61	Model plošnog nosača u programu Ansys	234
Slika 4.62	Dijagram računskog ponašanja betona klase C35/45 zadan u programu Ansys	235
Slika 4.63	Dimenzije, oblik i opterećenje ispitivanog modela plošnog nosača	237
Slika 4.64	Dijagram ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys)	238
Slika 4.65	Simulacija ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys)	242
Slika 4.66	Dijagram ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom (P-K-Ansys)	243
Slika 4.67	Simulacija ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom (P-K-Ansys)	246
Slika 4.68	Grafički prikaz rezultata proračuna modela u programu Ansys	247
Slika 4.69	Uzdužni računski model plošnog nosača	248
Slika 4.70	Dijagram sila-progib plošnog nosača	257
Slika 4.71	Dijagram moment savijanja-progib plošnog nosača	257

Slika 5.1	Usporedba eksperimentalnih rezultata i rezultata numeričkog proračuna plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	261
Slika 5.2	Usporedba eksperimentalnih rezultata, rezultata numeričkog i analitičkog proračuna plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom i bez ugrađenih čeličnih mikrovalnih rezonatora	261
Slika 5.3	Usporedba rezultata ispitivanja svih plošnih nosača eksperimentalnom, numeričkom i analitičkom metodom	262
Slika 5.4	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30	271
Slika 5.5	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30	272
Slika 5.6	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37	273
Slika 5.7	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37	273
Slika 5.8	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45	274
Slika 5.9	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45	275
Slika 5.10	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30	276
Slika 5.11	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30	276
Slika 5.12	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37	277
Slika 5.13	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37	277
Slika 5.14	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45	278
Slika 5.15	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45	279
Slika 5.16	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30	280
Slika 5.17	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30	280
Slika 5.18	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37	281
Slika 5.19	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37	282
Slika 5.20	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45	283
Slika 5.21	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45	283
Slika 5.22	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30	284
Slika 5.23	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30	285
Slika 5.24	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37	286
Slika 5.25	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37	286
Slika 5.26	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45	287
Slika 5.27	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45	288
Slika 5.28	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30	289
Slika 5.29	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30	289
Slika 5.30	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37	290
Slika 5.31	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37	290
Slika 5.32	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45	291

Slika 5.33	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45	292
Slika 5.34	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30	293
Slika 5.35	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30	293
Slika 5.36	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37	294
Slika 5.37	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37	295
Slika 5.38	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45	296
Slika 5.39	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45	296
Slika 5.40	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30	297
Slika 5.41	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30	298
Slika 5.42	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37	299
Slika 5.43	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37	299
Slika 5.44	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45	300
Slika 5.45	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45	301
Slika 5.46	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30	302
Slika 5.47	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30	302
Slika 5.48	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37	303
Slika 5.49	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37	304
Slika 5.50	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45	305
Slika 5.51	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45	305
Slika 5.52	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30	306
Slika 5.53	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30	307
Slika 5.54	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37	308
Slika 5.55	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37	308
Slika 5.56	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45	309
Slika 5.57	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45	310
Slika 5.58	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30	311
Slika 5.59	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30	311
Slika 5.60	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37	312
Slika 5.61	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37	313
Slika 5.62	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45	314
Slika 5.63	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45	314
Slika 5.64	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30	315
Slika 5.65	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30	316
Slika 5.66	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37	317
Slika 5.67	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37	317

Slika 5.68	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45	318
Slika 5.69	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45	319
Slika 5.70	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30	320
Slika 5.71	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30	320
Slika 5.72	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37	321
Slika 5.73	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37	322
Slika 5.74	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45	323
Slika 5.75	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45	323
Slika 5.76	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30	324
Slika 5.77	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30	325
Slika 5.78	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37	326
Slika 5.79	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37	326
Slika 5.80	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45	327
Slika 5.81	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45	328
Slika 5.82	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30	329
Slika 5.83	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30	329
Slika 5.84	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37	330
Slika 5.85	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37	331
Slika 5.86	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45	332
Slika 5.87	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45	332
Slika 5.88	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30	333
Slika 5.89	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30	334
Slika 5.90	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37	335
Slika 5.91	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37	335
Slika 5.92	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45	336
Slika 5.93	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45	337
Slika 5.94	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30	338
Slika 5.95	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30	338
Slika 5.96	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37	339
Slika 5.97	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37	340
Slika 5.98	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45	341
Slika 5.99	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45	341
Slika 5.100	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30	342
Slika 5.101	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30	343
Slika 5.102	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37	344

Slika 5.103	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37	344
Slika 5.104	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45	345
Slika 5.105	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45	346
Slika 5.106	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30	347
Slika 5.107	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30	347
Slika 5.108	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37	348
Slika 5.109	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37	349
Slika 5.110	Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45	350
Slika 5.111	Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45	350
Slika 5.112	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 i P-K-15_Q335-Q196_C25/30	352
Slika 5.113	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 i P-K-15_Q335-Q196_C30/37	353
Slika 5.114	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 i P-K-15_Q335-Q196_C35/45	354
Slika 5.115	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 i P-K-15_Q503-Q335_C25/30	356
Slika 5.116	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 i P-K-15_Q503-Q335_C30/37	357
Slika 5.117	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 i P-K-15_Q503-Q335_C35/45	358
Slika 5.118	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 i P-K-15_Q785-Q503_C25/30	360
Slika 5.119	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 i P-K-15_Q785-Q503_C30/37	361
Slika 5.120	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 i P-K-15_Q785-Q503_C35/45	362
Slika 5.121	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 i P-K-20_Q335-Q196_C25/30	364
Slika 5.122	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 i P-K-20_Q335-Q196_C30/37	365
Slika 5.123	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 i P-K-20_Q335-Q196_C35/45	366
Slika 5.124	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 i P-K-20_Q503-Q335_C25/30	368
Slika 5.125	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 i P-K-20_Q503-Q335_C30/37	369
Slika 5.126	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 i P-K-20_Q503-Q335_C35/45	370

Slika 5.127	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 i P-K-20_Q785-Q503_C25/30	372
Slika 5.128	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37	373
Slika 5.129	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 i P-K-20_Q785-Q503_C35/45	375
Slika 5.130	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 i P-K-25_Q335-Q196_C25/30	376
Slika 5.131	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 i P-K-25_Q335-Q196_C30/37	378
Slika 5.132	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 i P-K-25_Q335-Q196_C35/45	379
Slika 5.133	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 i P-K-25_Q503-Q335_C25/30	381
Slika 5.134	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 i P-K-25_Q503-Q335_C30/37	382
Slika 5.135	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 i P-K-25_Q503-Q335_C35/45	384
Slika 5.136	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 i P-K-25_Q785-Q503_C25/30	385
Slika 5.137	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 i P-K-25_Q785-Q503_C30/37	386
Slika 5.138	Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 i P-K-25_Q785-Q503_C35/45	388
Slika 5.139	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	390
Slika 5.140	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	393
Slika 5.141	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	396
Slika 5.142	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	399
Slika 5.143	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	402
Slika 5.144	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	405

Slika 5.145	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	408
Slika 5.146	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	411
Slika 5.147	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	414
Slika 5.148	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	417
Slika 5.149	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	420
Slika 5.150	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	423
Slika 5.151	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	426
Slika 5.152	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/35 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	429
Slika 5.153	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	432
Slika 5.154	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	435
Slika 5.155	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	438
Slika 5.156	Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	441

Popis tablica

Tablica 1.1	Glavne vrste EM zračenja sa svojim značajkama	1
Tablica 1.2	Podpojasevi radio i mikrovalova promatranih frekvencija u ovom radu	3
Tablica 2.1	Ispitani uzorci morta sa svojim sastavom	12
Tablica 3.1	Ispitani uzorci plošnog nosača	43
Tablica 3.2	Sastav mješavine betona nearmiranog uzorka plošnog nosača i uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785	46
Tablica 3.3	Sastav mješavine betona uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima (0,5%)	46
Tablica 3.4	Sastav mješavine betona uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima (0,8%)	47
Tablica 3.5	Sastav mješavine betona uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima	47
Tablica 3.6	Rezultati ispitivanja poroznosti i slijeganja pojedinih mješavina betona	61
Tablica 3.7	Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće nepojačane mješavine betona	62
Tablica 3.8	Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavine betona koja sadrži 0,5% čeličnih vlakana od ukupne mase	62
Tablica 3.9	Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavine betona koja sadrži 0,8% čeličnih vlakana od ukupne mase	63
Tablica 3.10	Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavine betona koja sadrži 1,5% ugljičnih vlakana	63
Tablica 3.11	Ispitani uzorci plošnog nosača	65
Tablica 3.12	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 nearmiranih uzoraka plošnih nosača pri frekvenciji 0,47 GHz	75
Tablica 3.13	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije	77
Tablica 3.14	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije	77
Tablica 3.15	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	78
Tablica 3.16	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	79
Tablica 3.17	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 nearmiranih uzoraka plošnih nosača pri frekvenciji 1,48 GHz	81

Tablica 3.18	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	83
Tablica 3.19	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	84
Tablica 3.20	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije	85
Tablica 3.21	Tablični prikaz najvećih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije	86
Tablica 3.22	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 pri frekvenciji 0,43 GHz	88
Tablica 3.23	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 pri frekvenciji 0,49 GHz	88
Tablica 3.24	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru vrlo visoke frekvencije	90
Tablica 3.25	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru vrlo visoke frekvencije	91
Tablica 3.26	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije	92
Tablica 3.27	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije	93
Tablica 3.28	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 pri frekvenciji 6,7 GHz	94
Tablica 3.29	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije	96
Tablica 3.30	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije	97
Tablica 3.31	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru super visoke frekvencije	98
Tablica 3.32	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru super visoke frekvencije	99

Tablica 3.33	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima pri frekvenciji 0,43 GHz	101
Tablica 3.34	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije	103
Tablica 3.35	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije	104
Tablica 3.36	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	105
Tablica 3.37	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	106
Tablica 3.38	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima pri frekvenciji 10,74 GHz	108
Tablica 3.39	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	110
Tablica 3.40	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	111
Tablica 3.41	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije	112
Tablica 3.42	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije	113
Tablica 3.43	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima pri frekvenciji 0,44 GHz	115
Tablica 3.44	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima pri frekvenciji 0,49 GHz	115
Tablica 3.45	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije	117
Tablica 3.46	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije	118
Tablica 3.47	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	119
Tablica 3.48	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	120

Tablica 3.49	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima pri frekvenciji 6,7 GHz	122
Tablica 3.50	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	124
Tablica 3.51	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije	125
Tablica 3.52	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije	125
Tablica 3.53	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije	126
Tablica 3.54	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima pri frekvenciji 0,47 GHz	129
Tablica 3.55	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru vrlo visoke frekvencije	131
Tablica 3.56	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije	132
Tablica 3.57	Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije	133
Tablica 3.58	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije	134
Tablica 3.59	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima pri frekvenciji 15,44 GHz	136
Tablica 3.60	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije	137
Tablica 3.61	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije	138
Tablica 3.62	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru super visoke frekvencije	139
Tablica 3.63	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru super visoke frekvencije	140

Tablica 3.64	Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) mjerenih Bicollog antenom pri frekvenciji 0,5 GHz	142
Tablica 3.65	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru vrlo visoke frekvencije	144
Tablica 3.66	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru vrlo visoke frekvencije	145
Tablica 3.67	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije	146
Tablica 3.68	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije	147
Tablica 3.69	Tablični prikaz vrijednosti koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) pri frekvenciji 3,5 GHz	149
Tablica 3.70	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije	151
Tablica 3.71	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije	152
Tablica 3.72	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru super visoke frekvencije	153
Tablica 3.73	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije	154
Tablica 3.74	Ispitani uzorci plošnih nosača	155
Tablica 3.75	Tablični prikaz koeficijenata refleksije uzoraka plošnih nosača mjerenih Bicollog antenom pri frekvenciji $\approx 0,49$ GHz	166
Tablica 3.76	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije	168
Tablica 3.77	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije	169
Tablica 3.78	Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	170
Tablica 3.79	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	171
Tablica 3.80	Tablični prikaz koeficijenata refleksije uzoraka plošnih nosača mjerenih Hyperlog antenom pri frekvenciji 15,03 GHz	173

Tablica 3.81	Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	175
Tablica 3.82	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije	176
Tablica 3.83	Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije	177
Tablica 3.84	Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije	178
Tablica 4.1	Izrađeni plošni nosači	180
Tablica 4.2	Sastav mješavine betona od kojeg su izrađivani plošni nosači	181
Tablica 4.3	Rezultati ispitivanja plošnog nosača na razini konstrukcijskih elemenata	226
Tablica 4.4	Rezultati ispitivanja plošnih nosača s optimiziranim rezultatima P-P eksperimentalno i P-K eksperimentalno	231
Tablica 4.5	Mehanička svojstva betona	235
Tablica 4.6	Mehanička svojstva armature	236
Tablica 4.7	Mehanička svojstva mikrovalnih rezonatora	236
Tablica 4.8	Tablični prikaz ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys)	238
Tablica 4.9	Tablični prikaz ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom (P-K-Ansys)	243
Tablica 4.10	Rezultati proračuna modela	247
Tablica 5.1	Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača eksperimentalnom metodom, u programu Ansys i analitičkom metodom	260
Tablica 5.2	Modeli plošnih nosača kojima je izvršena parametarska analiza	265
Tablica 5.3	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 i P-K-15_Q335-Q196_C25/30	352
Tablica 5.4	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 i P-K-15_Q335-Q196_C30/37	353
Tablica 5.5	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 i P-K-15_Q335-Q196_C35/45	355
Tablica 5.6	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 i P-K-15_Q503-Q335_C25/30	356
Tablica 5.7	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 i P-K-15_Q503-Q335_C30/37	357
Tablica 5.8	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 i P-K-15_Q503-Q335_C35/45	359
Tablica 5.9	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 i P-K-15_Q785-Q503_C25/30	360

Tablica 5.10	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 i P-K-15_Q785-Q503_C30/37	361
Tablica 5.11	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 i P-K-15_Q785-Q503_C35/45	363
Tablica 5.12	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 i P-K-20_Q335-Q196_C25/30	364
Tablica 5.13	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 i P-K-20_Q335-Q196_C30/37	365
Tablica 5.14	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 i P-K-20_Q335-Q196_C35/45	367
Tablica 5.15	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 i P-K-20_Q503-Q335_C25/30	368
Tablica 5.16	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 i P-K-20_Q503-Q335_C30/37	369
Tablica 5.17	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 i P-K-20_Q503-Q335_C35/45	371
Tablica 5.18	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 i P-K-20_Q785-Q503_C25/30	372
Tablica 5.19	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37	374
Tablica 5.20	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 i P-K-20_Q785-Q503_C35/45	375
Tablica 5.21	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 i P-K-25_Q335-Q196_C25/30	377
Tablica 5.22	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 i P-K-25_Q335-Q196_C30/37	378
Tablica 5.23	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 i P-K-25_Q335-Q196_C35/45	380
Tablica 5.24	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 i P-K-25_Q503-Q335_C25/30	381
Tablica 5.25	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 i P-K-25_Q503-Q335_C30/37	383
Tablica 5.26	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 i P-K-25_Q503-Q335_C35/45	384
Tablica 5.27	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 i P-K-25_Q785-Q503_C25/30	385
Tablica 5.28	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37	387
Tablica 5.29	Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 i P-K-25_Q785-Q503_C35/45	388

Tablica 5.30	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima	391
Tablica 5.31	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	394
Tablica 5.32	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima	397
Tablica 5.33	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	400
Tablica 5.34	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima	403
Tablica 5.35	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	406
Tablica 5.36	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	409
Tablica 5.37	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	412
Tablica 5.38	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	415
Tablica 5.39	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	418
Tablica 5.40	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	421
Tablica 5.41	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	424
Tablica 5.42	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	427
Tablica 5.43	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/35 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	430
Tablica 5.44	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	433

Tablica 5.45	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	436
Tablica 5.46	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima	439
Tablica 5.47	Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora	442

Popis kratica i simbola

AB	Armiranobetonski
EM	Elektromagnetsko
UV	Ultraljubičasto
Fe_2O_3	Hematit; željezni (III) oksid
FeO	željezni (II) oksid
CaO	Kalcijev oksid
Al_2O_3	Aluminijev (III) oksid
SiO_2	Silicijev (IV) oksid
MgO	Magnezijev (II) oksid
MnO	Manganov (II) oksid
ZnO	cinkov (II) oksid
TiO_2	titanijev (IV) oksid
Fe_3O_4	Magnetit; željezni (II,III) oksid
MnFe_2O_4	Mangan-ferit; mangan (II) željezov (III) oksid
ZnFe_2O_4	Cink-ferit; cink (II) željezov (III) oksid
CoFe_2O_4	Kobalt-ferit; kobalt (II) željezov (III) oksid
RC+	Uzorak plošnog nosača armirani mrežastom armaturom i s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
RCO	Uzorak plošnog nosača armirani mrežastom armaturom i s ugrađenim prstenastim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
SE_{eff}	Efektivna učinkovitost EM oklapanja
SE_{otvor}	Učinkovitost EM oklapanja praznog okvira
SE_{ref}	Refleksija EM zračenja
SE_{abs}	Upijanje EM zračenja
NC100	Nearmirani uzorak plošnog nosača debljine 10 cm
NC200	Nearmirani uzorak plošnog nosača debljine 20 cm
NC300	Nearmirani uzorak plošnog nosača debljine 30 cm
RC200	Uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 debljine 20 cm
RC250	Uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 debljine 25 cm
RC300	Uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 debljine 30 cm
SFC200	Uzorak plošnog nosača pojačan s čeličnim vlaknima debljine 20 cm
SFC250	Uzorak plošnog nosača pojačan s čeličnim vlaknima debljine 25 cm
SFC300	Uzorak plošnog nosača pojačan s čeličnim vlaknima debljine 30 cm

CFC200	Uzorak plošnog nosača pojačan s ugljičnim vlaknima debljine 20 cm
CFC250	Uzorak plošnog nosača pojačan s ugljičnim vlaknima debljine 25 cm
CFC300	Uzorak plošnog nosača pojačan s ugljičnim vlaknima debljine 30 cm
2RC+	Uzorak plošnog nosača s ugrađena dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora
2RCO	Uzorak plošnog nosača s ugrađena dva sloja čeličnih prstenastih mikrovalnih rezonatora
2RC+ 2RC	Uzorak plošnog nosača s ugrađenim križnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom Q785 u obje zone
2RCO 2RC	Uzorak plošnog nosača s ugrađenim prstenastim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom Q785 u obje zone
1RC+ 2RC	Uzorak plošnog nosača s ugrađenim jednim slojem križnih mikrovalnih rezonatora i mrežastom armaturom Q785 u obje zone
1RCO 2RC	Uzorak plošnog nosača s ugrađenim jednim slojem prstenastih mikrovalnih rezonatora i mrežastom armaturom Q785 u obje zone
NC-0	Mješavina betona za nearmirani uzorak plošnog nosača
RC-0	Mješavina betona za armirani uzorak plošnog nosača
SFRC-0,5	Mješavina betona za uzorak plošnog nosača pojačan s 0,5 % čeličnih vlakana
SFRC-0,8	Mješavina betona za uzorak plošnog nosača pojačan s 0,8 % čeličnih vlakana
CFC-1,5	Mješavina betona za uzorak plošnog nosača pojačan s 1,5 % ugljičnih vlakana
f_m	Rezonantna frekvencija LC rezonatora
f_1	prva i osnovna rezonancija
m	Broj rezonancija
f	Frekvencija pojedinačne rezonancije
L	Induktivitet zavojnice
C	Kapacitet kondenzatora
1plus 2arm	Uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim jednim slojem mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature
2plus 2arm	Uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađena dva sloja mikrovalnih rezonatora
2plus bez arm	Uzorak plošnog nosača s ugrađena dva sloja mikrovalnih rezonatora
S_{11}	Koeficijent refleksije
S_{21}	Koeficijent transmisije
E_1	Količina puštenog EM zračenja iz antene 1
E_r	Količina reflektiranog EM zračenja

E_2		Količina EM zračenja koje je prešlo na drugu stranu i došlo do antene 2
PP1		Uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
PP2		Uzorak plošnog nosača armiran dvostrukom mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
PK1		Uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 u gornjoj zoni
PK2		Uzorak plošnog nosača armiran dvostrukom mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 u gornjoj zoni
P-P-1	P-P-2	Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
P-P-3		Plošni nosač armiran mrežastom armaturom Q335 s dvostrukim preklopom u srednjoj trećini dužine u donjoj zoni, a Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
P-K-1	P-K-2	Kontrolni plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 u gornjoj zoni
P-K-3		Kontrolni plošni nosač armiran mrežastom armaturom Q335 s dvostrukim preklopom u srednjoj trećini dužine u donjoj zoni, a Q196 u gornjoj zoni
ΣY		Zbroj svih sila po Y komponenti (za statički sustav u stanju ravnoteže zbroj svih sila mora biti jednak nuli)
ΣM_A		Zbroj momenata oko točke A (za statički sustav u stanju ravnoteže zbroj svih momenata oko određene točke mora biti jednak nuli)
R_A		Reakcija u osloncu A
R_B		Reakcija u osloncu B
P		Ukupna sila koja opterećuje plošni nosač
w_1		Progib gornjeg ruba AB plošnog nosača očitao LVDT_1 senzorom
w_2		Progib gornjeg ruba AB plošnog nosača očitao LVDT_2 senzorom
w		Srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitao LVDT_1 senzorom i w_2 očitao LVDT_2 senzorom
P-P-Ansys		Model plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni u programu Ansys
P-P eksperimentalno		Optimizirani plošni nosač armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
P-K eksperimentalno		Optimizirani plošni nosač armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 u gornjoj zoni

P-K-Ansys	Model plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 u gornjoj zoni u programu Ansys
M_{cr}	Moment pri pojavi prve pukotine
f_{ctm}	Srednja vlačna čvrstoća betona
W_0	otporni moment poprečnog presjeka plošnog nosača
f_{ck}	Karakteristična tlačna čvrstoća betona na uzorku valjka
b	Računska širina plošnog nosača
h	Visina plošnog nosača
v_{tot}	Ukupni progib prema HRN EN 1992-1-1
k	Koeficijent koji ovisi o obliku statičkog sustava i načinu opterećenja
L	Raspon plošnog nosača
$\frac{1}{r_{tot}}$	Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka plošnog nosača
$\frac{1}{r_m}$	Srednja zakrivljenost uzrokovana opterećenjem i puzanjem betona
$\frac{1}{r_{csm}}$	Srednja zakrivljenost uzrokovana skupljanjem betona
ζ	Koeficijent raspodjele zakrivljenosti
$\frac{1}{r_I}$	Zakrivljenost poprečnog presjeka uzrokovana opterećenjem i puzanjem u stadiju I (prije pojave prve pukotine)
$\frac{1}{r_{II}}$	Zakrivljenost poprečnog presjeka u stadiju II (nakon pojave prve pukotine)
β_1	Koeficijent prionjivosti armature
B_2	Koeficijent opterećenja
σ_{sr}	Naprezanje u armaturi pri pojavi prve pukotine
σ_s	Naprezanje u armaturi u stadiju II
M_{sd}	Računski moment savijanja
E_{cm}	modul elastičnosti betona
I_I	moment tromosti presjeka u stadiju I
ϵ_{s1}	relativna deformacija vlačne armature
d	statička visina presjeka
Y_{IIg}	udaljenost od neutralne osi do tlačnog ruba u stadiju II
d_1	Udaljenost od vlačnog ruba do težišta armature
α_e	Omjer modula elastičnosti armature (200000 MPa) i betona
Y_{Id}	Udaljenost od vlačnog ruba do neutralne osi
A_{s1}	Površina armature u vlačnoj zoni
f_{cd}	Računska tlačna čvrstoća betona

f_{yd}	Računska granica razvlačenja armature
M_{Rd}	Dopušteni moment savijanja
E_s	Modul elastičnosti armature
z	Krak unutrašnjih sila
A_{s2}	Površina armature u tlačnoj zoni
d_2	Udaljenost od težišta tlačne armature do tlačnog ruba
y_{lig}	Udaljenost od neutralne osi do tlačnog ruba
P-K-Analiitički	Model plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 u gornjoj zoni proračunat prema HRN EN 1992-1-1:2013
P-P-15_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-K-15_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora

P-K-15_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-P-20_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

P-P-20_ Q785- Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-K-20_ Q335- Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q335- Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q335- Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q503- Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q503- Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q503- Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q785- Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q785- Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_ Q785- Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-P-25_ Q335- Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_ Q335- Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_ Q335- Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_ Q503- Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_ Q503- Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

P-P-25_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-K-25_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora

Popis engleskih izraza i kratica

<i>Engleski</i>	<i>Kratica</i>	<i>Hrvatski</i>
<i>Very High Frequency</i>	VHF	Vrlo visoka frekvencija
<i>Ultra High Frequency</i>	UHF	Ultra visoka frekvencija
<i>Super High Frequency</i>	SHF	Super visoka frekvencija
<i>International Comision on Non-Ionizing Radiation Protection</i>	ICNIRP	Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja
<i>Electromagnetic Interference</i>	EMI	Elektromagnetske smetnje
<i>Reflection</i>	R	Refleksija
<i>Absorbtion</i>	A	Upijanje
<i>Shielding efficiency</i>	SE	Učinkovitost oklapanja
<i>Electromagnetic Interference – Shielding Effectiveness</i>	EMI-SE	Učinkovitost oklapanja od elektromagnetskih smetnji
<i>Magnetic fly ash</i>	MFA	Magnetski leteći pepeo
<i>Fly ash</i>	FA	Leteći pepeo
<i>Non magnetic fly ash</i>	NMFA	Nemagnetski leteći pepeo
<i>Carbon fibers</i>	CF	Ugljična vlakna
<i>Carbon fiber reinforced polymer</i>	CFRP	Polimeri armirani ugljičnim vlaknima
<i>Carbon fiber composites</i>	CFC	Tkanina od ugljičnih vlakana
<i>Carbon nanotubes</i>	CNT	Ugljikove nanočestice
<i>Single-walled carbon nanotubes</i>	SWCNT	Jednoslojne ugljikove nanočestice
<i>Multi-walled carbon nanotubes</i>	MWCNT	Višeslojne ugljikove nanočestice
<i>Ultra-High Performance Concrete</i>	UHPC	Ultra-visokoučinkoviti beton
<i>Electric arc furnace slag</i>	EAFS	Zgure iz elektrolučne peći
<i>Ladle furnace slag</i>	LFS	Zgure iz lonac peći
<i>Basic Oxygen Furnace Slag</i>	BOFS	Zgure iz kisikovih konvertora
<i>Mili scale</i>	MS	Toplo valjani čelik
<i>Superplasticizer</i>	SP	Superplastifikator
<i>Non-reinforced concrete</i>	NC	Nearmirani beton
<i>Reinforced concrete</i>	RC	Armirani beton
<i>Steel fiber reinforced concrete</i>	SFRC	Beton pojačan čeličnim vlaknima
<i>Carbon fiber concrete</i>	CFC	Beton s ugljičnim vlaknima

1. Uvod

1.1 Općenito

Današnje društvo velikim dijelom ovisi o protoku informacija koji se uglavnom odvija bežičnim putem. Najčešći izvori zračenja su pristupne točke Wi-Fi mreža, mobilne telefonske mreže, radio- i televizijski signali te niskofrekvencijska elektromagnetska (EM) polja koja potječu od mrežnih struja. Elektromagnetsko zračenje oblik je energije koji se širi prostorom u obliku valova koji se kreću brzinom svjetlosti (oko 300000 km/s u vakuumu) i nastaje kombinacijom električnoga i magnetskoga polja. Elektromagnetsko zračenje nastaje kada se nabijena čestica (npr. elektron) ubrzava, pri čemu stvara promjenjivo električno i magnetsko polje, a ta polja osciliraju okomito jedno na drugo i okomito na smjer širenja vala. Glavne vrste EM zračenja, od najmanje do najveće frekvencije, sa svojim karakteristikama prikazane su u tablici 1.1 [1].

Tablica 1.1: Glavne vrste EM zračenja sa svojim značajkama [1]

Vrsta zračenja	Valna duljina	Raspon frekvencija	Opasnost	Primjeri
Radio valovi	Iznad 1 m	do 300 MHz	niska, mogu imati biološki učinak kod dugotrajne izloženosti visokim intenzitetima	Radio, mobilni telefoni,
Mikrovalovi	od 1 mm do 1 m	od 300 MHz do 300 GHz	umjerena, termalni učinci su grijanje tkiva, dok su netermalni učinci još uvijek predmet rasprava	Wi-Fi, radar, mikrovalna pećnica
Infracrveno zračenje	od 700 nm do 1 mm	od 300 GHz do 400 THz	niska-umjerena, visoki intenzitet može izazvati opekline	Grijalice, daljinski upravljač
Vidljiva svjetlost	od 400 nm do 700 nm	od 400 THz do 770 THz	umjerena, prejaka svjetlost može oštetiti oči	Sunce, rasvjeta, laseri
Ultraljubičasto (UV) zračenje	od 10 nm do 400 nm	od 70 THz do 30 PHz	visoka (mutagena), uzrokuje rak kože,	UV lampe, Sunčeva

			opekline, oštećenje DNK	svjetlost, sterilizacija
Rendgensko (x) zračenje	od 0,01 nm do 10 nm	od 30 PHz do 30 EHz	vrlo visoka, uzrokuje mutacije i rak	Medicina (rendgen), sigurnosni skeneri
Gama (γ) zračenje	manje od 0,01 nm	Iznad 30 EHz	ekstremno visoka, može ozbiljno oštetiti stanice i DNK	Nuklearna fizika, radioterapija

Razlikujemo neionizirajuće i ionizirajuće zračenje. Neionizirajuća zračenja su elektromagnetski valovi koji nemaju dovoljno energije da izbace elektrone iz atoma, pa zbog toga ne uzrokuju ionizaciju i nemaju dovoljnu energiju za razbijanje ljudskog DNK. Ionizirajuće zračenje je ono zračenje koje ima dovoljno energije da izbije elektrone iz atoma i stvara ione, radi čega može ozbiljno oštetiti stanice u tijelu, posebno DNK, što može dovesti do ozbiljne bolesti, uključujući rak. Radio valovi, mikrovalovi, infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost i jedan dio ultraljubičastog zračenja (do 3 PHz) spadaju u neionizirajuće zračenje, dok ultraljubičasto (iznad 3 PHz), rendgensko i gama zračenje spadaju u ionizirajuće zračenje. Neionizirajuće zračenje se nalazi u frekvencijskom rasponu od 0 Hz do 3 PHz ($3 \cdot 10^{15}$ Hz). U ovom radu promatra se neionizirajuće zračenje u rasponu frekvencija od 50 MHz do 18 GHz. U tablici 1.2 prikazani su podpojasevi radio i mikrovalova promatranih frekvencija u ovom radu s pojedinim primjenama i rasponom frekvencija [1].

Tablica 1.2: Podpojasevi radio i mikrovalova promatranih frekvencija u ovom radu [1]

Podpojas	Primjena	Raspon frekvencija
Vrlo visoka frekvencija (VHF, eng. <i>Very High Frequency</i>) raspona od 30 do 300 MHz	FM radio prijenos	Od 88 do 108 MHz
	Zrakoplovna komunikacija	Od 118 do 137 MHz
	Pomorski VHF radio	Od 156 do 162 MHz
Ultra visoka frekvencija (UHF, eng. <i>Ultra High Frequency</i>) raspona od 300 MHz do 3 GHz	Digitalni TV	Od 470 do 860 MHz
	Mobilni telefoni	(900 MHz, 1,8 GHz...)
	Wi-Fi	2,4 GHz
Super visoka frekvencija (SHF, eng. <i>Super High Frequency</i>) raspona od 3 do 30 GHz	5G mobilna mreža n78 (glavni komercijalni pojas u Europi)	3,5 GHz
	Wi-Fi	5 GHz
	Meteorološki radari	Od 5 do 10 GHz

Vijeće Europe je svojom Rezolucijom 1815 [2] pod nazivom „Potencijalne opasnosti od elektromagnetskih polja i njihov utjecaj na okoliš“ koja je donesena 2011. godine pozvalo sve europske vlade da poduzmu potrebne mjere kako bi se smanjila izloženost EM zračenju. Razlozi za donošenje Rezolucije 1815 su sljedeći:

- sve veća zabrinutost zbog sve veće prisutnosti izvora EM zračenja u svakodnevnom životu, npr. mobilni telefoni, bazne stanice, Wi-Fi, bežični uređaji...,
- upozorenje dijela znanstvene zajednice na moguće biološke učinke niskih razina zračenja, čak i ako su ispod službeno dopuštenih granica,
- dugoročni učinci EM zračenja nisu još dovoljno proučeni,
- Vijeće se vodilo načelom predostrožnosti prema kojem je bolje djelovati ranije ako postoji rizik nego čekati da šteta bude dokazana (opasnost nije dokazana, ali ni isključena, pogotovo za osjetljive skupine poput djece i trudnica).

Zbog tih stvari je Vijeće Europe pozvalo sve zemlje članice da smanje izloženost EM zračenju, posebno djece i mladih, promiču korištenje žičane veze umjesto Wi-Fi, izbjegavaju bežične mreže u školama koliko je god moguće i financiraju neovisna istraživanja o dugoročnim učincima EM zračenja.

Rezolucija 1815 preporučuje maksimalnu jakost električnog polja 0,6 V/m, a cilj je dosegnuti jakost od 0,2 V/m u unutrašnjim prostorima poput škola ili vrtića, dok trenutno važeći EU standardi Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja ICNIRP (eng. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) [3] predviđaju maksimalne granice jakosti električnog polja u iznosu od 40 V/m (preporuke Vijeća Europe bile su oko 100 puta strože). Hrvatski zakoni se u ovom trenutku oslanjaju na ICNIRP smjernice iz 1998., koje smatraju kako su ove razine sigurne prema trenutno dostupnim znanstvenim dokazima.

Područje istraživanja ove teme su materijali koji se koriste za poboljšanje svojstava na prodor EM zračenja i njihov utjecaj u betonskim konstrukcijskim elementima na učinkovitost zaštite od EM zračenja. EM oklapanje je sustav zaštite kojim se sprječava ili smanjuje prodor EM zračenja u neki prostor, uređaj ili sustav ili iz njega prema van. Ciljevi EM oklapanja su zaštita ljudi, uređaja i sustava od neželjenih elektromagnetskih smetnji (EMI, eng. *Electromagnetic Interference*), sprječavanje curenja EM zračenja iz izvora u okolinu i očuvanje funkcionalnosti osjetljive elektronike u prisustvu vanjskih EM polja. Postoje tri vrste elektromagnetskog oklapanja:

- Reflektivno (vodljivo) oklapanje – oklapanje pri kojem se EM val odbija na granici između dva medija zbog razlike u njihovim elektromagnetskim impedancijama, npr. kada EM val naiđe na vodljivi materijal poput metala, većina energije se reflektira prema izvoru.
- Magnetsko oklapanje – oblik elektromagnetske zaštite koji se temelji na apsorpciji magnetske komponente EM vala pomoću materijala s visokom magnetskom permeabilnošću. Ova vrsta oklapanja je ključna za zaštitu pri niskofrekventnim magnetskim poljima (od 10 Hz do 100 MHz). Cilj je preusmjeriti, oslabiti ili apsorbirati magnetsko polje.
- Dielektrično oklapanje – oblik elektromagnetske zaštite kod kojeg se EM valovi apsorbiraju i raspršuju unutar dielektričnog materijala, pri čemu dolazi do

dielektričnih gubitaka i slabljenja vala. Ova vrsta oklapanja je učinkovita za zaštitu pri višim frekvencijama (od 100 MHz do 100 GHz) i često se koristi u kombinaciji s magnetskim i vodljivim materijalima u kompozitnim rješenjima [4].

Poboljšanje svojstava materijala na zaštitu od prodora EM zračenja najbolje se opisuje pomoću učinkovitosti oklapanja (SE, eng. *shielding efficiency*) koja se definira kao zbroj gubitka upijanja tijekom transporta valova u mediju i gubitka refleksije za valove unutar i izvan zaštitnog materijala.

Općenito, postoje dvije vrste gubitka elektromagnetskih valova:

- gubitak u refleksiji valova na medijskom materijalu,
- gubitak u transportu valova koji se naziva i gubitak upijanja [5].

Ukupni gubitak elektromagnetskih valova tijekom transporta kroz zaštitni materijal predstavljen je kao učinkovitost oklapanja (SE), a dobiva se zbrajanjem gubitka refleksije (R, eng. *reflection*) i gubitka upijanja (A, *absorption*). Elektromagnetsko oklapanje određenog materijala definira se kao zbroj zračenja koje se reflektira od toga materijala i zračenja koje taj materijal apsorbira pri određenim frekvencijama. EM oklapanje se uglavnom mjeri u decibelima (dB). Elektromagnetsko oklapanje računa se prema sljedećem izrazu:

$$SE=R+A \quad (1.1)$$

gdje su:

SE - učinkovitost EM oklapanja, ukupna količina EM zračenja koja ne prođe kroz ispitani uzorak

R - gubitak refleksije, količina EM zračenja koja se reflektira (odbija) od ispitani uzorak

A - gubitak upijanja, količina EM zračenja koju upije ispitani uzorak

Decibel je logaritamska mjera odnosa napona, snage ili intenziteta EM zračenja. Frekvencija je veličina koja označava broj oscilacija EM vala u sekundi i mjeri se u hercima (Hz). Materijali nemaju jednako EM oklapanje na svim frekvencijama. Učinkovitost EM oklapanja je funkcija frekvencije (mijenja se s frekvencijom). Grafički

se EM oklapanje uglavnom prikazuje tako što se na osi apscisa prikazuje frekvencija u određenom rasponu u Hz (često u MHz ili u GHz), dok se na osi ordinata prikazuje pripadna učinkovitost EM oklapanja u dB [5].

S obzirom na galopirajući razvoj tehnologije i povećanu opasnost od EM zračenja neophodno je korištenje materijala koji imaju sposobnost upijanja EM zračenja. Stoga je na početku rada prikazan pregled do sada istraženih materijala kao i njihova učinkovitost zaštite od EM zračenja. Do sada istraženi materijali su: leteći pepeo, ugljična vlakna, ugljikove nanočestice, zgura i metalni/željezni oksidi.

1.2 Svrha i cilj

Ključni cilj ovoga rada bio je istražiti i utvrditi mogućnosti povećanja sposobnosti širokopojasnog upijanja elektromagnetske energije betonskih elemenata konstrukcije uporabom različitih materijala koji imaju potencijal za zaštitu od elektromagnetskog zračenja. Nadalje, specifični ciljevi na početku istraživanja bili su:

- odrediti sastav smjese betona s dodacima koji će pružiti zaštitu od neionizirajućeg EM zračenja u frekvencijskom opsegu koji odgovara frekvencijama od radio valova do frekvencija mobilne mreže 5G, utvrditi razinu oklapanja i prigušiti EM zračenje,
- istražiti i utvrditi razinu oklapanja na stvarnim plošnim AB elementima (zidovima i pločama) za pretpostavljene smjese i dodatke,
- istražiti otpornost na savijanje plošnih nosača koji pokazuju najbolja EM svojstva kako bi se utvrdilo na koji način dodaci betonu utječu na razinu nosivosti,
- na temelju rezultata ispitivanja plošnih nosača odrediti koeficijente redukcije ili povećanja nosivosti AB plošnih nosača na savijanje,
- izraditi smjernice za primjenu izabranih materijala u plošnim nosačima i njihov proračun.

Postavljene su sljedeće hipoteze:

- H1: Dodatci i umetci u betonu (ugljična vlakna, ugljične nanočestice, čelični prstenovi) pridonose razini oklapanja armiranobetonskih plošnih elemenata – zidova i međukatnih konstrukcija.

- H2: Izradom plošnih armiranobetonskih elemenata s odabranim dodacima betonu postići će se prigušenje elektromagnetskog zračenja od 20 dB do 30 dB.
- H3: Armiranobetonski plošni nosači imat će zadovoljavajuću razinu savojne otpornosti i stabilnosti, a proračun će se vršiti uz faktore redukcije/povećanja nosivosti u odnosu na obične armiranobetonske plošne nosače.

Razina prigušenja bi trebala biti što veća (od 50 do 60 dB), ali to nije lako postići. Kao hipoteza je odabrano da će se postići prigušenje elektromagnetskog zračenja od 20 do 30 dB iz razloga jer je procjena utemeljena na simulacijskim proračunima je da je moguće čeličnim mikrovalnim rezonatorima (rezonatorskom mrežom) kao u radu postići upravo takve razine prigušenja, pa se definiralo da to budu ciljana prigušenja. Poznavajući propagaciju EM valova jasno je da će prigušenja biti frekvencijski ovisna i neće se moći postići na cijelom opsegu. Na dijelovima spektra prigušenja i prelaze ove vrijednosti, ali na onim opsezima koji su ciljani (ispod 1 GHz) to su vrijednosti koje se nastoji realizirati (do 30 dB).

1.3 Metodologija istraživanja

Metodologija istraživanja koja je primijenjena u svrhu dokazivanja ciljeva i hipoteza sačinjena je od nekoliko koraka. Najprije je predstavljen **pregled stanja područja** koji obuhvaća prikupljanje i analizu dostupne znanstvene literature vezane za temu doktorskog rada. Analizom znanstvenih radova utvrđeno je koji materijali imaju potencijal za daljnju upotrebu u betonima sa svrhom poboljšanja njegove zaštite od djelovanja elektromagnetskih zračenja, a da pritom ne narušavaju fizikalna i mehanička svojstva betona i betonskih elemenata. Analizirali su se udjeli pojedinih materijala i količina umetaka u betonu sa svrhom definiranja ulaznih parametara i omjera za projektiranje sastava i izradu betona i betonskih elemenata s različitim materijalima i umetcima za EM oklapanje. Također su provedena istraživanja upotrebe različitih vrsta materijala i mikrovalnih rezonatora za poboljšanje zaštite od prodora elektromagnetskog zračenja.

Sljedeća faza su **eksperimentalna ispitivanja u laboratoriju**. Ispitivanja na razini materijala provela su se korištenjem poznatih eksperimentalnih metoda u skladu s Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (NN 17/2017), važećim normama za

beton i komponente betona. Cilj je bio definirati kriterije za upotrebu materijala za EM oklapanje (vlakana, rasutih materijala i umetaka) u nosivim armiranobetonskim elementima konstrukcije. Izradili su se uzorci plošnih nosača s čeličnom mikroarmaturom i različitim dodacima te je na ovim uzorcima plošnih nosača mjerena učinkovitost oklapanja uzoraka od elektromagnetskih smetnji (EMI-SE). Izvršeno je mjerenje transmisije i refleksije elektromagnetskih valova. Učinkovitost oklapanja od EM zračenja mjerila se uređajem za mjerenje EM zračenja Anritsu MS2038C, antenom Hyperlog antenna koja očitava refleksiju i transmisiju zračenja u rasponu od 500 MHz do 18 GHz i antenom Bicolog antenna koja očitava refleksiju i transmisiju zračenja od 50 MHz do 1 GHz.

Na temelju ispitivanja na uzorcima pokazalo se koji je od načina zaštite najpovoljniji. Nakon toga, uslijedila su **ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata (armiranobetonskih plošnih nosača)**. Od odabranog materijala koji je pokazao dobra svojstva zaštite od EM zračenja (mikrovalni rezonatori) izradili su se betonski plošni nosači dimenzija 120x350 cm i debljine 15 cm. Izradila su se po tri kontrolna plošna nosača armirana mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni i Q196 u gornjoj zoni, te po tri plošna nosača pojačani i navedenom armaturom i u njih su ugrađeni odabrani materijali (mikrovalni rezonatori) ispod gornje zone. Mikrovalni rezonatori su stavljeni ispod gornje zone mrežaste armature iz razloga kako bi se vidjelo kako će to utjecati na nosivost cijelog plošnog nosača. Ispitivanje se vršilo metodom savijanja u četiri točke. Plošni nosač je slobodno oslonjen i opterećen s dvije koncentrirane sile u trećinama raspona. Pratio se odnos opterećenja i deformacija, pojava pukotina i krajnja nosivost (trenutak početka tečenja armature u vlačnoj zoni). Opterećenje se nanosilo preko hidrauličke preše, a mjerenje sile mjerilo se odgovarajućim senzorima. Progibi su se mjerili s LVDT senzorima, sve je spojeno na mjernu stanicu, a mjerna stanica je spojena na računalo. Rezultati mjerenja usporedili su se s teorijskim proračunom te su na osnovi toga određeni koeficijenti redukcije i povećanja nosivosti.

Posljednja faza istraživanja sadrži **analizu i interpretaciju dobivenih rezultata**, najprije kad je riječ o eksperimentalnim istraživanjima, a zatim i analizu rezultata dobivenih teorijskim proračunom, kao i usporedbu naznačenih metoda. Također je dana preporuka za primjenu analiziranih armiranobetonskih plošnih nosača.

1.4 Prikaz rada po poglavljima

Doktorski rad je podijeljen u pet poglavlja. U uvodnom je poglavlju definiran predmet istraživanja, iznose se ciljevi, hipoteze, metodologija istraživanja, struktura i znanstveni doprinos.

U drugom poglavlju predstavljene su dosadašnje spoznaje o sličnim istraživanjima učinkovitosti zaštite na prodor EM zračenja. Predstavljena su ispitivanja uzoraka pojačanih letećim pepelom, ugljičnim vlaknima, ugljikovim nanočesticama, zgurom, metalnim/željeznim oksidima i ispitivanja potencijalnih umetaka koji štite od prodora EM zračenja. U kratkim crtama opisani su radovi na sličnu temu i komentirani rezultati istraživanja.

U trećem poglavlju opisana su ispitivanja betonskih uzoraka plošnih nosača na prodor EM zračenja. Ispitani su nepojačani uzorak plošnog nosača, uzorak plošnog nosača pojačan mrežastom armaturom, uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima, uzorak plošni nosač pojačan karbonskim vlaknima, plošni nosači pojačani čeličnim mikrovalnim rezonatorima i plošni nosači pojačani mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom. Na kraju poglavlja uspoređeni su rezultati ispitivanja svih plošnih nosača i komentirana je učinkovitost zaštite.

U četvrtom poglavlju opisana su ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata. Ispitani su na savijanje uzorci plošnih nosača u koje je ugrađen materijal koji je pokazao najbolja svojstva zaštite od prodora EM zračenja. Izmjere ispitanih plošnih nosača su 120x350 cm i debljine 15 cm. Ispitani su također i referentni uzorci armirani samo mrežastom armaturom kako bi se mogla usporediti nosivost na savijanje armiranih uzoraka u koje su ugrađeni materijali koji su pokazali najbolja svojstva zaštite od prodora EM zračenja s referentnim uzorcima. Opisana su eksperimentalna ispitivanja, numerički proračun u programu Ansys [6] i proračun prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7].

U petom poglavlju uspoređeni su rezultati ispitivanja i numeričkog i analitičkog proračuna, također su izračunati koeficijenti redukcije/povećanja nosivosti plošnih nosača na savijanje. Zatim je izvršena parametarska analiza u kojoj su napravljene i proračunate numeričke modele s različitim debljinama (15, 20 i 25 cm), mrežastim armaturama (Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni, Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni,

Q785 u donjoj i Q503 u donjoj zoni) i klasama betona (C25/30, C30/37 i C35/45) u programu Ansys [6] i uspoređeni su i analizirani rezultati numeričkog proračuna tih modela.

U posljednjem poglavlju dani su zaključci rada i naznačene smjernice i preporuke za daljnja znanstvena istraživanja.

Na samom kraju naznačen je pregled korištene literature.

1.5 Znanstveni doprinos

Nakon provedenog istraživanja i analize rezultata vrijedi istaknuti njezin izvorni znanstveni doprinos. To se prije svega odnosi na:

- analizu utjecaja različitih dodatnih materijala i umetaka u betonu na zaštitu od elektromagnetskog zračenja;
- evaluaciju mehaničke otpornosti plošnih nosača s ugrađenim materijalima za zaštitu od elektromagnetskog zračenja na razini materijala i konstrukcijskih elemenata;
- formulaciju proračuna koeficijenata redukcije ili povećanja nosivosti AB plošnih nosača na savijanje u odnosu na obične armiranobetonske elemente;
- definiranje i izradu smjernica s identificiranim ključnim parametrima i opisanom metodologijom izrade konstrukcijskih elemenata od betona poboljšanih svojstava.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

2.1 Uvod

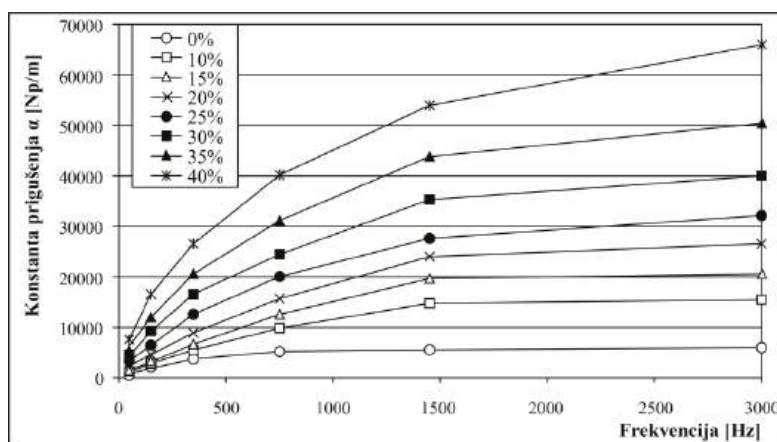
Kroz povijest su istraživani materijali koji su se koristili za poboljšanje svojstava na prodor elektromagnetskog zračenja i njihov utjecaj u betonskim elementima kako bi se povećala učinkovitost zaštite od ovoga zračenja. Kao što je naznačeno u uvodnom poglavlju postoje tri vrste EM oklapanja: reflektivno (vodljivo), magnetsko i dielektrično oklapanje [4].

Naznačeni razvoj tehnike i tehnologije i povećana opasnost od EM zračenja uvjetovali su daljnje istraživanje materijala koji imaju sposobnost apsorpcije EM zračenja. Do sada je obrađeno dosta materijala koji poboljšavaju zaštitu od ovoga zračenja, a u ovome poglavlju obradit će se leteći pepeo, ugljična vlakna, ugljikove nanočestice i grafen, zgura i metalni/željezni oksidi.

2.2 Materijali za poboljšanje zaštite od EM zračenja

2.2.1 Leteći pepeo

Leteći pepeo je zbog niske cijene i visoke dostupnosti pogodan kao dodatak betonu za EM oklapanje. Dodavanje letećeg pepela betonu ili mortu dovodi do promjene električnih i dielektričnih karakteristika materijala [8] [9]. Lingvay [8] je sa suradnicima ispitao uzorke kompaktnih blokova cementnog morta s dodatkom letećeg pepela dimenzija 5x5x2 cm. Cementni mort se sastojao od cementa, pijeska i vode. Izrađen je referentni uzorak cementnog morta bez dodatka letećeg pepela, uzorci cementnog morta s 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 % i 40 % dodatka letećeg pepela. Od elemenata od kojih se sastoji leteći pepeo najvažniji za EM oklapanje je hematit (Fe_2O_3) jer doprinosi magnetnim svojstvima i dielektričnim gubicima uzoraka morta. Ispitivanje navedenih uzoraka prikazano je na slici 2.1.



Slika 2.1: Evolucija konstante prigušenja α u ovisnosti o frekvenciji pri različitim koncentracijama letećeg pepela [8]

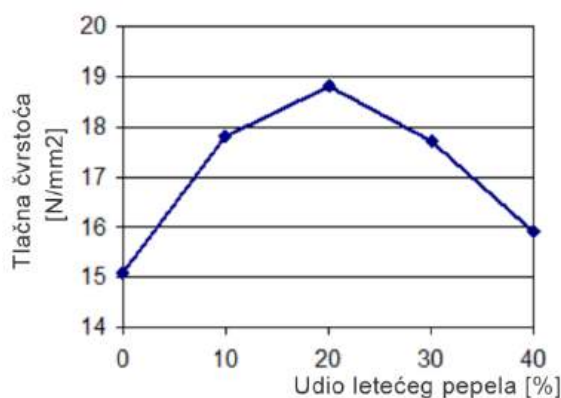
Na slici 2.1 x-os prikazuje frekvenciju u rasponu od 50 Hz do 3 kHz, a y-os pokazuje vrijednost konstante prigušenja, tj. to je fizikalna veličina koja opisuje koliko brzo se EM val gubi (slabi) pri prolasku kroz materijal, i ovdje se izražava u neperima po metru (Np/m), a može se izražavati i prema decibelima po metru (dB/m). Veća vrijednost konstante prigušenja znači jače prigušenje, tj. kako uzorak bolje štiti od prodora EM zračenja. Sa slike 2.1 vidi se kako uzorak cementnog morta s više udjela letećeg pepela ima veću konstantu prigušenja tj. bolje štiti od prodora EM zračenja.

Velciu [9] je sa suradnicima ispitao uzorke cementnog morta s dodatcima različitih postotaka letećeg pepela. Izmjere ispitanih uzoraka morta nisu navedene u radu, a nabrojani ispitani uzorci sa svojim sastavom prikazani su u tablici 2.1.

Tablica 2.1: Ispitani uzorci morta sa svojim sastavom [9]

Uzorci morta	Postotci pojedinih sastojaka (%)			
	Cement	Leteći pepeo	Pijesak	Voda
Mref	19	0	66	15
Mfa1	19	10	56	15
Mfa2	19	20	46	15
Mfa3	19	30	36	15
Mfa4	19	40	26	15

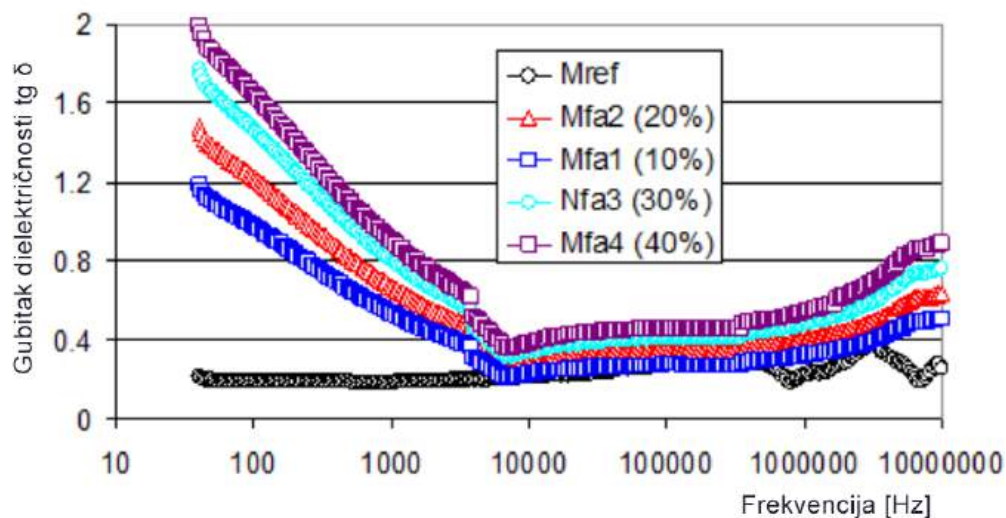
Na slici 2.2 prikazana je promjena tlačne čvrstoće u ovisnosti o udjelu letećeg pepela u mortu. Na osi apscisa prikazan je udio letećeg pepela, dok je na ordinati prikazana tlačna čvrstoća uzoraka morta u N/mm^2 , odnosno u MPa. Sa slike se vidi kako je najveća tlačna čvrstoća kod uzorka morta s dodatkom 20 % letećeg pepela. Kako se udio letećeg pepela na početku povećava, tlačna čvrstoća raste, što znači kako manji udio letećeg pepela može poboljšati tlačnu čvrstoću zbog boljeg vezivanja i mikrostrukturalnih svojstava. Za uzorke morta s dodatkom više od 20 % letećeg pepela što je udio letećeg pepela veći tlačna čvrstoća uzoraka morta opada zbog smanjenja kohezije i prekomjerne poroznosti u materijalu.



Slika 2.2: Promjena tlačne čvrstoće u ovisnosti o udjelu letećeg pepela u mortu [9]

Na slici 2.3 prikazana je promjena tangensa gubitka dielektričnosti ($\text{tg}\delta$) u funkciji frekvencije za ispitivane uzorke morta. Slika 2.3 prikazuje kako se gubitci dielektričnosti mijenjaju u ovisnosti o frekvenciji primijenjenog EM polja za različite uzorke morta s promjenjivim udjelom letećeg pepela. Na x-osi može se vidjeti frekvencija od 40 Hz do 10 MHz, dok y-os prikazuje vrijednost $\text{tg}\delta$ (veće vrijednosti gubitka dielektričnosti znače više energije koja se topi unutar materijala, veći dielektrični gubici, što znači kako će manje EM zračenja proći kroz uzorak). Sa slike se vidi kako pri niskim frekvencijama (od 40 Hz do oko 5 kHz) mortovi s većim udjelom pepela pokazuju veće gubitke dielektričnosti (bolja svojstva dielektričnog oklapanja), što znači da imaju bolju apsorpciju EM valova. U rasponu od oko 5 kHz do oko 1 MHz vidi se kako su dielektrični gubici najmanji, najslabiji, ali i dalje uzorci s većim udjelom letećeg pepela pokazuju malo bolja svojstva dielektričnog oklapanja. Zatim nakon frekvencije oko 10 kHz povećanjem frekvencije poboljšavaju se svojstva dielektričnog oklapanja, i povećava

se razlika između nepojačanog i pojačanih uzoraka morta i između uzoraka morta s dodatkom različitih udjela letećeg pepela (što je udio letećeg pepela veći uzorak pokazuje bolja svojstva dielektričnog oklapanja).

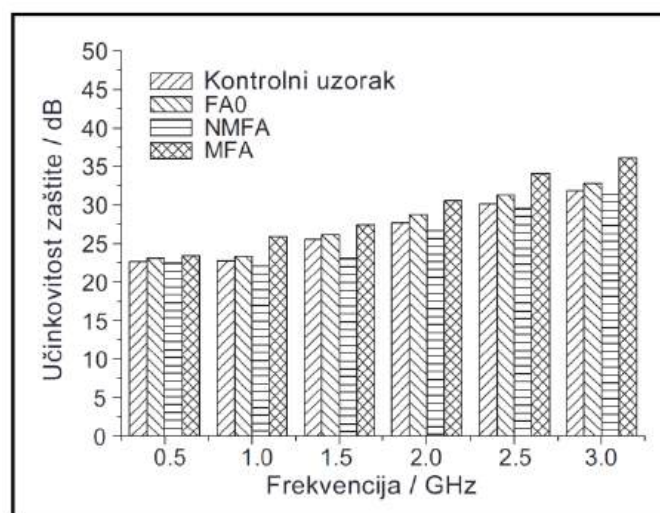


Slika 2.3: Promjena tangensa gubitka dielektričnosti ($\tan \delta$) u funkciji frekvencije za ispitivane uzorke morta [9]

Iz ispitivanja koje je proveo Velciu [9] sa suradnicima zaključuje se kako je uzorak morta sa 20 % udjela letećeg pepela pokazuje optimalna mehanička svojstva i znatno poboljšana elektromagnetska zaštitna svojstva, pa je najbolji za građevinske primjene, dok daljnje povećanje poboljšava upijanje EM zračenja, ali smanjuje čvrstoću, što znači kako se veći udjeli mogu koristiti ukoliko mehanička čvrstoća nije presudna. Ispitivanja također pokazuju kako tlačna čvrstoća morta nema utjecaja na zaštitu od EM zračenja, s obzirom da najveću tlačnu čvrstoću pokazuje uzorak Mfa2, a veću sposobnost upijanja EM zračenja pokazuju uzorci Mfa3 i Mfa4 iako imaju manju tlačnu čvrstoću. Također vidljivo je kako uzorak Mfa4 ima manju tlačnu čvrstoću u odnosu na uzorke Mfa1, Mfa2 i Mfa3, a ima bolja svojstva za zaštitu od EM zračenja.

Prema ispitivanjima Zornoze [10] uspoređeno je EM oklapanje cilindričnih uzoraka izrađenih od cementne paste s dodatkom letećeg pepela (magnetiziranog i nemagnetiziranog). Kontrolni uzorak cementne paste označen je s Control, uzorak cementne paste s dodatkom običnog odnosno neobrađenog letećeg pepela označen je s FAO, uzorak s dodatkom magnetskog letećeg pepela označen je s MFA

(eng. *magnetic fly ash*), dok je uzorak s dodatkom nemagnetskog letećeg pepela označen s NMFA (eng. *non magnetic fly ash*). Magnetski i nemagnetski leteći pepeo dobivene su tako što se leteći pepeo magnetski razdvoji na dvije frakcije. Frakcija koja pokazuje magnetska svojstva naziva se magnetiziranim letećim pepelom, dok se druga koja ne može utjecati na magnetska polja naziva nemagnetiziranim letećim pepelom. Cilindrični uzorci su prstenasti promjera 12 cm, promjera rupe 3 cm, a debljina uzorka je 4 cm. Rezultati navedenih ispitivanja prikazani su na slici 2.4.



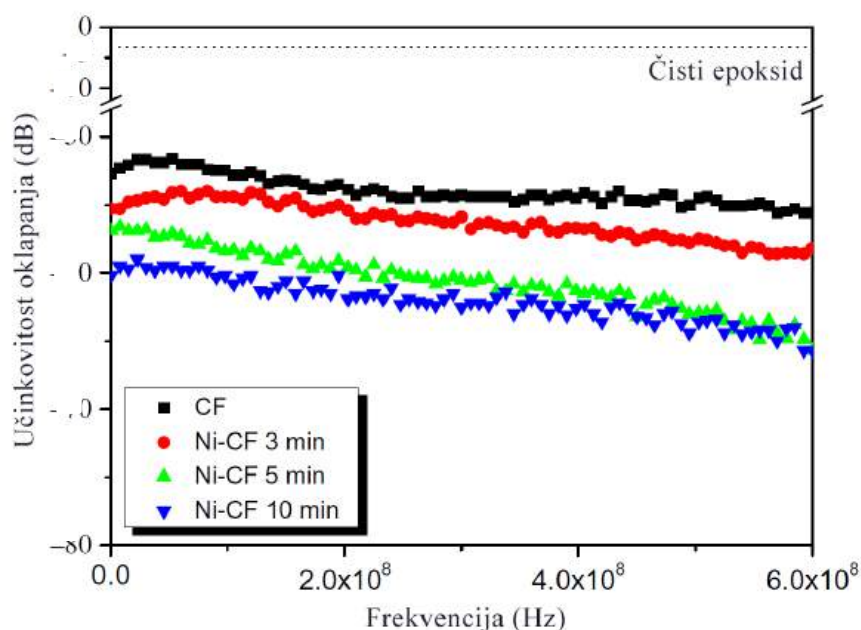
Slika 2.4: Usporedba učinkovitosti zaštite od EM zračenja cilindričnih uzoraka izrađenih od cementne paste s dodatkom raznih vrsta letećeg pepela [10]

Uzorak s dodatkom neobrađenog letećeg pepela ima veću učinkovitost oklapanja od kontrolnog uzorka bez dodatka letećeg pepela. Najveću učinkovitost zaštite pokazuje uzorak s dodatkom magnetiziranog letećeg pepela (MFA) iz razloga jer magnetski leteći pepeo sadrži čestice koje mogu upijati magnetsku komponentu EM valova i uzrokovati gubitke kroz magnetsku histerezu. Uzorak s dodatkom nemagnetskog letećeg pepela (NMFA) u cementnom kompozitu pokazuje najmanju učinkovitost oklapanja, manju čak i od kontrolnog uzorka iz razloga što nemagnetski leteći pepeo funkcionira suprotno od magnetskog, znači ne upija nego odbacuje magnetsku komponentu EM vala i samim time potiče prolazak EM vala kroz uzorak.

Iz ovih ispitivanja može se vidjeti kako leteći pepeo pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. Što je veći dodatak letećeg pepela veća je zaštita od prodora EM zračenja. Umjereni dodatak letećeg pepela pozitivno doprinosi i tlačnoj čvrstoći betona, dok prekomjernim dodatkom letećeg pepela betonskoj mješavini tlačna čvrstoća uzorka betona s dodatkom letećeg pepela slabi. Najbolju zaštitu od prodora EM zračenja pruža magnetski leteći pepeo, koji zbog svojih poboljšanih magnetskih svojstava upija EM zračenje bolje od bilo koje druge vrste letećeg pepela. Najlošiju zaštitu pruža nemagnetski leteći pepeo iz razloga jer u sebi ne sadrži magnetsku komponentu i odbija zračenje, i samim time smanjuje upijanje EM zračenja čak u odnosu na kontrolni betonski uzorak.

2.2.2 Ugljična vlakna

Ugljični materijali prepoznati su kao prikladna alternativa za EM oklapanje u usporedbi s običnim feritnim i magnetskim metalima. Oni su lagani i pružaju dobra električna svojstva i visoku čvrstoću. Kao jedan od ugljičnih materijala, ugljična vlakna (CF, eng. *carbon fibers*) učinkovit su materijal za EM oklapanje i imaju sposobnost apsorpcije EM valova i podnošenja opterećenja. Ugljična vlakna su, zbog male težine i dobrih mehaničkih svojstava, značajna kao pojačanja za izradu kompozita visokih performansi [11]. Kim [11] je ispitao EM oklapanje polimera armiranih ugljičnim vlaknima (CFRP, eng. *carbon fiber reinforced polymer*). Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 2.5. Na osi apscisa nalazi se frekvencija u rasponu od 0 Hz do 600 MHz, dok se na osi ordinata nalazi učinkovitost zaštite u decibelima (dB).

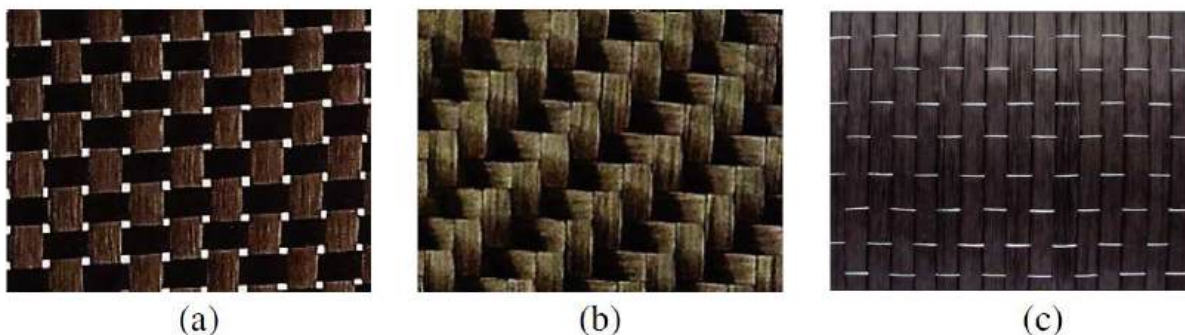


Slika 2.5: Usporedba učinkovitosti oklapanja uzoraka polimera pojačanih samo ugljičnim vlaknima i uzoraka pojačanih ugljičnim vlaknima oblaganih niklom u vremenu od 3, 5 i 10 minuta [11]

Uspoređene su učinkovitosti oklapanja uzoraka pojačanih samo ugljičnim vlaknima i uzoraka koji su pojačani ugljičnim vlaknima oblaganih niklom u vremenu od 3, 5 i 10 minuta. Uzorak polimernog kompozita bez dodataka ima učinkovitost oklapanja 2 dB, dok uzorak pojačan samo ugljičnim vlaknima ima učinkovitost oklapanja 55 dB. Što se ugljična vlakna kojima se pojačava uzorak polimernog kompozita duže vremena oblažu niklom povećava se učinkovitost EM oklapanja uzorka. Uzorak oblagan niklom 10 minuta ima učinkovitost oklapanja 62 dB, što predstavlja za oko 12 posto veće EM oklapanje u odnosu na uzorak pojačan samo ugljičnim vlaknima. Navedeni rezultati pokazuju kako ugljična vlakna povećavaju učinkovitost EM oklapanja, dok ugljična vlakna oblagana niklom pružaju još veću učinkovitost EM oklapanja.

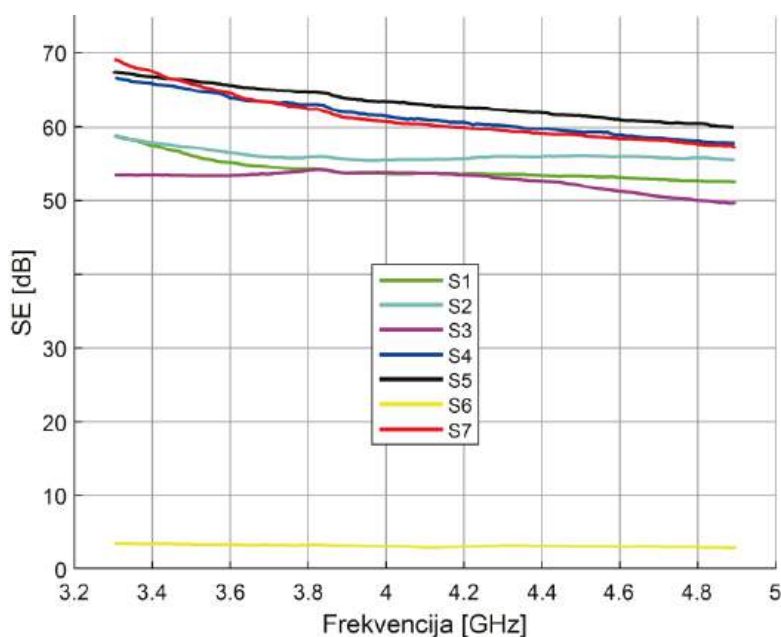
Tkanina od ugljičnih vlakana (CFC, eng. *carbon fiber composites*) kombinira visoki omjer čvrstoće i mase, kao i otpornost na koroziju. Vrijedi istaknuti i strukturnu fleksibilnost i izdržljivost ovih tkanina [12]. Keskin [13] je ispitao i u svom radu opisao učinkovitost EM oklapanja sedam uzoraka tkanina od ugljičnih vlakana, od kojih su neke tkane obično (jednostavni uzorci, S1 i S2), neke unakrsno (dijagonalni, usporedni

uzorci, S3, S4 i S5), a neki jednosmjerno (S6 i S7). Uzorci su debljina 0,327 mm; 0,65 mm i 0,48 mm i orijentirani su horizontalno i vertikalno. Uzorci su prikazani na slici 2.6.



Slika 2.6: Vrste tkanina od ugljičnih vlakana: a) obično (jednostavno) tkanje, b) unakrsno (dijagonalno, paralelno) tkanje, c) jednosmjerno tkanje [13]

Ispitivanja su rađena na frekvencijama od 3,3 do 4,9 GHz. Od uzorka S2 postignuta je SE (eng. *shielding efficiency*) u vrijednosti od 58,87 dB na frekvenciji od 3,3 GHz, odnosno 55,68 dB na frekvenciji od 4,9 GHz. Uzorak S3 pokazao je SE od 53,6 dB na 3,3 GHz i 49,57 dB na 4,9 GHz. U ovom slučaju može se primijetiti da obično tkanje ima veću SE od unakrsnog tkanja. Uzorak S4, koji je čvrsto tkan u usporedbi s uzorkom S3 i samim time ima i veću debljinu, pokazao je visoku SE u usporedbi s uzorkom S3. Rezultati mjerenja uzoraka S1 i S2 odnosno uzoraka S4, S5 bili su međusobno bliski, što znači da u slučaju uobičajenog ili unakrsnog tkanja orijentacija nije odlučujući faktor za SE. U uzorku S7 koji je ispitan u vodoravnoj orijentaciji u odnosu na izvor zračenja, SE je izmjerena 69,19 dB na 3,3 GHz, a 57,17 dB je izmjereno na 4,9 GHz. Isti je uzorak izmjeren okomito na izvor zračenja (uzorak S6) i postignuta je SE približno 3 dB u čitavoj mjernoj frekvenciji, što znači da je kod jednosmjernog tkanja orijentacija odlučujući faktor za SE. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 2.7.



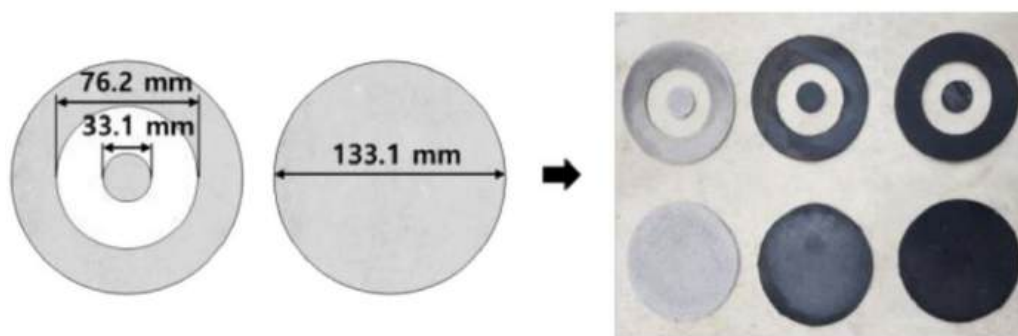
Slika 2.7: Usporedba učinkovitosti EM oklapanja sedam uzoraka tkanina od ugljičnih vlakana [13]

Zaključak je kako ugljična vlakna mogu promijeniti elektromagnetska svojstva betona, a pri tome također utječu na tlačnu čvrstoću i čvrstoću betona na savijanje [14]. Najveći nedostatak za ugljična vlakna jest cijena, ugljična vlakna su preskupa i često nije financijski isplativo graditi objekte od AB zidova pojačanih s ugljičnim vlaknima. Primjena različitih vrsta tkanina od ugljičnih vlakana na AB elemente je nedovoljno istraženo područje, ali s obzirom na saznanja o ugljičnim vlaknima općenito za očekivati je kako bi se pokazale pozitivno za zaštitu od EM zračenja i ne bi negativno utjecale na tlačnu čvrstoću i čvrstoću betona na savijanje. Također iz ovih ispitivanja može se zaključiti kako ugljična vlakna oblagana niklom dodatno povećavaju zaštitu od prodora EM zračenja. Vrijeme oblaganja također ima utjecaj na zaštitu od EM zračenja, što se ugljična vlakna duže vremena oblažu nikom pokazuju bolju zaštitu od prodora EM zračenja. Ograničenja ovih studija su nedostatak ispitivanja učinkovitosti EM oklapanja pri većim frekvencijama.

2.2.3 Ugljikove nanočestice

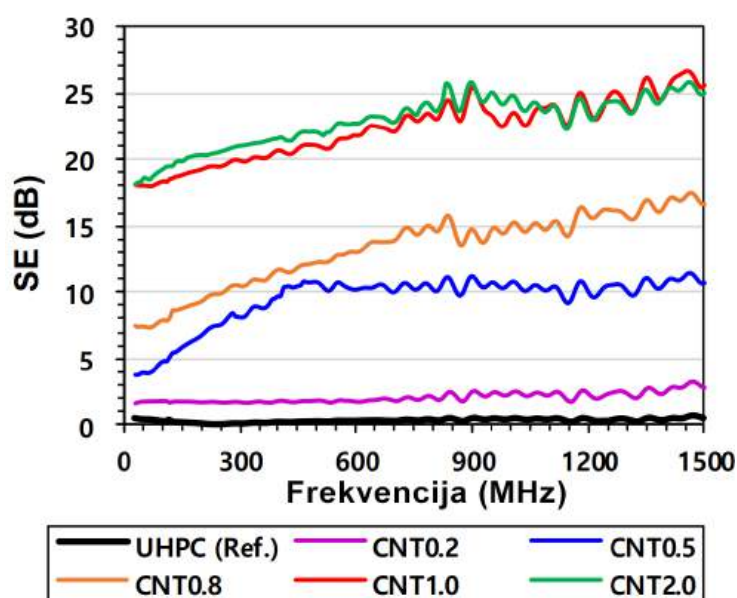
Glavne vrste ugljičnih kompozita korištene u svrhu EM oklapanja su ugljikove nanočestice [11]. Iako je proučavano nekoliko vrsta čestica koje provode EM zračenje, poput čestica čađe, ugljičnih vlakana ili metalnih punila, ugljikove nanočestice (eng. *carbon nanotubes*, CNT) su jasno pokazale bolja svojstva zbog visokog omjera duljine i visine, veće čvrstoće, fleksibilnosti i manje gustoće [15].

Postoje dvije vrste ugljikovih nanočestica, a to su jednoslojne ugljikove nanočestice (eng. *single-walled carbon nanotubes*, SWCNT) i višeslojne ugljikove nanočestice (eng. *multi-walled carbon nanotubes*, MWCNT). Uspoređujući te dvije vrste, MWCNT imaju veću učinkovitost oklapanja nego SWCNT. Zbog vrlo visoke električne vodljivosti ugljikove nanočestice imaju potencijal EM oklapanja [16]. Jung [16] je ispitivao učinkovitost EM oklapanja uzoraka ultra-visokoučinkovitog betona (UHPC, eng. *Ultra-High Performance Concrete*) s dodatkom ugljikovih nanočestica u različitim postotcima. Za izradu uzoraka ultra-visokoučinkovitog betona pored standardnih sastojaka poput cementa, finog pijeska i vode dodaju se još silika fume (mikroskopski fini kvarcni prah za povećanje gustoće i čvrstoće) i superplastifikator. Ispitivala se učinkovitost EM oklapanja kontrolnog uzorak UHPC-a i uzoraka UHPC-a s dodatkom različitih količina višeslojnih ugljikovih nanočestica (0,2 %, 0,5 %, 0,8 %, 1,0 % i 2,0 % od ukupne težine uzorka) prema standardu ASTM D4935-18 [17] i prema IEEE-STD-299 [18]. Ispitani uzorci prema standardu ASTM D4935-18 debljine 3 mm prikazani su na slici 2.8.



Slika 2.8: Uzorci za ispitivanje učinkovitosti zaštite od EM zračenja prema standardu ASTM D4935-18 [16]

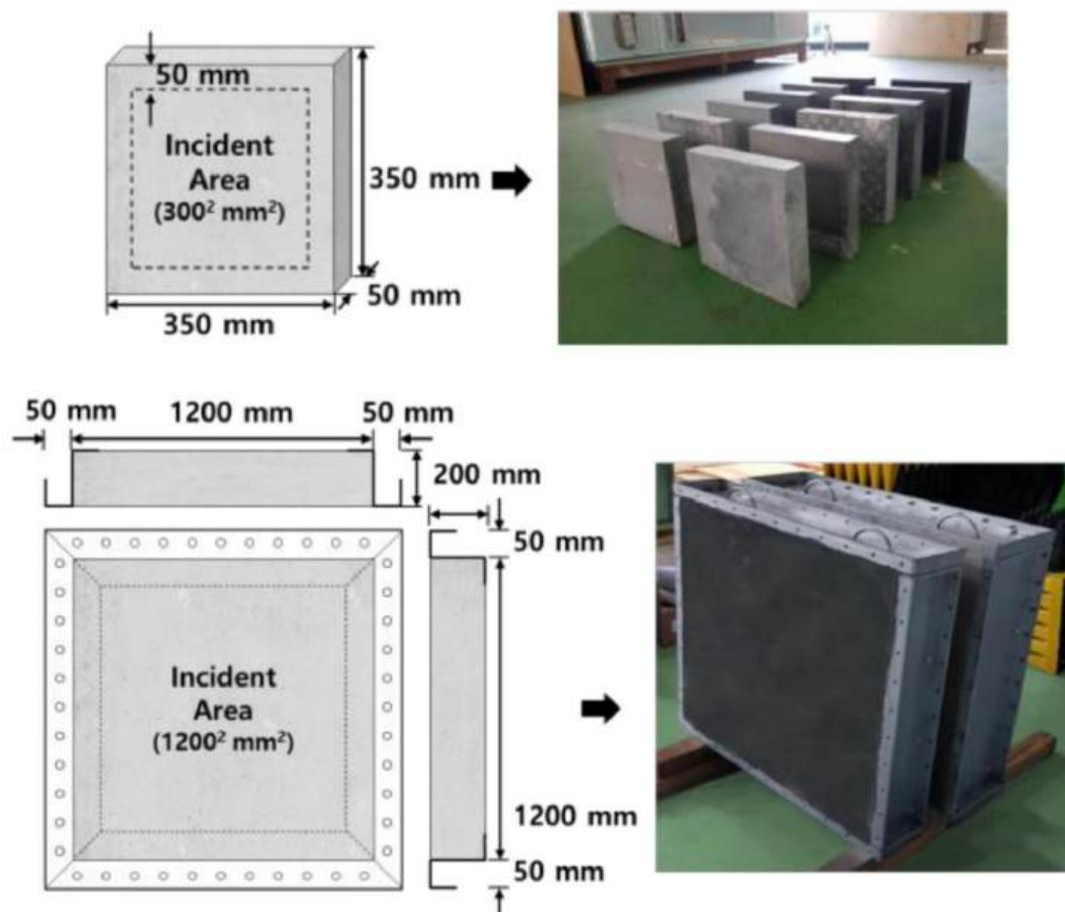
Prema standardu ASTM D4935-18 pri ispitivanju uzoraka ostavljena je prstenasta šupljina kako bi se ispitalo koliko uzorak UHPCa upija EM zračenje i koliki je utjecaj dodavanja ugljikovih nanočestica na upijanje EM zračenja i samu učinkovitost zaštite (ostavlja se prostor kako EM val prođe isključivo kroz materijal, kako bi se očuvala potrebna točnost mjerenja i da mjerni signal ne curi ili da se ne gubi u rubovima). Rezultati ispitivanja prema standardu ASTM D4935-18 prikazani na slici 2.9. Na osi apscisa prikazana je frekvencija u rasponu od 30 MHz do 1,5 GHz, dok je na osi ordinata prikazana učinkovitost EM oklapanja.



Slika 2.9: Rezultati ispitivanja uzoraka UHPC-a pojačanih ugljikovim nanočesticama i kontrolnog uzorka UHPC-a prema ASTM D4935-18 [16]

Na slici 2.9 vidi se kako referentni uzorak UHPCa ne pokazuje gotovo nikakvu zaštitu, što znači da UHPC nema gotovo nikakvu sposobnost privlačenja EM zračenja. Kako raste količina ugljikovih nanočestica, tako raste i učinkovitost zaštite od EM zračenja. Povećanjem udjela ugljikovih nanočestica u uzorcima učinkovitost EM oklapanja naglo raste do uzorka s dodatkom 1 % ugljikovih nanočestica, a između uzoraka s dodatkom 1 % i 2 % ugljikovih nanočestica nema velike razlike.

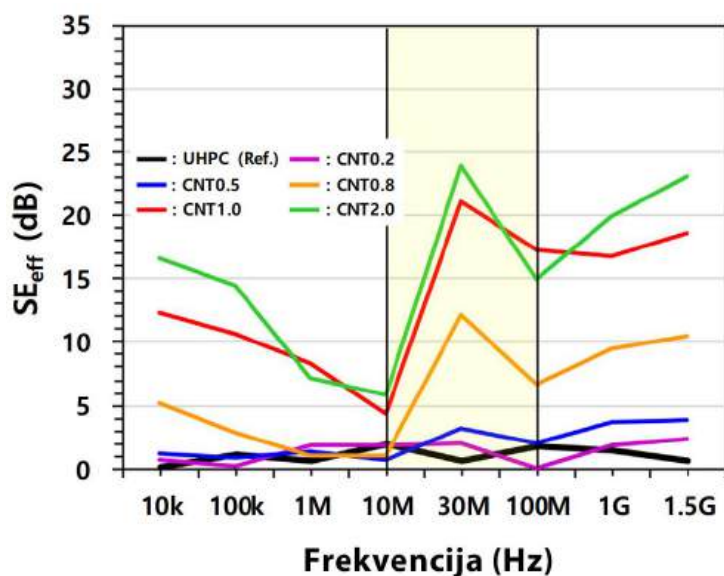
Na slici 2.10 prikazani su uzorci s dimenzijama ispitani prema standardu IEEE-STD-299.



Slika 2.10: Uzorci za ispitivanje učinkovitosti zaštite od EM zračenja prema standardu IEEE-STD-299 [16]

Ispitivane su dvije vrste uzoraka s dodacima jednakih udjela ugljikovih nanočestica u odnosu na ukupnu težinu uzoraka. Rezultati ispitivanja su prikazani kao srednja vrijednost rezultata ispitivanja ova dva uzorka (prikazano na slici 2.11). Na osi apscisa prikazana je frekvencija EM vala u rasponu od 10 kHz do 1,5 GHz, dok je na osi ordinata prikazana efektivna učinkovitost EM oklapanja. Efektivna učinkovitost EM oklapanja predstavlja onu učinkovitost EM oklapanja koja se dobiva oduzimanjem ukupne učinkovitosti EM oklapanja od učinkovitosti EM oklapanja praznog okvira (otvora).

$$SE_{\text{eff}} = SE - SE_{\text{otvora}} \quad (2.1)$$



Slika 2.11: Rezultati učinkovitosti zaštite od EM zračenja s uklonjenim dijelom zaštitne komore za uzorke UHPC-CNT s malim područjem upada, prema standardu IEEE-STD-299 [16]

Sa slike 2.11 vidi se kako kontrolni uzorak i uzorci pojačani s 0,2 % i 0,5 % ugljikovih nanočestica ne pokazuju dobru zaštitu od EM zračenja, dok povećanjem udjela ugljikovih nanočestica od 0,5 % do 1 % učinkovitost zaštite uzorka naglo raste, zatim nakon porasta udjela ugljikovih nanočestica iznad 1 % porast EM oklapanja počinje opadati.

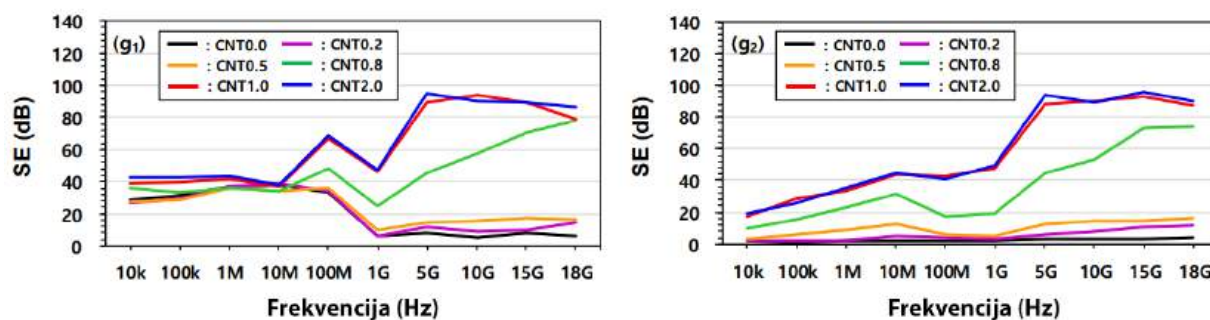
U oba ispitivanja Junga [16] vidljiv je pozitivan utjecaj ugljikovih nanočestica na zaštitu od EM zračenja. Dodatak ugljikovih nanočestica u UHPC povećava električnu provodljivost materijala, omogućuje bolju refleksiju i upijanje EM valova i ugljikove nanočestice formiraju vodljive mreže koje razbijaju ili zaustavljaju EM valove unutar materijala. Kompoziti UHPC s dodatkom ugljikovih nanočestica pokazuju se kao građevinski materijal s zaštitom od EM zračenja pogodni za zgrade s osjetljivom opremom na EM zračenje, prostorije s visokom zaštitom podataka i vojne ili medicinske objekte.

Najsuvremeniji materijali za EM oklapanje su ultra tanki grafenski kompoziti s kojima se može postići učinkovitost oklapanja veća od 20 dB. Ovi kompoziti kombiniraju izvrsna oklopna svojstva grafena od EM smetnji s mehaničkom čvrstoćom materijala matrice.

Dodavanjem višeslojnih ugljikovih nanočestica betonskom zidu povećava mu se učinkovitost oklapanja. Što je zid pojačan MWCNT-om deblji, učinkovitost oklapanja mu je veća.

Povećanjem udjela ugljikovih nanočestica u betonu u jednom trenutku dolazi do oštrog pada električnog otpora, što kasnije rezultira povećanim EM oklapanjem. Razlog smanjenja električnog otpora leži u povećanoj količini ugljikovih nanočestica koje se mogu međusobno povezati i stvoriti vodljivi put.

Jung [19] je sa suradnicima također ispitao uzorke sa slike 2.10 prema IEEE-STD-299 na frekvencijama u rasponu od 10 kHz do 18 GHz. Ispitivali su se isti uzorci kao u literaturi [16] (kontrolni uzorak UHPC, uzorci UHPCa s dodatkom 0,2 %, 0,5 %, 0,8%, 1,0 % i 2,0 % ugljikovih nanočestica), ali s dosta većim rasponom frekvencija. Također se istraživao učinak ugljikovih nanočestica u betonu visoke čvrstoće na EM oklapanje. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 2.12. Lijeva strana slike pokazuje učinkovitost EM oklapanja prvog uzorka sa slike 10 (35x35x5 cm), dok desna strana slike pokazuje učinkovitost oklapanja drugog uzorka sa slike 10 (120x120x20 cm).

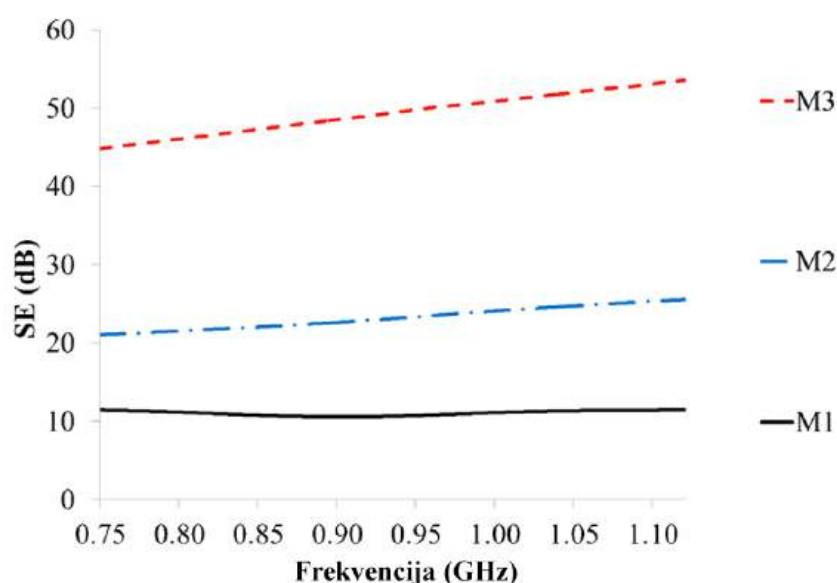


Slika 2.12: Usporedba učinkovitosti zaštite od EM zračenja uzoraka UHPC-a pojačanih različitim količinama ugljikovih nanočestica [19]

Uzorci UHPCa pojačani s 0,2 % i 0,5 % ugljikovih nanočestica ne pokazuju dobru učinkovitost EM oklapanja u odnosu na kontrolni uzorak UHPCa, dok povećanjem udjela ugljikovih nanočestica od 0,5 % do 1,0 % učinkovitost EM oklapanja naglo raste, dok je razlika između učinkovitosti oklapanja uzoraka s dodatkom od 1 & i 2 % ugljikovih nanočestica jako mala (ipak malo bolja svojstva pokazuje uzorak s dodatkom 2 % ugljikovih nanočestica). Za primjenu u građevinarstvu radi ekonomičnosti optimalni udio ugljikovih nanočestica u UHPCu je 1 %, pogotovo s obzirom da s povećanjem

udjela ugljikovih nanočestica iznad 1 % ne mijenja se gotovo nikako učinkovitost oklapanja.

Micheli [20] je ispitivao učinak ugljikovih nanočestica i betona u EM oklapanju za frekvencije od 0,75 GHz do 1,12 GHz. U uzorak betona debljine 15 cm dodane su ugljikove nanočestice u količini od 2 % (M2) i 3 % (M3). Uzorci s dodatkom ugljikovih nanočestica pojačani su s kontrolnim uzorkom (M1). Rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite od EM zračenja prikazani su na slici 2.13.



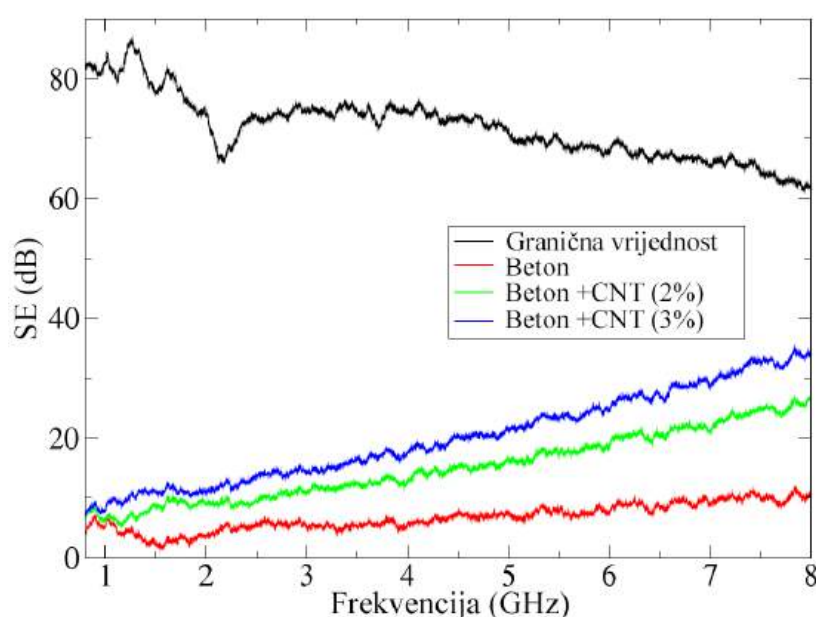
Slika 2.13: Usporedba učinkovitosti zaštite uzoraka čistog betona (M1), betona s dodatkom 2 % (M2) i 3 % (M3) ugljikovih nanočestica [20]

Rezultati su pokazali učinkovitost EM oklapanja uzorka betona s 3 % ugljikovih nanočestica od 50 dB na frekvenciji od 1,1 GHz, dok uzorak betona s 2 % ugljikovih nanočestica na istoj frekvenciji ima učinkovitost oklapanja oko 25 dB. Treba napomenuti da je referentni uzorak betona na ovoj frekvenciji imao EM oklapanje u iznosu od 10 dB. Iz ovog rada se zaključuje kako dodatak ugljikovih nanočestica uvelike utječe na povećanje učinkovitosti EM oklapanja uzorka betona.

Micheli [21] je također ispitivao utjecaj betonskih kompozita pojačanih ugljikovim nanočesticama debljine 3 cm na učinkovitost EM oklapanja. Betonski kompozit se izrađivao od standardnih sastojaka poput cementa (Portland cement), agregata (veliĉine zrna do 2 mm) i vode, i na to se još dodao i superplastifikator radi boljeg

raspršivanja ugljikovih nanočestica. Ispitali su se kontrolni uzorak betonskog kompozita bez dodatka ugljikovih nanočestica i uzorci s dodatkom 2 % i 3 % ugljikovih nanočestica.

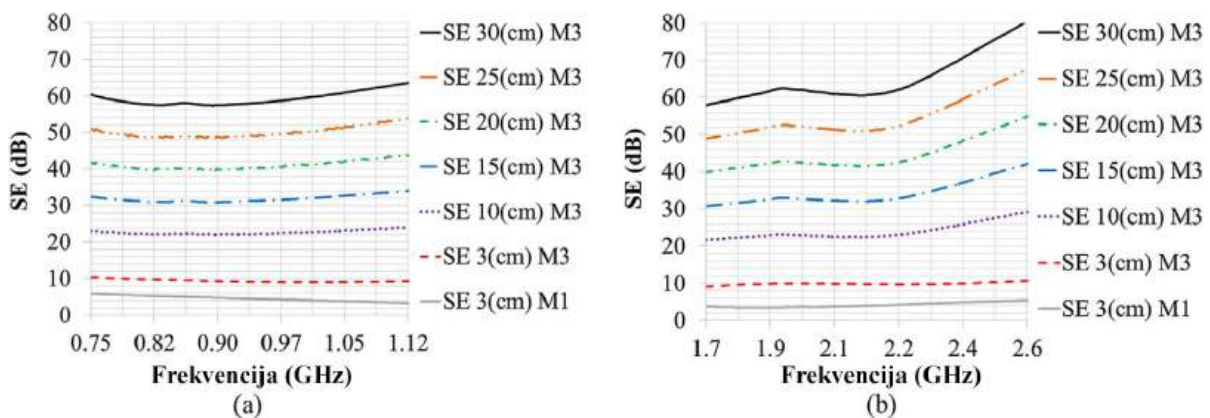
Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 2.14. Na osi apscisa prikazana je frekvencija do 8 GHz, dok je na osi ordinata prikazana učinkovitost EM oklapanja u dB. Floor level predstavlja graničnu vrijednost učinkovitosti EM oklapanja koja se može izmjeriti pri određenoj frekvenciji



Slika 2.14: Usporedba učinkovitosti zaštite uzoraka kompozitne stijenke čistog betona, betona pojačanog s 2 % i 3 % ugljikovih nanočestica [21]

Iz rezultata se vidi kako kontrolni uzorak ne pokazuje dobru učinkovitost EM oklapanja, dok se također vidi kako se povećanjem udjela ugljikovih nanočestica u uzorku kompozita povećava učinkovitost EM oklapanja uzorka. Na višim frekvencijama raste i zaštita, pa je uzorak betonskog kompozita s udjelom ugljikovih nanočestica od 3 % postigla EM oklapanje iznad 30 dB na frekvenciji od 8 GHz. Uzorak s 2 % ugljikovih nanočestica na 8 GHz imao je učinkovitost oklapanja od 25 dB, dok je referentni uzorak imao zaštitu od oko 10 dB na istoj frekvenciji. Takvi kompoziti koji se sastoje od betona s navedenim sastojcima i ugljikovih nanočestica mogu biti korisni za zaštitu od EM zračenja u građevinama, posebno tamo gdje prolaze bežični, Wi-Fi, radar ili sigurnosni signali [21].

Micheli je također proveo ispitivanja [22] izdana 2017. godine u kojima se analizirao utjecaj debljine betonskog kompozita s 3 % dodatka ugljikovih nanočestica na EM oklapanje. EM oklapanje mjerilo se za betonske kompozitne zidove debljine 3 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm i 30 cm. Uzorci kompozitnih zidova izrađeni su od cementa (Portland cement), kvarcnog pijeska i vode s dodatkom višeslojnih ugljikovih nanočestica (MWCNT). Ispitan je i kontrolni betonski uzorak (SE 3(cm) M1) kako bi se uzorci kompozita mogli usporediti s kontrolnim uzorkom. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 2.15, lijeva slika pokazuje rezultate u rasponu frekvencija od 0,75 GHz do 1,12 GHz, a desna slika pokazuje rezultate u rasponu frekvencija od 1,7 GHz do 2,6 GHz. Na osi apscisa prikazana je frekvencija, dok je na osi ordinata učinkovitost EM oklapanja uzoraka.



Slika 2.15: Usporedba učinkovitosti AB oklapanja uzoraka betonskog kompozita različitih debljina pojačanih s 3 % ugljikovih nanočestica [22]

Iz slike 2.15 se vidi kako uzorak betonskog kompozita pojačanog s 3 % ugljikovih nanočestica ima bolju učinkovitost EM oklapanja u odnosu na kontrolni uzorak jednake debljine, što znači da ugljikove nanočestice pridonose EM oklapanju. Također sa slike 2.15 vidi se kako debljina uzorka kompozita značajno utječe na EM oklapanje (što je veća debljina uzorka, veća je učinkovitost EM oklapanja).

Iz priloženih radova vidi se kako jako male količine ugljikovih nanočestica ne poboljšavaju ništa posebno zaštitu od EM zračenja, dok povećanjem udjela ugljikovih nanočestica na iznad 0,5 % od ukupne mase mješavine betona raste naglo zaštita od EM zračenja. Očiti rast učinkovitosti oklapanja nastavlja se uglavnom do par posto

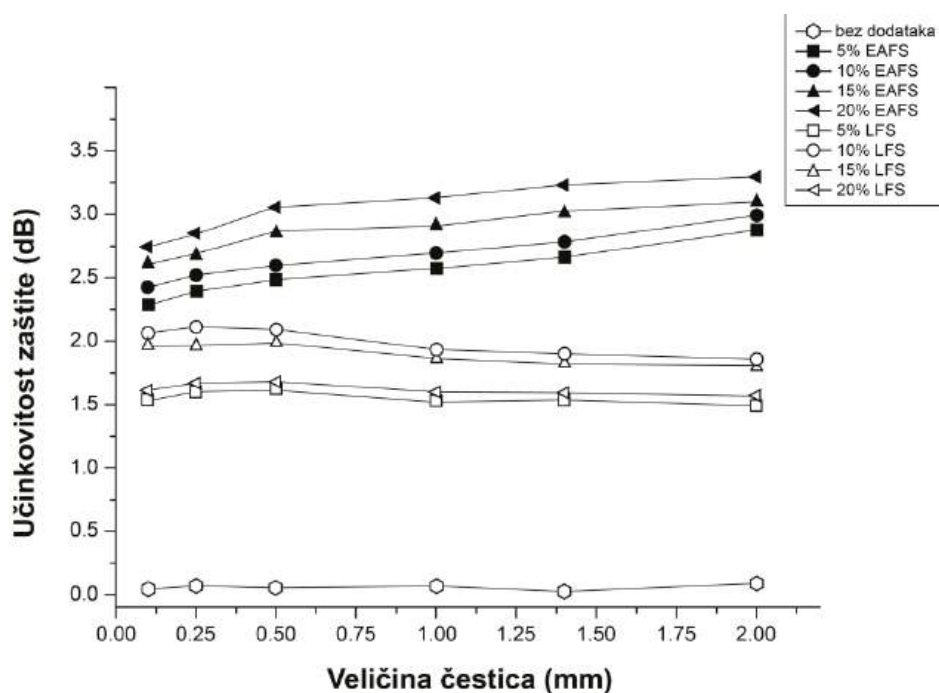
ugljikovih nanočestica od ukupne mase mješavine betona i daljnjim povećanjem udjela ugljikovih nanočestica polako staje i porast učinkovitosti EM oklapanja. Također može se vidjeti kako povećanjem debljine uzoraka betona s dodatkom ugljikovih nanočestica raste učinkovitost EM oklapanja. Iz pregleda literature može se zaključiti kako je optimalna količina ugljikovih nanočestica u uzorcima betona za zaštitu od EM zračenja od 2 do 3 % od ukupne mase mješavine betona. Daljnjim povećanjem količine ugljikovih nanočestica ne doprinosi se ništa posebno učinkovitosti EM oklapanja, a šteti se homogenosti uzorka betona. Također se ne isplati nabava veće količine ugljikovih nanočestica ako gotovo nikako neće poboljšati zaštitu od EM zračenja.

2.2.4 Zgura

Zgura se dobiva pri proizvodnji željeza u visokim pećima kao ostatak. Naglim hlađenjem tekuće zgure koja pliva na rastaljenom željezu ona se granulira u zrna klinkerskog oblika. Zgura se, između ostalog, koristi za EM oklapanje keramičkih građevinskih materijala na bazi gline.

Tri su najčešće vrste metalurških zgura: zgure iz elektrolučne peći (eng. *electric arc furnace slag*, EAFS), zgure iz lonac peći (eng. *ladle furnace slag*, LFS) i zgure iz kisikovih konvertora (eng. *Basic Oxygen Furnace Slag*, BOFS). EAFS nastaje pri topljenju starog čelika u elektrolučnim pećima. Ima visok sadržaj željeznih oksida (željezni (II) oksid FeO , željezni (III) oksid odnosno hematit Fe_2O_3). Svojstva EM oklapanja su mu jako dobra zbog vodljivih faza i željeznih oksida. LFS nastaje u lonac peći gdje se rastaljeni čelik dodatno pročišćava. Sadrži više CaO (kalcijev oksid) i Al_2O_3 (aluminijev (III) oksid), a manje željeznih oksida. Ima slabija svojstva EM oklapanja od EAFS radi manje željeznih oksida i radi slabije vodljivosti u odnosu na EAFS. BOFS nastaje u kisikovim konvertorima tijekom proizvodnje čelika iz sirovog željeza i otpadnog čelika. Ima bogat sadržaj CaO (kalcijev (II) oksid), Fe_2O_3 (hematit), SiO_2 (silicijev (IV) oksid), MgO (magnezijev (II) oksid) i MnO (manganov (II) oksid). BOFS ima u sebi umjeren sadržaj željeznih oksida, manje nego u EAFS, a više u odnosu na LFS. Svojstva EM oklapanja su mu umjerena, bolja u odnosu na LFS, a lošija u odnosu na EAFS radi količine željeznih oksida i vodljivosti koja je između EAFS i LFS.

Bantsis [23] je sa suradnicima ispitao devet različitih keramičkih uzoraka dimenzija 12x6x2 cm s dodatkom zgre pri rasponu frekvencija od 8 GHz do 12 GHz. Prvi uzorak je referentni, četiri uzorka sadrže 5 %, 10 %, 15 % i 20 % EAFS-a od ukupne težine uzorka i preostala četiri uzorka sadrže 5 %, 10 %, 15 % i 20 % LFS-a. Na slici 2.16 prikazani su rezultati ispitivanja spomenutih uzoraka pojačanih s LFS-om i EAFS-om.

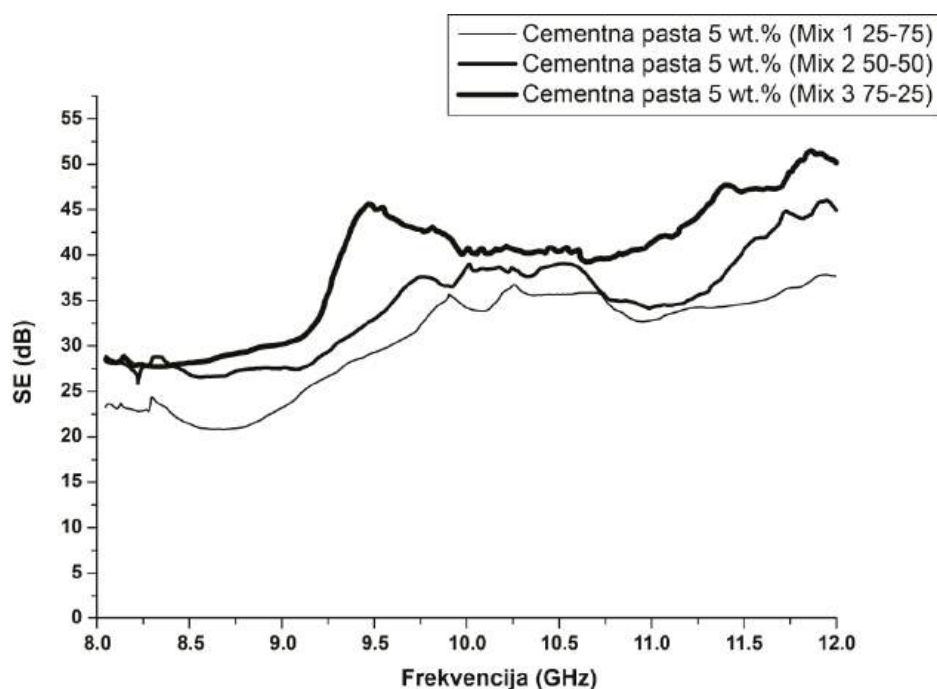


Slika 2.16: Usporedba rezultata ispitivanja učinkovitosti zaštite nepojačanog keramičkog uzorka i keramičkih uzoraka pojačanih metalurškim zgurama [23]

Referentni uzorak ne pokazuje gotovo nikakvu učinkovitost EM oklapanja. Uzorci pojačani sa 15 % i 20 % EAFS-a pokazuju učinkovitost EM oklapanja nešto veću od 3 dB, dok uzorci pojačani sa 5 % i 10 % EAFS-a pokazuju učinkovitost oklapanja nešto manju od 3 dB. Uzorci pojačani s 10 % i 15 % LFS-a imaju SE jednaku oko 2 dB, dok uzorci pojačani s 5 % i 20 % LFS-a imaju SE oko 1,5 dB. Rezultati pokazuju da što je više EAFS-a u uzorku to je veća učinkovitost EM oklapanja. To se pripisuje većoj količini željeznih oksida sadržanih u uzorcima kako se povećava postotak i veličina čestica EAFS-a. U keramičkim uzorcima koji sadrže LFS, najbolje vrijednosti SE opažene su u manjim udjelima LFS-a i manjim veličinama čestica. To se pripisuje većoj količini kalcijevih oksida sadržanih u LFS-u.

Pri izloženosti temperaturi od 950 °C kalcijevi oksidi su dostigli svoju točku tališta i obložili željezne okside koji utječu na SE. Na temelju naznačenog, povećanjem postotka adicije i veličine čestica LFS, SE je smanjena, dok povećanjem veličine EAFS-a čestica vrijednost SE raste.

Bantsis [24] je također ispitivao tri uzorka cementne paste s dodatkom mješavine zgura dimenzija 30x30x5 cm. Uzorak se sastojao od 95 % sastojaka cementne paste (cement i voda) i 5 % zgure. Prvi uzorak sadrži 25 % EAFS-a i 75 % LFS-a od ukupne količine zgure u uzorku, drugi uzorak sadrži 50% EAFS-a i 50 % LFS-a od ukupne količine zgure, dok treći uzorak sadrži 75 % EAFS-a i 25 % LFS-a od ukupne količine zgure. Usporedba rezultata ispitivanja prikazana je na slici 2.17. Na osi apscisa prikazana je frekvencija raspona od 8 GHz do 12 GHz, dok je na osi ordinata prikazana učinkovitost EM oklapanja uzoraka.



Slika 2.17: Usporedba rezultata ispitivanja tri uzorka cementne paste s dodatkom mješavine zgura [24]

Prvi je uzorak u rasponu frekvencija sa slike postigao prosječnu SE u iznosu od oko 30 dB, drugi uzorak oko 34 dB, a treći uzorak oko 39 dB. Iz ispitivanja se može se vidjeti kako EAFS više štiti od EM zračenja nego LFS, mada i LFS utječe pozitivno na SE.

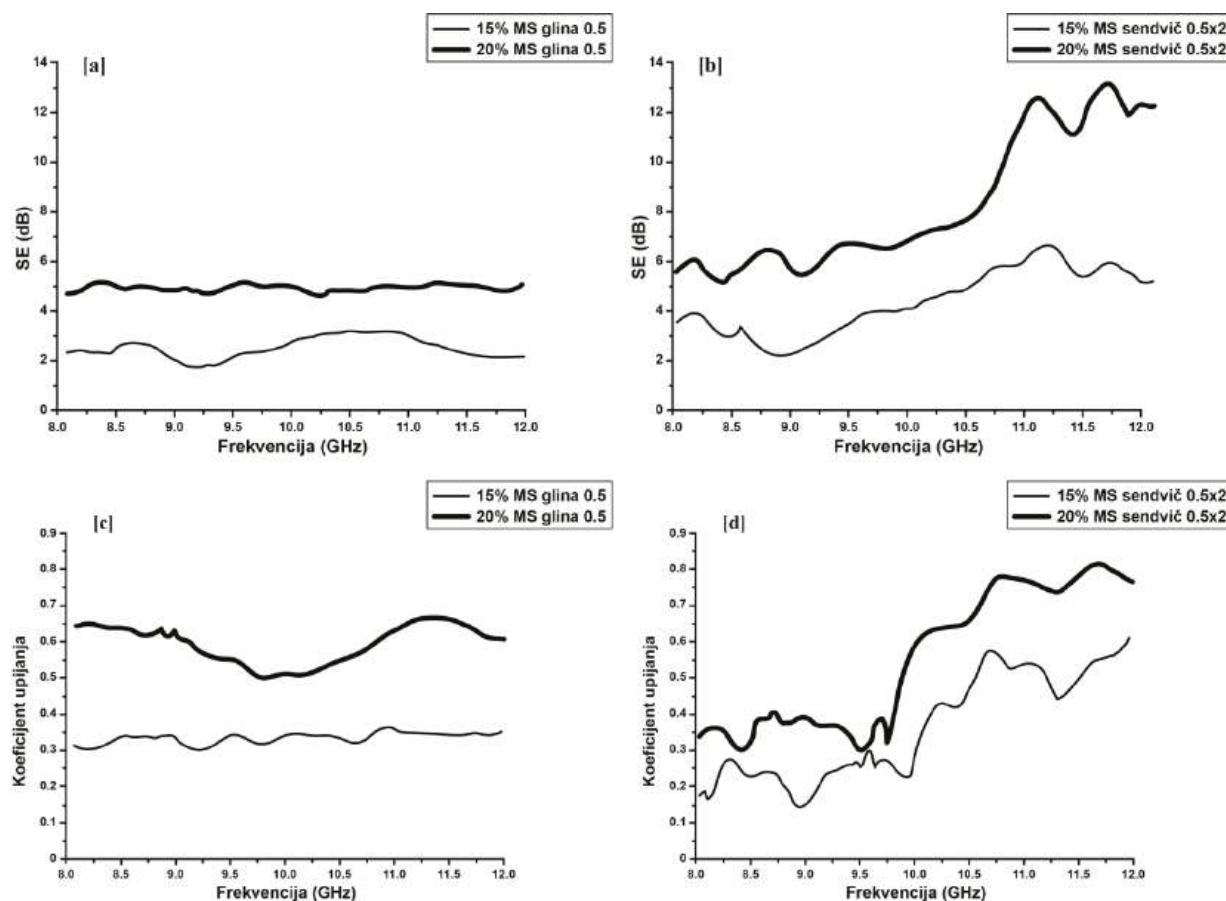
Sve vrste zgure pružaju dobru zaštitu od EM zračenja. Zgura iz elektrolučne peći pruža dosta bolju zaštitu od EM zračenja od zgure iz lunac peći zbog većeg sadržaja hematita koji ima vrlo dobra svojstva upijanja EM zračenja. Također u slučaju uzoraka pojačanih mješavinom zgure iz elektrolučne peći i zgure iz lonac peći, bolju zaštitu od EM zračenja je pokazao uzorak koji sadrži veću količinu zgure iz elektrolučne peći. Također je očito kako porastom bilo koje vrste zgure u ispitanim uzorcima raste i učinkovitost EM oklapanja. Ograničenja ovih studija su nedostatak informacija o utjecaju zgure na tlačnu čvrstoću ispitanih uzoraka i podatci o optimalnoj količini zgure za primjenu u praksi.

2.2.5 Metalni/željezni oksidi

Metalni/željezni oksidi vrlo dobro utječu na poboljšanje EM oklapanja najviše kroz upijanje EM zračenja. Metalni oksidi poput ZnO (cinkov (II) oksid), TiO₂ (titanijev (IV) oksid) i Al₂O₃ (aluminijev (III) oksid) su uglavnom imaju sposobnost dielektričnog oklapanja. Iako imaju nisku električnu vodljivost mogu doprinositi upijanju EM valova putem polarizacije i stvaranja dielektričnog gubitka. Željezni oksidi poput Fe₂O₃ (hematit) i Fe₃O₄ (magnetit) imaju sposobnost magnetskog oklapanja. Oni su magnetni materijali i unose magnetski gubitak zbog relaksacije domene, histereznih gubitaka, vrtložne struje koju inducira EM val unutar vodljivih materijala i feromagnetske rezonancije.

Bantsis [25] je u svojim ispitivanjima analizirao četiri uzorka izrađena s dodatkom željeznih oksida s površine čelika nastalih kao otpadni materijal prilikom izrade toplo valjanog čelika (u daljnjem tekstu MS, eng. *mill scale*). Prva dva uzorka su uzorci zida od glinenih opekarskih elemenata dimenzija 30x30x3 cm. Prvi uzorak je s dodatkom 15 % MS-a od ukupne mase uzorka, dok je drugi uzorak s dodatkom 20 % MS-a od ukupne mase uzorka. Druga dva uzorka su uzorci u obliku sendviča koji se sastoje od keramičkih pločica debljine 1 cm s gornje i donje strane i cementne paste debljine 1 cm, koji je u početku miješan i homogeniziran u smjesi s 10 % MS-a od ukupne težine Portland cementa. Ukupan uzorak je dimenzija 30x30x3 cm. Kod prvog od druga dva uzorka keramičke pločice su izrađene s dodatkom 15 % MS-a od ukupne mase pločica, dok kod drugog uzorka pločice su izrađene s dodatkom 20 % MS-a. Na slici

2.18 prikazani su rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite od EM zračenja i koeficijenta upijanja spomenutih uzoraka.

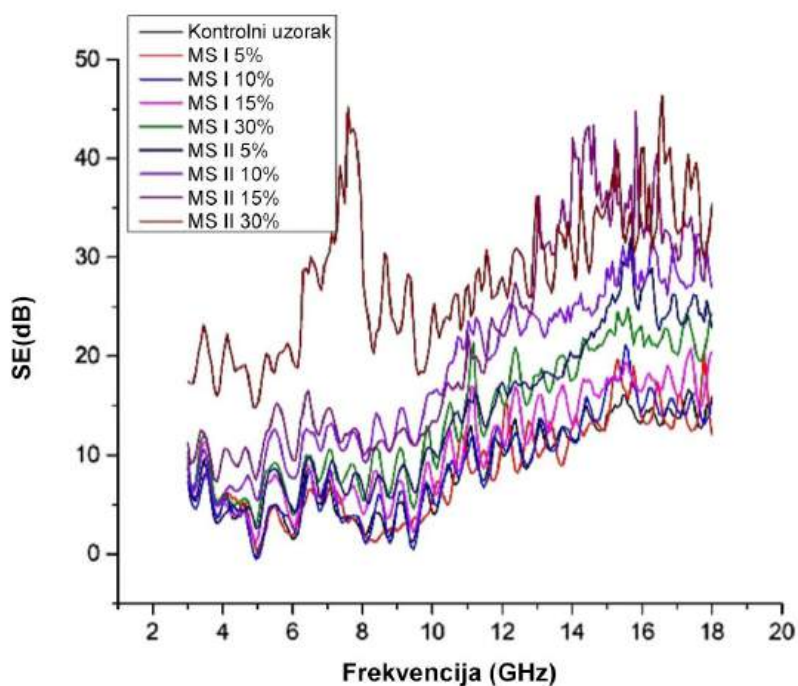


Slika 2.18: Rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite i koeficijenta upijanja a) i c) uzoraka zida od glinenih opekarskih elemenata i b) i d) uzoraka u obliku sendviča [25]

Ispitivanja su pokazala da je prosječna učinkovitost oklapanja (SE) za zidove od opeke 3 dB za 15 % MS-a od ukupne mase uzorka, dok je za zid od opeke koji sadrži 20 % MS-a prosječna SE jednaka 4 dB. Nadalje, za uzorak s dvije keramičke pločice vezane cementnom pastom koji sadrži otpad od 10 % MS-a, SE je povećana. Uzorak s pločicama koje sadrže 15 % MS-a iznosi 4,5 dB, dok uzorak s 20 % MS-a od ukupne težine pločice prosječna SE jednaka je 8 dB. S obzirom da je debljina i ukupni sadržaj MS-a otpada u zidu od opeke i zidu pločica sa cementnom pastom bio gotovo isti, poboljšanje EM oklapanja pripisuje se pretvorbi površine jednog materijala u tri površine (pločice u obliku sendviča s cementnom pastom u sredini).

Uzorci s keramičkim pločicama i cementom pastom imaju bolju SE nego uzorci zida od glinene opeke. Kad je apsorpcija u pitanju, zid od opeke ima veći početni koeficijent apsorpcije nego zid od sastavljen od keramičkih pločica i cementne paste između njih. Povećanjem frekvencije koeficijent apsorpcije zida od opeke zadržava sličnu vrijednost, dok kod keramičkih ploča koeficijent apsorpcije raste s povećanjem frekvencije. Pri većim frekvencijama uzorak od keramičkih pločica i cementne paste s dodatkom otpadnih željeznih oksida s površine čelika ima prosječno veći koeficijent upijanja nego zid od opeke s dodatkom MS-a [25].

Ozturk [26] je opisao zaštitu od EM zračenja uzoraka morta dimenzija 10x10x2 cm s dodatkom MS-a. Korištene su dvije vrste MS otpadnog materijala: MS-I koji je dobiven procesom kiselnog tretmana površine čeličnog lima i MS-II koji je dobiven kao otpad iz procesa izrade toplo valjanog čelika. Ispitivanja su provedena na 9 uzoraka mortova. Kontrolni uzorak izrađen je bez dodatka MS-a, a ostali uzorci su sadržavali 5 %, 10 %, 15 % i 30 % MS-a od ukupnog volumena agregata. Na slici 2.19 prikazani su rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite od EM zračenja kontrolnog uzorka morta bez dodataka i uzorka morta s dodatkom MS-a.



Slika 2.19: Rezultati ispitivanja učinkovitosti zaštite od EM zračenja kontrolnog uzorka morta bez dodataka i uzorka morta s dodatkom MS-a [26]

MS-II bolje utječe na poboljšanje zaštite od EM zračenja u odnosu na MS-I. Veći postotak udjela MS u mortu MS-I uzrokuje blagi porast SE, ali ni blizu u tolikoj mjeri kao uzoraka s dodatkom MS-II. Povećanje udjela MS-a u uzorku MS-II s 5 % na 30 % u mortu je rezultiralo značajnim povećanjem SE.

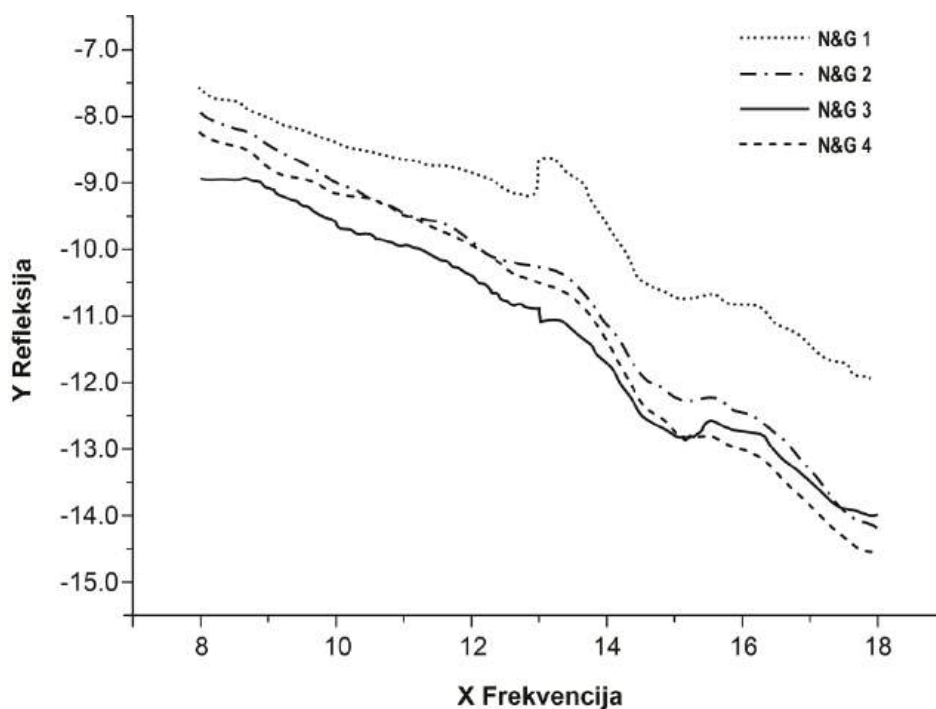
Titanijev dioksid (TiO_2) se najčešće koristi kao pigment, apsorber i fotokatalizator [27]. TiO_2 pigment se koristi u gotovo svim vrstama boja zbog visokog indeksa loma. Neke druge primjene TiO_2 su njegov dodatak prehrani, zatim u farmaceutskoj industriji i kozmetičkim proizvodima [28]. TiO_2 također karakterizira niska gustoća, toplinska stabilnost, netoksičnost, jednostavna priprema i niska cijena [29].

Uz prethodno naznačene primjene, TiO_2 kao poluvodič n-tipa (negativni tip poluvodiča, poluvodič s viškom slobodnih elektrona) ima vrlo visok faktor dielektričnog gubitka [30]. Zbog toga se TiO_2 često koristi u kompozitnim materijalima za EM oklapanje [30-32]. Feriti, MnFe_2O_4 (mangan-ferit ili mangan (II) željezov (III) oksid), ZnFe_2O_4 (cink-ferit ili cink (II) željezov (III) oksid), CoFe_2O_4 (kobalt-ferit ili kobalt (II) željezov (III) oksid), su materijali koji se široko koriste u područjima pohrane podataka, magnetske rezonancije, elektroničkih uređaja, [33]. Magnetska svojstva nanočestica metalnog oksida ne ovise samo o veličini čestica, već i o obliku i morfologiji čestica [34].

Jedna od važnih karakteristika cink-nanoferita je velika površina, zbog čega se koriste i kao katalizatori u kemijskim procesima [35]. Zbog vrlo dobrih magnetskih i elektromagnetskih svojstava, velike otpornosti, propusnosti i kemijske stabilnosti, cink-ferit je vrlo dobar materijal za EM oklapanje [36].

Nije se pronašlo nijedno istraživanje koje se bavi EM oklapanjem korištenjem samo titanijevog dioksida kao dodatka betonu. Zhang [37] je istraživao učinak dodavanja titanijevog dioksida i čeličnih vlakana u uzorcima cementnog kompozita izmjera $18 \times 18 \times 2$ cm na refleksiju elektromagnetskog zračenja u frekvencijskom području od 8 do 18 GHz. U cementni kompozit su dodani titanijev dioksid i čelična vlakna u omjerima od 2 % (N&G 1), 4 % (N&G 2), 6 % (N&G 3), 8 % (N&G 4). Primjerice, u jednoj smjesi dodano je 2 % čeličnih vlakana i 2 % TiO_2 . Ovo se načelo koristilo za sve smjese od 2 % do 8 %. U kontekstu rada što je vrijednost refleksije niža (negativnija), bolje je upijanje

EM zračenja. To znači da uzorak ima bolju učinkovitost EM oklapanja. Razlog tomu je činjenica kako je cementni kompozit s dodatkom TiO_2 upijajući uzorak koji se sastoji od upijajućih materijala i smanjuje količinu EM zračenja koja se može upiti. U ovim istraživanjima cilj nije samo spriječiti prolazak EM vala, nego ga upijati unutar materijala, tj. pretvoriti ga u toplinu ili disipaciju (ista objašnjenja vrijede i za ispitivanja Lija [38] i Zhanga [39]). Rezultati ispitivanja na refleksiju spomenutih uzoraka prikazani su na slici 2.20. Na osi apscisa prikazana je frekvencija u rasponu od 8 do 18 GHz, dok je na osi ordinata prikazana refleksija.



Slika 2.20: Rezultati ispitivanja na refleksiju uzoraka morta s dodatkom različitih količina titanijevog dioksida i čeličnih vlakana [37]

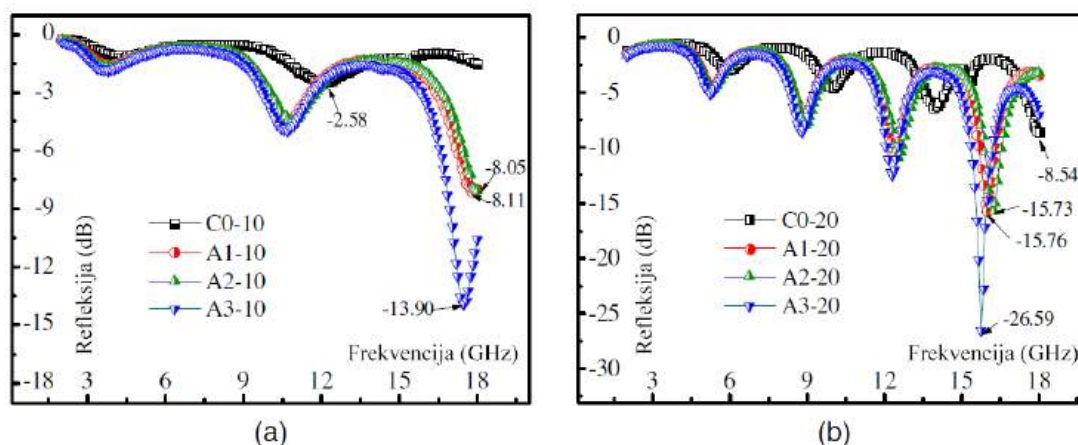
Sa slike se vidi kako uzorak N&G 1 ima najslabiju učinkovitost upijanja EM zračenja, zatim učinkovitost upijanja EM zračenja naglo raste do uzorka N&G 2. Nakon toga također učinkovitost upijanja EM zračenja raste, ali sporije do uzorka N&G 3. Slika 2.20 pokazuje kako kombinacija TiO_2 nanočestica i čeličnih vlakana u cementu značajno povećava učinkovitost upijanja EM zračenja. Sa slike 2.20 se također vidi kako uglavnom najbolja svojstva upijanja EM zračenja pokazuje uzorak N&G 3, što znači kako je za upijanje EM zračenja optimalan udio TiO_2 nanočestica i čeličnih vlakana 6

%. Dodajući čelična vlakna i TiO_2 nanočestice u količini većoj od 6 % doprinosi smanjenju učinkovitosti upijanja EM zračenja zbog smanjenja rezonantne interakcije s EM valovima i narušavanja mikrostrukture čime se gubi homogenost uzorka.

Li [38] je sa svojim suradnicima ispitao EM oklapanje uzoraka cementnog kompozita s dodatkom titanijevog dioksida. Autori su varirali 10 oblika uzoraka morta s dodatkom titanijevog dioksida s različitim veličinama nanočestica:

- CO-10 – kontrolni uzorak debljine 1 cm bez TiO_2
- A1-10 – uzorak pojačan debljine 1 cm s dodatkom TiO_2 veličine čestica 5 nm
- A2-10 – uzorak pojačan debljine 1 cm s dodatkom TiO_2 veličine čestica 10 nm
- A3-10 – uzorak pojačan debljine 1 cm s dodatkom TiO_2 veličine čestica 15 nm
- CO-20 – kontrolni uzorak debljine 2 cm bez TiO_2
- A1-20 – uzorak pojačan debljine 2 cm s dodatkom TiO_2 veličine čestica 5 nm
- A2-20 – uzorak pojačan debljine 2 cm s dodatkom TiO_2 veličine čestica 10 nm
- A3-20 – uzorak pojačan debljine 2 cm s dodatkom TiO_2 veličine čestica 15 nm

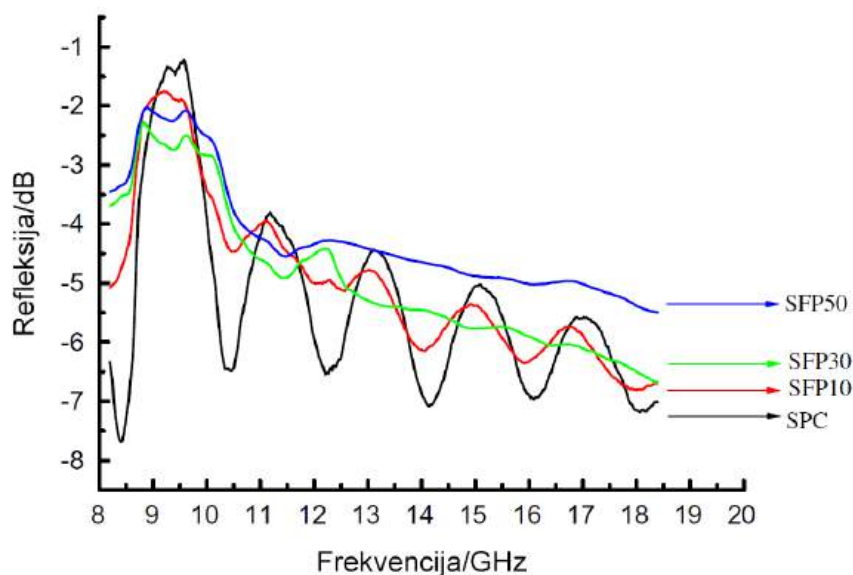
U ovom radu ispitana je refleksija navedenih uzoraka. Cilj slike je odrediti i usporediti sposobnost upijanja EM zračenja navedenih uzoraka (što je vrijednost refleksije niža, bolje je upijanje EM zračenja). Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 2.21. Na osi apscisa prikazana je frekvencija u rasponu od 2 do 18 GHz, dok je na osi ordinata prikazana refleksija.



Slika 2.21: Refleksija cementnih kompozita pojačanih nanočesticama TiO_2 česticama različitih veličina, s debljinom (a) 1 cm i (b) 2 cm u frekvencijskom rasponu od 2 do 18 GHz [38]

Rezultati su pokazali da svi uzorci pojačani s TiO_2 imaju bolju učinkovitost upijanja EM zračenja u odnosu na kontrolni uzorak. Također sa slike 2.21 može se vidjeti kako uzorci s većom debljinom bolje upijaju EM zračenje. Uzorci s česticama TiO_2 veličine 5 i 10 nm pokazuju sličnu učinkovitost upijanja, dok uzorak TiO_2 s česticama veličine 15 nm pokazuje najbolju sposobnost upijanja EM zračenja u odnosu na ostale uzorke.

Zhang [39] je ispitao je učinkovitost refleksije i upijanja EM zračenja betonskog kompozita s mangan cink feritom (Mn-Zn ferit). Uzorci kompozita debljine 3 cm ispitani su u frekvencijskom području od 8 GHz do 18 GHz. Ispitani su kontrolni uzorak bez Mn-Zn ferita (SPC), uzorak s dodatkom 10 % Mn-Zn ferita (SFP10), uzorak s dodatkom 30 % Mn-Zn ferita (SFP30) i uzorak s dodatkom 50 % Mn-Zn ferita (SFP50). Na slici 2.22 prikazani su rezultati refleksije navedenih uzoraka i prema njima se zaključila sposobnost upijanja EM zračenja pojedinog uzorka (što je vrijednost refleksije niža, bolje je upijanje EM zračenja). Na osi apscisa prikazana je frekvencija u rasponu od 8 do 20 GHz, dok je na osi ordinata prikazana refleksija uzoraka.



Slika 2.22: Utjecaj udjela Mn-Zn ferita na refleksijska svojstva uzoraka

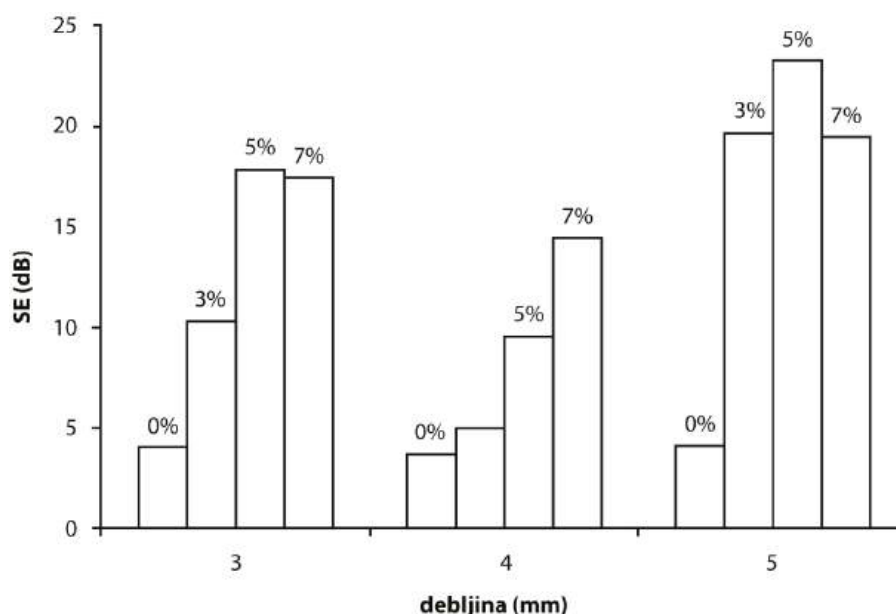
Sa slike 2.22 vidi se kako kontrolni uzorak SPC ima najnestabilnija svojstva refleksije, samim time i upijanja EM zračenja. Od svih uzoraka najslabiju učinkovitost upijanja EM zračenja ima kontrolni uzorak pri frekvencijama oko 9,5 GHz. Uzorak SFP10 ima bolja i stabilnija svojstva upijanja EM zračenja u odnosu na kontrolni uzorak. Uzorak SFP30

pokazuje najbolja svojstva, ima najravniju krivulju refleksije i najnižu maksimalnu vrijednost, što podrazumijeva najbolju učinkovitost upijanja EM zračenja. Dodavanje udjela Mn-Zn ferita iznad 30 % rezultira slabljenjem učinkovitosti upijanja EM zračenja, što se najbolje vidi na krivulji koja predstavlja uzorak SFP50. Razlog tomu je što pretjerani dodatak Mn-Zn ferita dovodi do neusklađenosti impedancije, što je razlog da se više EM valova reflektira i smanjuje se učinkovitost upijanja.

Ograničenja ovih studija su nedostatak ispitivanja učinkovitosti EM oklapanja pri nižim frekvencijama.

2.3 Utjecaj umetaka u betonu na zaštitu od prodora EM zračenja

Ispitivanja betonskih elemenata konstrukcije pojačanih čeličnim prstenovima za EM oklapanje su nedovoljno ispitani i detaljnim pregledom literature nije nađeno takvo ili slično ispitivanje. Lee [5] je ispitao pločaste betonske uzorke kružnog poprečnog presjeka pomiješane s bambusovim ugljenom. Bambusov ugljen se obično proizvodi od stabljika ili otpada zrelih stabla bambusa na način da se spaljuju u pećnicama na temperaturama u rasponu od 600 do 1200 °C. Napravljeno je ukupno 9 uzoraka, debljine 3, 4 i 5 mm, i udio bambusovog ugljena u njima je 3, 5 i 7 % od ukupne mase uzorka. Usporedba rezultata ispitivanja na učinkovitost oklapanja spomenutih uzoraka prikazana je na slici 2.23.



Slika 2.23: Usporedba rezultata ispitivanja na učinkovitost oklapanja uzoraka kružnog poprečnog presjeka pomiješanih s različitom količinom bambusova ugljena [5]

Prstenasta ploča debljine 3 mm s udjelom bambusovog ugljena 3 % može dosegnuti učinkovitost oklapanja (SE) u vrijednosti od oko 10 dB, dok s udjelom bambusovog ugljena 5 % i 7 % može doseći i 18 dB. U uzorcima 3 mm debljine učinkovitost oklapanja kod uzorka s 5 % i 7 % udjela bambusovog ugljena je slična. Uzorci debljine 4 mm imaju manju SE u odnosu na uzorke debljine 3 mm. U ovim uzorcima što je udjel bambusovog ugljena veći to je veća SE. Sa slike 2.23 vidi se kako je za uzorke debljine 3 mm najveća SE za uzorak s udjelom bambusovog ugljena od 5 % i iznosi oko 18 dB, za uzorke debljine 4 mm najveću SE ima uzorak s udjelom bambusovog ugljena 7 % i iznosi oko 15 dB, dok za uzorke debljine 5 mm najveću SE pokazuje uzorak s udjelom bambusovog ugljena od 5 % i iznosi čak 23 dB, dok uzorci sa udjelom bambusovog ugljena 3 % i 7 % imaju približno jednaku učinkovitost oklapanja. Ispitivanja su pokazala kako je 5 % najoptimalnija količina bambusovog ugljena kod pločastih betonskih uzoraka, a dodavanjem preko 5 % bambusovog ugljena dolazi do zasićenja EM mehanizama, što rezultira slabijim svojstvima EM oklapanja.

U literaturi [40] ispitana je učinkovitost zaštite od EM zračenja 3 uzorka potencijalnih umetaka za betonski pločasti nosač dimenzija 20x20x1,5 cm. Sva tri uzorka su u obliku sendviča, sastoje se od polimera armiranih ugljičnim vlaknima (eng. *carbon fiber*

reinforced polymer, CFRP) s vanjske strane. S unutarnje strane nalaze se dva sloja. U prvom uzorku gornji sloj čini žičana mreža od bakra s CFRP-om, a donji sloj čini žičana mreža od nehrđajućeg čelika s CFRP-om. U drugom uzorku gornji sloj čini žičana mreža od nikla s CFRP-om, a donji sloj čini žičana mreža od bakra s CFRP-om. U trećem uzorku gornji sloj čini žičana mreža od nikla s CFRP-om, a donji sloj čini žičana mreža od nehrđajućeg čelika s CFRP-om. Ukupna učinkovitost EM oklapanja (SE) dobila se tako što su se zbrojili refleksija i upijanje EM zračenja.

$$SE = SE_{ref} + SE_{abs} \quad (2.2)$$

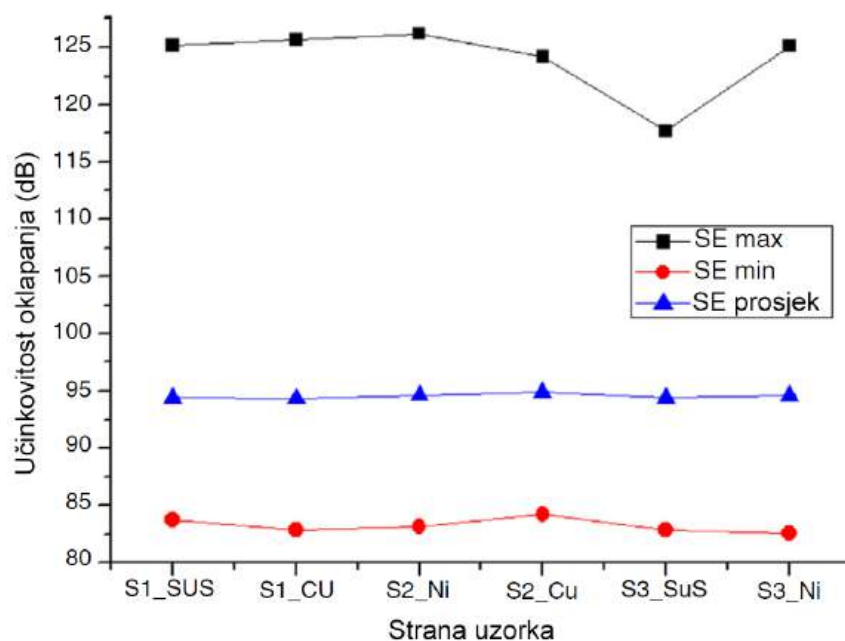
gdje su:

SE - ukupna učinkovitost EM oklapanja

SE_{ref} - refleksija EM zračenja

SE_{abs} - upijanje EM zračenja

Na slici 2.24 prikazani su ukupni rezultati ispitivanja SE uzoraka s obje strane mjerenja. Na osi apscisa prikazani su uzorci i s koje strane je mjerenje izvršeno, dok je na osi ordinata prikazana ukupna učinkovitost EM oklapanja.



Slika 2.24: Maksimalna, minimalna i prosječna učinkovitost EM oklapanja [40]

Za prvi uzorak SE varirala je od 84 dB do 125 dB kada je strana od nehrđajućeg čelika okrenuta prema izvorima valova tijekom ispitivanja (S1_SUS), a kad je strana od bakra bila okrenuta prema izvoru zračenja SE (S1_CU) je bila između 83 dB i 126 dB. Širi raspon SE s bakrene strane može se povezati većim gubitkom magnetske refleksije i njegovom visokom električnom vodljivošću u usporedbi s nehrđajućim čelikom.

Kod drugog uzorka SE je varirala od 83 do 126 dB kada je strana od nikla okrenuta prema izvorima valova, a kad je uzorak preokrenut, postignuta je SE od 84 do 124 dB. Međutim, u visokofrekventnom području drugi uzorak je pokazao dobra oklopna svojstva kada je bakrena strana bila okrenuta prema izvoru valova.

Treći uzorak pokazao je gotovo istu najmanju učinkovitost zaštite od oko 82 dB bez obzira na koju stranu su primijenjeni upadni valovi. No, najveća učinkovitost oklapanja (SE) od 118 i 125 dB postignuta je kada je zračenje valova iz izvora primljeno sa strane od nehrđajućeg čelika, odnosno nikla.

Na temelju provedene analize može se izvesti zaključak kako ugradnja metalnih mreža unutar strukture CFRP-a znatno poboljšava svojstva EM oklapanja, dajući materijale koji kombiniraju malu težinu, a visoku čvrstoću i učinkovitost EM oklapanja. Sa slike 2.24 može se vidjeti kako za nijansu najbolju učinkovitost EM oklapanja (najveću prosječnu vrijednost SE) ima uzorak sa žičanom mrežom od nikla i bakra s CFRP-om zbog sinergijske kombinacije reflektivnih i upijajućih svojstava EM zračenja metala. Općenito, ovi su materijali pogodni za primjenu u elektronici, zrakoplovstvu i komunikaciji, gdje je bitno kombinirati malu težinu, a visoku čvrstoću i učinkovitost EM oklapanja. Ograničenja ovih studija su nedostatak ispitivanja kad su spomenuti uzorci ugrađeni i zid ili ploču, ne zna se sa sigurnošću kakva bi svojstva zaštite CFRP-a bila npr. unutar uzorka betonske ploče ili betonskog zida.

Dakle, iz pregleda literature može se zaključiti kako je područje EM oklapanja u građevinskim konstrukcijama bilo nedovoljno istraženo područje. Zbog toga je bilo potrebno provesti dodatna istraživanja mogućnosti upotrebe različitih materijala u betonu sa svrhom povećanja oklapanja konstrukcijskih betonskih elemenata pri prodoru EM zračenja. Također, nakon provedenih istraživanja i pregleda literature iz ovoga područja može se zaključiti kako do sada nisu izvršena istraživanja na betonskim

elementima unutar kojih su postavljeni čelični umetci ili mikrovalni rezonatori. Ta činjenica dodatno pridonosi izvornosti ovoga istraživanja.

3. Eksperimentalna ispitivanja zaštite na transmisiju EM vala

3.1 Uvod i opis eksperimentalnih istraživanja

Ispitivanja materijala provedena su korištenjem poznatih eksperimentalnih metoda u skladu s Tehničkim propisom za građevinske konstrukcije (NN 17/2017) te postojećim normama za beton i komponente betona (HRN EN 206 2016 [41], HRN EN 12350-2:2016 [42] i HRN EN 12504-1:2019/AC:2020 [43]). Cilj je definirati kriterije za uporabu materijala za zaštitu od EM zračenja (vlakana, rasutih materijala i mikrovalnih rezonatora) u nosivim armiranobetonskim elementima konstrukcije. Ispitani su plošni nosači različitih debljina i pojačanja na zaštitu od EM zračenja. Izrađeni su uzorci plošnih nosača dimenzija 60x60 cm čija je debljina 10, do 30 cm. Ti uzorci su nepojačani, dvostruko armirani s mrežastom armaturom Q785, s dodatkom čelične mikroarmature, recikliranih ugljičnih vlakana, te su ispitivane dvije vrste uzoraka s različitim oblicima čeličnih mikrovalnih rezonatora. U tablici 3.1 prikazani su ispitani uzorci plošnih nosača sa svojim oznakama, osnovnim karakteristikama i brojem ispitanih kocaka za svaku mješavinu (za svaku vrstu mješavine ispitane su po tri kocke).

Tablica 3.1: Ispitani uzorci plošnog nosača

Uzorak plošnog nosača	Oznaka	Debljina (cm)	Količina dodanog materijala (%)	Mješavina korištena za izradu uzorka	Broj ispitanih kocaka
Nearmiran	NC 100	10 cm	-	NC-0	3
	NC 200	20 cm			
	NC 300	30 cm			
Armiran mrežastom armaturom Q785	RC 200	20 cm	-	RC-0 = NC-0	3
	RC 250	25 cm			
	RC 300	30 cm			
Pojačan čeličnim vlaknima	SFC 200	20 cm	0,8 %	SFRC-0,8	3
	SFC 250	25 cm			
	SFC 300	30 cm			

Pojačan ugljičnim vlaknima	CFC 200	20 cm	1,5 %	CFC-1,5	3
	CFC 250	25 cm			
	CFC 300	30 cm			
S ugrađenim križnim mikrovalnim rezonatorima u obje zone	2RC+	20 cm	1,7 %	RC-0 = NC-0	3
S ugrađenim prstenastim mikrovalnim rezonatorima u obje zone	2RCO	20 cm	3 %	RC-0 = NC-0	3
S ugrađenim križnim mikrovalnim rezonatorima i armiran mrežastom armaturom Q785 u obje zone	2RC+ 2RC	20 cm	1,7 %	RC-0 = NC-0	3
S ugrađenim prstenastim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom Q785 u obje zone	2RCO 2RC	20 cm	3 %	RC-0 = NC-0	3
S ugrađenim jednim slojem križnih mikrovalnih rezonatora i armiran mrežastom armaturom Q785 u obje zone	1RC+ 2RC	20 cm	0,85 %	RC-0 = NC-0	3
S ugrađenim jednim slojem prstenastih mikrovalnih rezonatora i armiran mrežastom armaturom Q785 u obje zone	1RCO 2RC	20 cm	1,5 %	RC-0 = NC-0	3

3.1.1 Sastavi mješavina betona, priprema i njega uzoraka

U tablicama od 3.2 do 3.5 prikazani su sastavi mješavina navedenih uzoraka plošnih nosača. Za izradu mješavina betona za nearmirane uzorke plošnih nosača (eng. *normal concrete*, oznaka NC-0), uzorke plošnih nosača armirane mrežastom armaturom Q785 (eng. *reinforced concrete*, oznaka RC-0), čeličnim vlaknima (eng. *steel fiber reinforced concrete*, oznaka SFRC-0,8 i SFRC-0,5), ugljičnim vlaknima (eng. *carbon fiber reinforced concrete*, oznaka CFC-1,5) i uzorke u koje su ugrađeni čelični mikrovalni rezonatori (oznaka uzoraka za armirani beton s križnim mikrovalnim rezonatorima RC+, i za uzorke s kružnim mikrovalnim rezonatorima RCO) korišten je

Portland-kompozitni cement CEM II/BB-M (P-S) 32,5R iz obližnje tvornice cementa u Našicama, u Hrvatskoj, sa specifičnom težinom od $3,17 \text{ kg/dm}^3$, u skladu s normom BAS EN 197-1:2013. Korištena je voda iz slavine iz javnog sustava vodoopskrbe grada Osijeka. U svrhu postizanja željenih svojstava betona u svježem stanju, kao kemijski dodaci korišteni su superplastifikator (eng. *superplasticizer*, SP) Energy FM 500 i dodatak za promjenu viskoznosti stabilizator Premadd Stabilisator X (VMA). Superplastifikator služi za poboljšanje kvalitete i obradivosti betonske smjese bez povećanja količine vode. Smanjuje količinu vode potrebne za dobivanje željene konzistencije, čime se povećava čvrstoća i trajnost betona i pomaže u postizanju gustog i visokokvalitetnog betona s boljim tehničkim svojstvima. Stabilizator služi za sprječavanje razdvajanja sastojaka betonske smjese i održavanje ujednačene konzistencije tijekom miješanja, transporta i ugradnje, posebno kod betona s visokom tečnošću. Sprječava da se pijesak i šljunak odvoje od cementne paste, povećava homogenost betona, znači održava smjesu ujednačenom, posebno kod samozbijajućeg betona i betona s dodatkom superplastifikatora. Prirodni pijesak veličine zrna od 0 do 2 mm sa specifičnom težinom od $2,58 \text{ kg/dm}^3$, drobljeni kamen veličine zrna od 0 do 4 mm sa specifičnom težinom od $2,79 \text{ kg/dm}^3$, veličine zrna od 4 do 8 mm sa specifičnom težinom od $2,88 \text{ kg/dm}^3$ i veličine zrna od 8 do 16 mm sa specifičnom težinom od $2,88 \text{ kg/dm}^3$.

Tablica 3.2: Sastav mješavine betona nearmiranog uzorka plošnog nosača i uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785

REFERENTNI BETON NC-0 (klasa izloženosti XC1, suhi unutarnji prostor u laboratoriju)		Masa		Gustoća	Volumen
		%	(kg)	(kg/dm ³)	(dm ³)
Cement	CEM II 32,5R		300,00	3,17	94,64
Voda	voda iz slavine		150,00	1,00	150,00
v/c omjer	0,50				
Dodaci	Energy FM 500 (SP)	1,00%	3,00	1,08	2,78
	Premadd Stabilisator X (VMA)	0,45%	1,35	1,04	1,30
Sadržaj zraka		1,50%			15,00
Agregati	0-4 mm - dolomit	37%	760,07	2,79	272,43
	4-8 mm - dolomit	16%	339,28	2,88	117,81
	8-16 mm - dolomit	47%	986,04	2,88	342,37
	Čelična vlakna	0%	0,00	7,80	
Ukupno			2539,74	2,54	1000

Tablica 3.3: Sastav mješavine betona uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima (0,5 %)

BETON S ČELIČNIM VLAKNIMA SFRC-0.5 (klasa izloženosti XC1, suhi unutarnji prostor u laboratoriju)		Masa		Gustoća	Volumen
		%	(kg)	(kg/dm ³)	(dm ³)
Cement	CEM II 32,5R		300,00	3,17	94,64
Voda	voda iz slavine		150,00	1,00	150,00
v/c omjer	0,50				
Dodaci	Energy FM 500 (SP)	1,00%	3,00	1,08	2,78
	Premadd Stabilisator X (VMA)	0,45%	1,35	1,04	1,30
Sadržaj zraka		1,50%			15,00
Agregati	0-4 mm - dolomit	37%	754,37	2,79	270,38
	4-8 mm - dolomit	16%	336,74	2,88	116,92
	8-16 mm - dolomit	47%	989,16	2,88	343,46
	Čelična vlakna	0,5%	28,72	7,80	3,68
Ukupno			2568,57	2,57	1000

Tablica 3.4: Sastav mješavine betona uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima (0,8 %)

BETON S ČELIČNIM VLAKNIMA SFRC-0.8 (klasa izloženosti XC1, suhi unutarnji prostor u laboratoriju)		Masa		Gustoća	Volumen
		%	(kg)	(kg/dm³)	(dm³)
Cement	CEM II 32,5R		300,00	3,17	94,64
Voda	voda iz slavine		150,00	1,00	150,00
v/c omjer	0,50				
Dodaci	Energy FM 500 (SP)	1,00%	3,00	1,08	2,78
	Premadd Stabilisator X (VMA)	0,45%	1,35	1,04	1,30
Sadržaj zraka		1,50%			15,00
Agregati	0-4 mm - dolomit	37%	754,37	2,79	270,38
	4-8 mm - dolomit	16%	336,74	2,88	116,92
	8-16 mm - dolomit	47%	989,16	2,88	343,46
	Čelična vlakna	0,8%	43,07	7,80	5,52
Ukupno			2577,69	2,58	1000

Tablica 3.5: Sastav mješavine betona uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima

BETON S KARBONSKIM MIKROVLAKNIMA CFC-1.5 (klasa izloženosti XC1, suhi unutarnji prostor u laboratoriju)		Masa		Gustoća	Volumen
		%	(kg)	(kg/dm³)	(dm³)
Cement	CEM II 32,5R		300,00	3,17	94,64
Voda	voda iz slavine		150,00	1,00	150,00
v/c omjer	0,50				
Dodaci	Energy FM 500 (SP)	1,00%	3,00	1,08	2,78
	Premadd Stabilisator X (VMA)	0,45%	1,35	1,04	1,30
Sadržaj zraka		1,50%			15,00
Agregati	0-4 mm - dolomit	37%	754,96	2,79	270,60
	4-8 mm - dolomit	16%	337,00	2,88	117,01
	8-16 mm - dolomit	47%	989,94	2,88	343,73
Reciklirana ugljična vlakna	CF-1.5 % mc	1,5%	4,50	0,91	4,95
Ukupno			2540,76	2,54	1000

Za potrebe ispitivanja korištena su Dramix 4D 80/60 BG čelična vlakna. Mješavina betona s čeličnim vlaknima bi morala imati dovoljnu obradivost kako bi se omogućila pravilna ugradnja, zbijanje i njegovanje, uz osiguranje ravnomjerne raspodjele vlakana. Čelična vlakna su izabrana kao jedna od pojačanja uzoraka plošnog nosača iz razloga jer se uspješno primjenjuju u betonu radi poboljšanja njegovih mehaničkih svojstava, uključujući nosivost nakon pucanja i sposobnost apsorpcije EM energije. Čelična vlakna s kojima su pojačani uzorci plošnih nosača prikazani su na slici 3.1. Ugljična vlakna su nabavljena kao otpadni materijal u obliku mreža iz tvrtke Solidian&Keltex. Nakon nabave vlakna su se mehanički reciklirala na način da se iz mreže ugljičnih vlakana izvlačilo niti i njih se usitnjavalo na željene komadiće, nakon čega su se ti komadići miješali u betonsku mješavinu. Dodatak recikliranih ugljičnih vlakana betonu povećava uzorku plošnog nosača čvrstoću i otpornost na pucanje i prema pregledu literature ugljična vlakna imaju dobru sposobnost na zaštitu od EM zračenja. Reciklirana ugljična mikrovlakna prikazana su na slici 3.2.

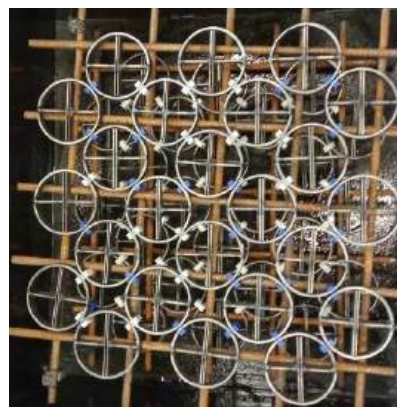
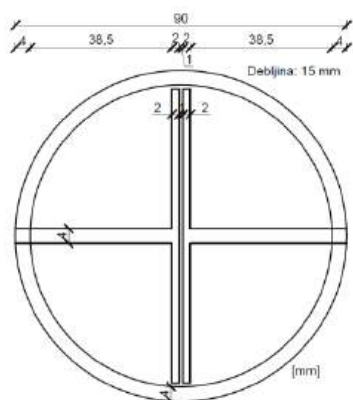


Slika 3.1: Čelična vlakna

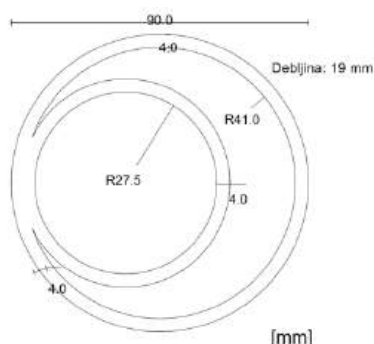


Slika 3.2: Ugljična vlakna

Čelični mikrovalni rezonatori i njihov raspored ugradnje u čelične kalupe dimenzija 60x60x30 cm prikazani na slikama 3.3 i 3.4. Detaljniji opis mikrovalnih rezonatora, načina ugradnje i njihovog rasporeda u uzorcima plošnih nosača prikazan je u sljedećoj podtočki.



Slika 3.3: Oblik i raspored križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora



Slika 3.4: Oblik i raspored prstenastih čeličnih mikrovalnih rezonatora

Projektirani sastavi mješavina betona miješani su pomoću laboratorijske miješalice kapaciteta 60 litara (za jednu seriju uzoraka plošnih nosača i kocaka za određivanje svojstava betona u očvrslom stanju bilo je potrebno više od jednog ciklusa miješanja). Korišten je zasićen površinski suh agregat za pripremu betonskih mješavina. Nakon agregata dodan je cement i čelična ili ugljična vlakna u slučaju pojačanih betonskih mješavina, te su se zajedno s vodom dodavali superplastifikator i stabilizator prema proračunatom sastavu. Nakon što je postupak miješanja završio, beton je ispitan u svježem stanju prema normi HRN EN 206 2016 [41], te je potom ugrađivan u čelične kalupe dimenzija 60x60x30 cm (prikazano na slici 3.5). Nakon što se uzorak plošnog nosača izbetonirao (vidjeti sliku 3.7), ostavljen je jedan dan u kalupu, zatim se vadi iz kalupa i njeguje do dana ispitivanja svojstava u očvrslom stanju (vidjeti sliku 3.6). Njega betona vršila se svakodnevnim zalijevanjem uzorka plošnog nosača u trajanju od 7 dana. Nakon završetka postupka miješanja beton je također ulijevan u kalupe oblika kocke izmjera 15x15x15 cm bez vibriranja i zbijanja za potrebe ispitivanja betona

u očvrslom stanju prema normi HRN EN 206 2016 [41] (vidjeti sliku 3.8). Također nakon što je prošao jedan dan uslijedilo je raskalupljivanje uzoraka (vidjeti sliku 3.9). Navedeni uzorci oblika kocke njegovani su u vodi do starosti od 28 dana, nakon čega su korišteni za ispitivanje svojstva betona u očvrslom stanju (tlačna čvrstoća).

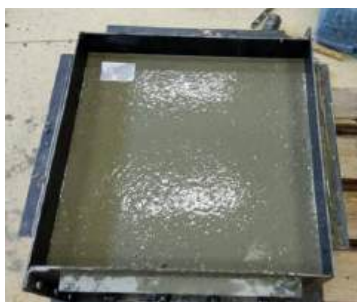
Primjer postavljanja i betoniranja uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazan je na slikama 3.10 i 3.11. Za izradu uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima korišten sastav betona označen je s RC-0, koji je po sastavu jednak kao NC-0, a razlika je ta što su uzorci dvostruko armirani.



Slika 3.5: Čelični kalup za plošni nosač



Slika 3.6: Uzorak plošnog nosača



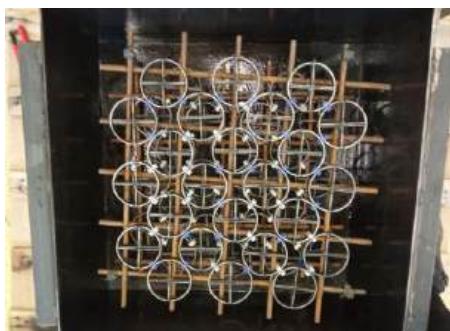
Slika 3.7: Svježi beton u kalupu izmjera 60x60x30 cm



Slika 3.8: Svježi beton u kalupu izmjera 15x15x15 cm



Slika 3.9: Uzorak betonske kocke



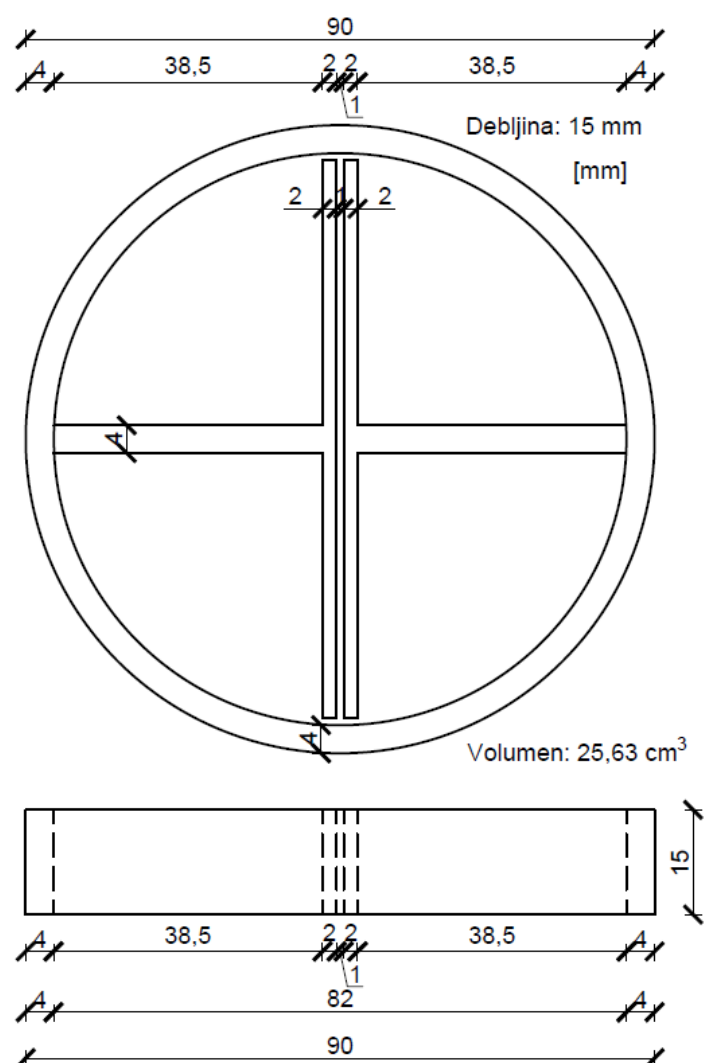
Slika 3.10: Primjer postavljanja križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora



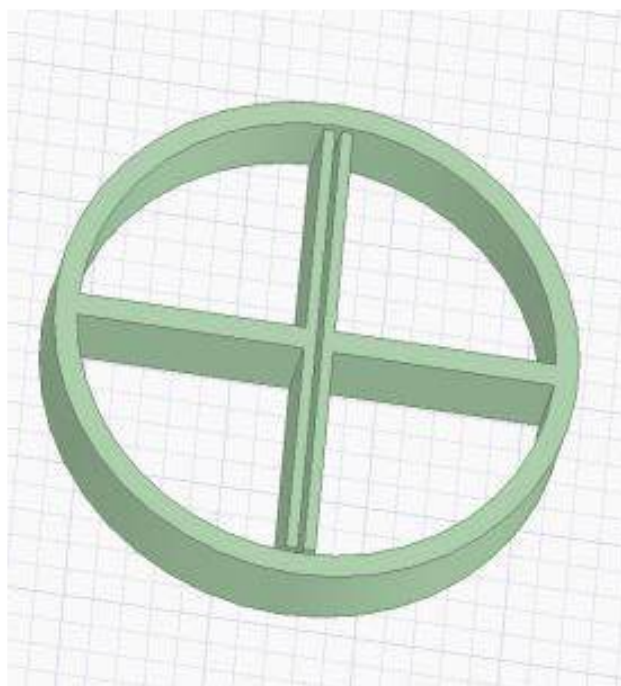
Slika 3.11: Primjer postavljanja prstenastih čeličnih mikrovalnih rezonatora

3.1.2 Uzorci plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Izrađeni su uzorci plošnih nosača izmjera 60x60 cm debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom Q785 (mreža koja se sastoji od šipaka profila 10 mm na razmaku 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) i s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima klase S235. Čelični mikrovalni rezonator s izmjerama prikazan je na slici 3.12, dok je 3D model čeličnog križnog mikrovalnog rezonatora prikazan je na slici 3.13. Masa jednog mikrovalnog rezonatora je 0,201 kg.



Slika 3.12: Izmjere križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora koji su ugrađeni u ispitani uzorak plošnog nosača



Slika 3.13: Mikrovalni rezonator

Najbolji materijali za ovu namjenu (sa stanovišta EM zračenja) su materijali velike električke vodljivosti poput zlata, srebra, aluminija, bakra i sl. Navedeni sa najvećom vodljivošću nisu prihvatljivi zbog slabih mehaničkih svojstava. Zbog toga što nismo htjeli utjecati (smanjivati) mehaničke parametre betona (vlačna i tlačna čvrstoća, čvrstoća na savijanje...) odabrali smo materijal koji ima nešto manju električku vodljivost, a znatno veću čvrstoću (čelik). Naime, u beton se ugrađuju čelične mreže kao armatura pa je taj materijal bio prihvatljiv po tome, a kao vodljivi materijal može se koristiti za izvedbu mikrovalnih rezonatora. Iz navedenih razloga su izabrani mikrovalni rezonatori od čelika. Materijal je jako bitan kod svih uređaja i sustava koji služe za generiranje (antene) ili oblikovanje spektra (filteri, rezonatori,...) u elektromagnetizmu na visokim frekvencijama. Naime, da bi se mogao realizirati mikrovalni rezonator potrebno je ostvariti elektromagnetsku rezonanciju koja se pojavljuje kod materijala koji posjeduju određene elektromagnetske parametre. Pri tome je kod ovih rezonatora najvažniji parametar električna vodljivost. Materijal, dakle, mora imati veliku vodljivost što upućuje na metal. Ako uz to treba imati i čvrstoću odabir čelika je logičan.

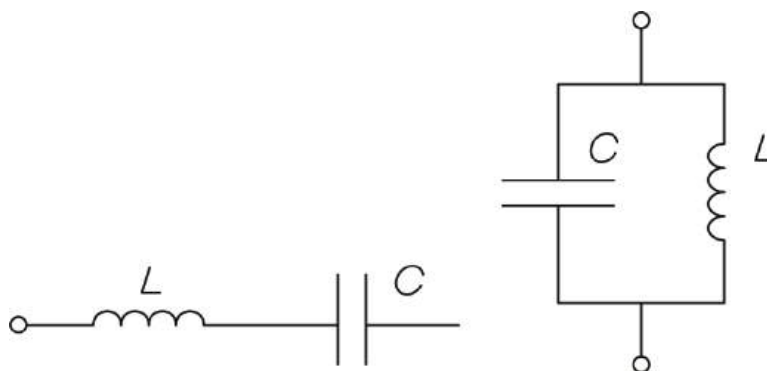
Oblikom rezonatora definira se frekvencijski opseg rada rezonatora. Rezonatori rezoniraju na rezonantnim frekvencijama koje ovise o obliku rezonatora. Tako rezonatori mogu biti oblikovani tako da obuhvaćaju veće ili manje frekvencijske opsege. Osnovni oblik rezonatora odabire se tako da prva rezonantna frekvencija rezonatora (ona koja je najniža po iznosu) bude u frekvencijskom području (na rezonantnoj frekvenciji) koje nastojimo prigušiti. Prigušenje nivoa elektromagnetskog (EM) vala događa se na rezonantnoj frekvenciji iz razloga toga što rezonator pri rezoniranju troši energiju EM vala koji na njega dolazi pa ostatak EM vala koji nastavlja propagaciju nakon rezonatora ima manju energiju – posebno na toj frekvenciji ili tom opsegu. Na višim rezonantnim frekvencijama se događa to isto. Rezonantne frekvencije ovise o ekvivalentnim vrijednostima induktiviteta i kapaciteta rezonatora (L i C). Ovi prstenasti rezonatori mogu biti oblikovani na različite načine: kao vodljivi prstenovi sa prorezom, kao vodljivi prstenovi sa centralnom strukturom kojom se utječe na L i/ili C (L induktivitet i C – kapacitet) parametre rezonatora; kao višestruki vodljivi koncentrični ili ekscentrični prstenovi i slično. Odabir ovih oblika rezultat je simulacijskih izračuna EM ponašanja nekoliko različitih oblika rezonatora u frekvencijskom opsegu ispod 1 GHz. Taj frekvencijski opseg je odabran za osnovnu (prvu) rezonanciju stoga što je najlošiji u usporedbi s ostatkom mikrovalnog spektra sa stanovišta parametra transmisije (S_{21} i S_{12}) EM vala koji se propagira, a on obuhvaća nekoliko važnih radijacijskih sustava koji postoje u našem okruženju (FM radio, TVDB2, 5G mobilna telefonija ispod 1 GHz,...).

Rezonantna frekvencija LC rezonatora se računa prema sljedećem izrazu:

$$f_m = m \cdot f, \quad m=1,2,3,\dots,N \quad (3.1)$$

pri čemu je f_1 prva i osnovna rezonancija a za $m>1$ nastupaju više rezonancije.

Na slici 3.14 prikazan je LC rezonatorska shema koja je najčešće korištena nadomjesna ekvivalentna shema prstenastih rezonatora koje koristimo.



Slika 3.14: LC rezonatorska shema

Pojedinačna frekvencija rezonancije računa se prema sljedećem izrazu:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.2)$$

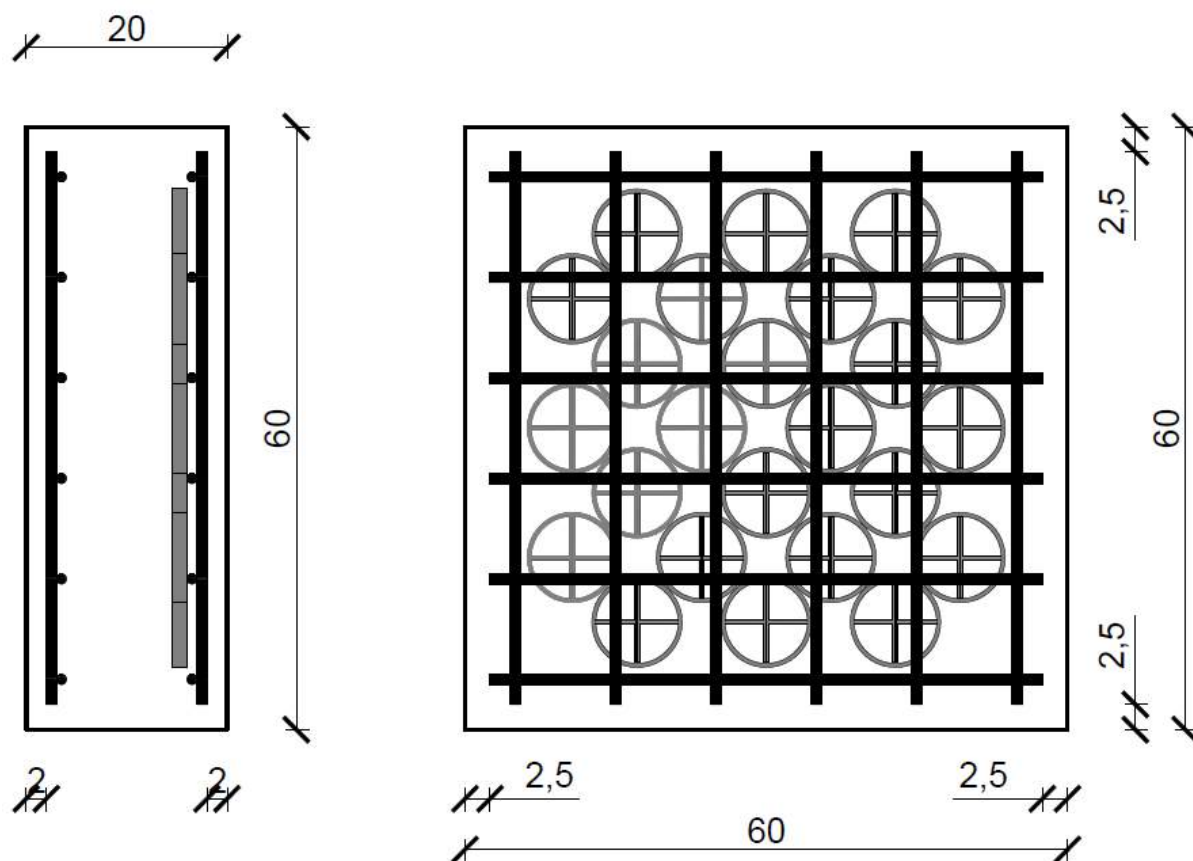
gdje su:

- f - pojedinačna frekvencija rezonancije
- L - induktivitet zavojnice
- C - kapacitet kondenzatora

Primjeri položaja mikrovalnih rezonatora u betonskom uzorku plošnog nosača prikazani su na slikama 3.14, 3.15 i 3.16. Izrađena su tri uzorka:

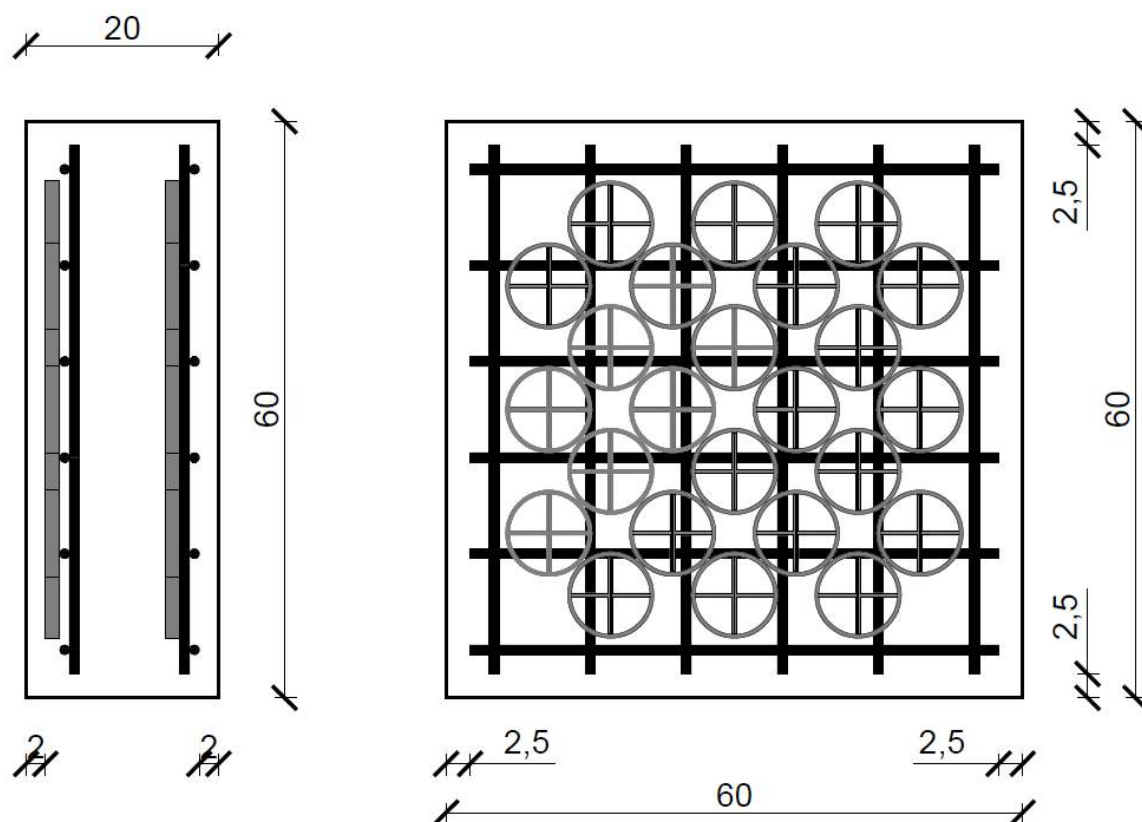
- uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim jednim slojem mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature (1plus 2arm),
- uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim dva sloja mikrovalnih rezonatora (2plus 2arm),
- uzorak plošnog nosača s ugrađenim dva sloja mikrovalnih rezonatora (2plus bez arm).

Na slici 3.15 prikazan je uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim jednim slojem čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature (1plus 2arm). Zaštitni slojevi po duljini i širini su 2,5 cm, dok su zaštitni slojevi po debljini uzorka plošnog nosača 2 cm. Na lijevoj strani slike prikazan je položaj uzorka plošnog nosača tijekom eksperimentalnih ispitivanja, dok je na desnoj strani prikazan raspored armature i križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora. Raspored mrežaste armature identičan je kod uzoraka RC200, RC 250 i RC 300.



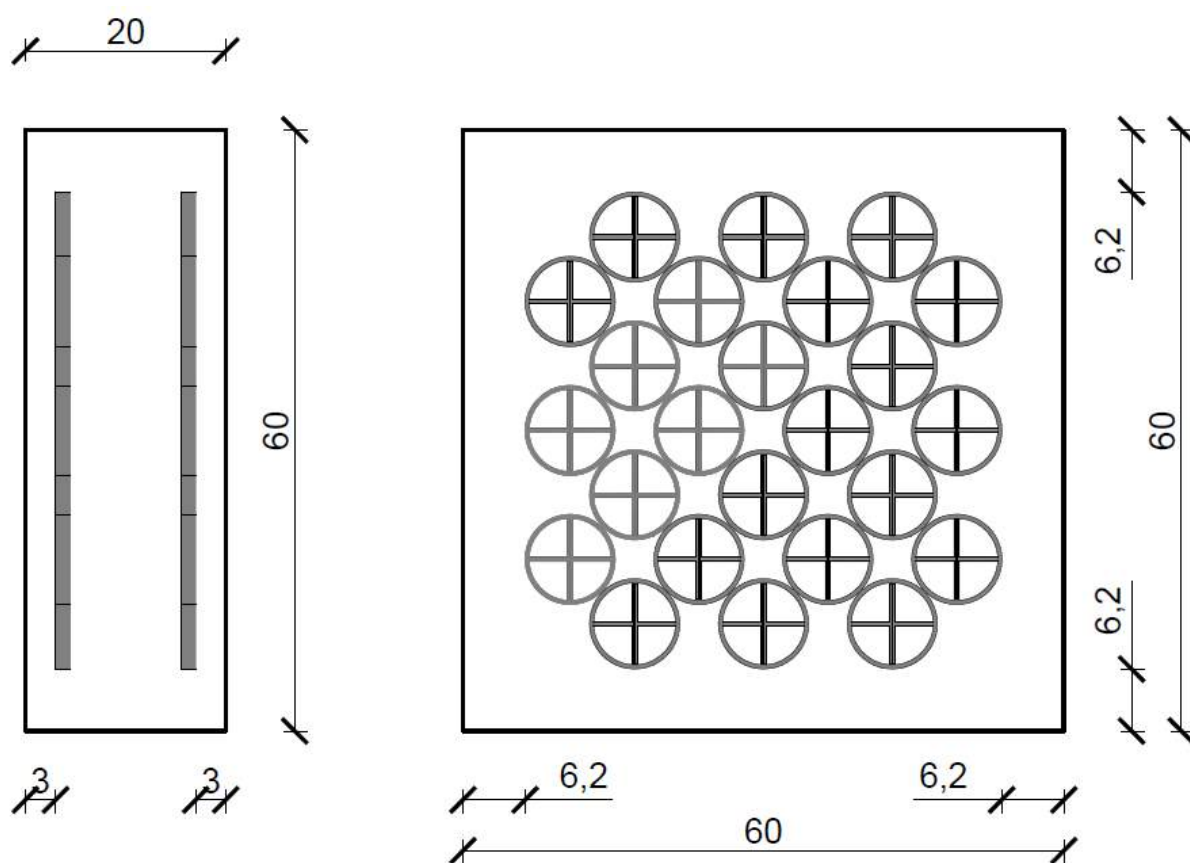
Slika 3.15: Uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja mrežaste armature Q785 i s ugrađenim jednim slojem čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature (1plus 2arm)

Na slici 3.16 prikazan je uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađena dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora (2plus 2arm). Zaštitni slojevi po duljini i širini su 2,5 cm, dok su zaštitni slojevi po debljini uzorka plošnog nosača 2 cm. Na lijevoj strani slike prikazan je položaj uzorka plošnog nosača tijekom eksperimentalnih ispitivanja, dok je na desnoj strani prikazan raspored armature i križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora.



Slika 3.16: Uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja mrežaste armature Q785 i s ugrađena dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora (2plus 2arm)

Na slici 3.17 prikazan je uzorak plošnog nosača s ugrađena dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora (2plus bez arm). Zaštitni slojevi po duljini i širini su 2,5 cm, dok su zaštitni slojevi po debljini uzorka plošnog nosača 3 cm. Po duljini i širini mikrovalni rezonatori se nisu slagali do zaštitnih slojeva iz razloga jer bi bilo nemoguće napraviti simetričnu mrežu mikrovalnih rezonatora. Na lijevoj strani slike prikazan je položaj uzorka plošnog nosača tijekom eksperimentalnih ispitivanja, dok je na desnoj strani prikazan raspored križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora.



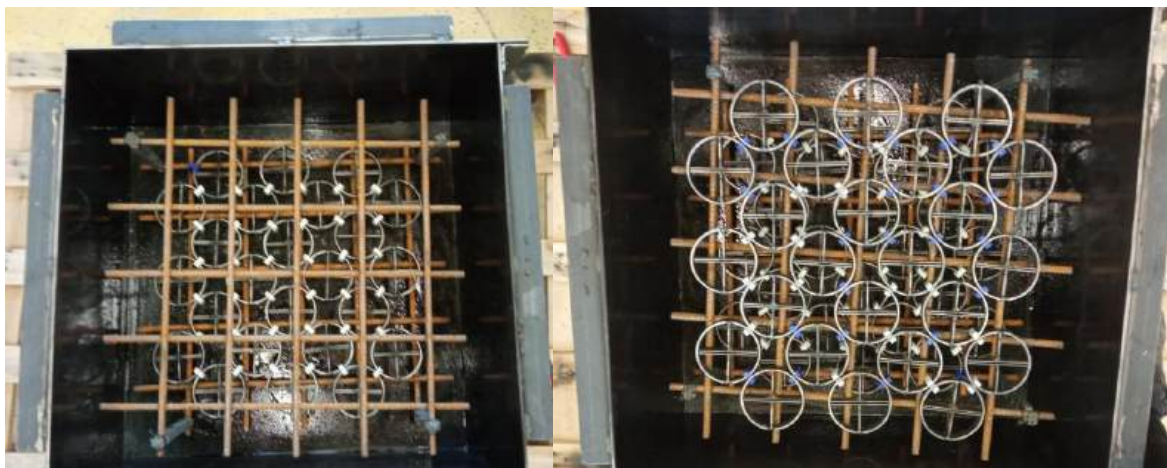
Slika 3.17: Uzorak plošnog nosača s ugrađena dva sloja čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora (2plus bez arm)

Na slikama 3.18 i 3.19 prikazana je metodologija izrade uzoraka plošnih nosača u koje su ugrađeni čelični križni mikrovalni rezonatori. Mikrovalni rezonatori su naslonjeni na mrežastu armaturu Q785 koja je postavljana u dvije zone. Zone mrežaste armature Q785 spojene su pomoću plastične spajalice kao na slici 3.18 tako da zaštitni sloj uzoraka plošnog nosača bude oko 2 cm.



Slika 3.18: Metodologija izrade uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Nakon što su se mrežasta armatura i mikrovalni rezonatori postavili kao na slici 3.18, tako postavljeni mrežna armatura i mikrovalni rezonatori prebacili su se u kalupe dimenzija 60x60 cm i visine 30 cm kao što je prikazano na slici 3.19. Lijeva strana slike 3.19 pokazuje primjer postavljanja uzorka plošnog nosača pojačanog s dva sloja armature i dva sloja mikrovalnih rezonatora, a desna strana pokazuje primjer postavljanja uzorka plošnog nosača pojačanog s dva sloja armature i jednim slojem mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature. Nakon toga su se uzorci betonirali mješavinom betona RC-0 koja je po sastavu mješavine jednaka kao mješavina NC-0 i ima tlačnu čvrstoću 26,15N/mm².



Slika 3.19: Primjer postavljanja mrežaste armature Q785 i mikrovalnih rezonatora u čelične kalupe (lijevo: uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim jednim slojem mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature; desno: uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenom dva sloja mikrovalnih rezonatora)

3.1.3 Metode ispitivanja

U preliminarnim ispitivanjima ispitana su svojstva čistog betona, betona pojačanog čeličnim vlaknima i betona pojačanog ugljičnim vlaknima u svježem i očvrslom stanju.

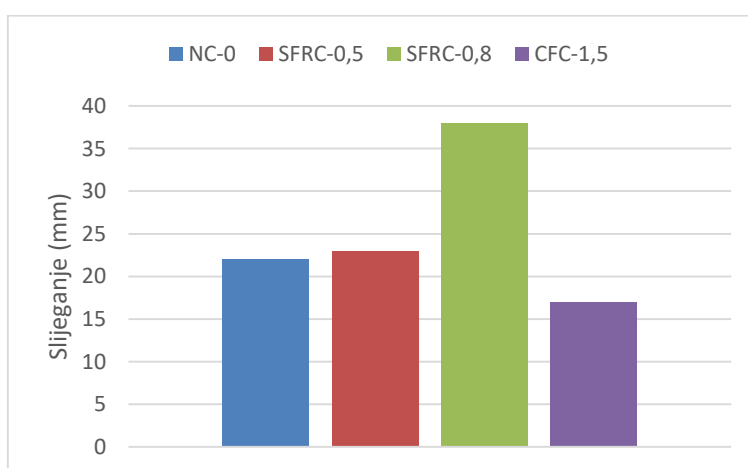
U svježem stanju ispitani su konzistencija i poroznost navedenih betona sukladno važećoj normi HRN EN 12350-2:2016 [42]. U tablici 3.6 prikazani su poroznost i slijeganje pojedinih mješavina betona. Vidi se kako nepojačana mješavina betona ima najmanji postotak poroznosti, dok mješavina betona koja od ukupne mase sadrži 0,5 % čeličnih vlakana ima najveći postotak poroznosti. Do povećanja poroznosti dolazi iz razloga što se dodatkom vlakana u betonske mješavine zahvaća veća količina zraka tijekom miješanja betona, koja ostaje u betonu zarobljena u obliku zatvorenih pora. Unatoč razlici u izmjeranim visinama slijeganja možemo zaključiti da sve mješavine spadaju u razred slijeganja S1, što je i bio cilj tijekom projektiranja sastava betonskih mješavina. Na slikama 3.20 i 3.21 grafički su prikazani poroznost i slijeganje mješavina betona u svježem stanju.

Tablica 3.6: Rezultati ispitivanja poroznosti i slijeganja pojedinih mješavina betona

Svojstva svježeg betona		Poroznost	Slijeganje	
Broj	Mješavina	%	h (mm)	Razred
1	NC-0	2	22	S1
2	SFRC-0.5	3	23	S1
3	SFRC-0.8	2,2	38	S1
4	CFC-1.5	2,7	17	S1



Slika 3.20: Grafički prikaz poroznosti mješavina betona



Slika 3.21: Grafički prikaz slijeganja mješavina betona

U očvrslom stanju ispitana je tlačna čvrstoća betona sukladno važećoj normi HRN EN 12504-1:2019/AC:2020 [43]. U tablicama od 3.7 do 3.10 prikazani su rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavina betona. Ispitivana su po tri uzorka oblika kocke dimenzija 150x150x150 mm za svaku mješavinu betona i izračunata je srednja vrijednost tlačne čvrstoće za svaku mješavinu. Nepojačana mješavina betona ima srednju tlačnu čvrstoću 26,15 MPa, mješavina pojačana s 0,5 % čeličnih vlakana ima srednju tlačnu čvrstoću 43,44 MPa, mješavina pojačana s 0,8 % čeličnih vlakana ima srednju tlačnu čvrstoću 32,42 MPa, dok mješavina pojačana ugljičnim vlaknima srednju tlačnu čvrstoću 30,79 MPa.

Tablica 3.7: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće nepojačane mješavine betona

oznaka	masa (kg)	V (dm ³)	gustoća (kg/m ³)	F (kN)	čvrstoća nakon 28 dana (MPa)	prosječna čvrstoća nakon 28 dana (MPa)
NC-0-1	8,425	3,38	2,5	601,5	26,73	26,15
NC-0-2	8,35	3,38	2,47	600,2	26,68	
NC-0-3	8,375	3,38	2,48	563,6	25,05	

Tablica 3.8: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavine betona koja sadrži 0,5 % čeličnih vlakana od ukupne mase

oznaka	masa (kg)	V (dm ³)	gustoća (kg/dm ³)	F (kN)	čvrstoća nakon 28 dana (MPa)	prosječna čvrstoća nakon 28 dana (MPa)
SFRC-0,5-1	8,42	3,33	2,53	983,70	43,72	43,44
SFRC-0,5-2	8,55	3,40	2,52	1002,00	44,53	
SFRC-0,5-3	8,56	3,38	2,54	946,50	42,07	

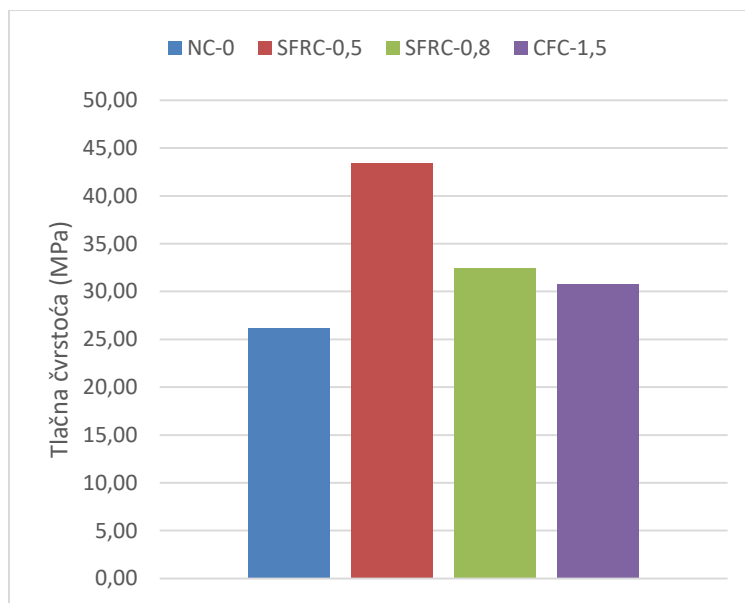
Tablica 3.9: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavine betona koja sadrži 0,8 % čeličnih vlakana od ukupne mase

oznaka	masa (kg)	V (dm ³)	gustoća (kg/m ³)	F (kN)	čvrstoća nakon 28 dana (MPa)	prosječna čvrstoća nakon 28 dana (MPa)
SFRC-0,8-1	8,33	3,38	2,47	754,8	33,55	32,42
SFRC-0,8-2	8,42	3,38	2,49	709,8	31,55	
SFRC-0,8-3	8,39	3,38	2,49	723,5	32,16	

Tablica 3.10: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće mješavine betona koja sadrži 1,5 % ugljičnih vlakana

oznaka	masa (kg)	V (dm ³)	gustoća (kg/m ³)	F (kN)	čvrstoća nakon 28 dana (MPa)	prosječna čvrstoća nakon 28 dana (MPa)
CFC-1,5-1	8,32	3,33	2,5	712,3	31,66	30,79
CFC-1,5-2	8,29	3,40	2,44	698,5	31,04	
CFC-1,5-3	8,35	3,38	2,47	667,8	29,68	

Na slici 3.22 prikazana je usporedba rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće uzoraka. Uzorci pojačani s 0,5 % čeličnih vlakana imaju najveću tlačnu čvrstoću, dok nepojačani uzorci imaju najmanju tlačnu čvrstoću. Razlog je što vlakna, posebno čelična, sprječavaju širenje mikropukotina i pridonose dodatnoj čvrstoći betona. Kad se količina čeličnih vlakana poveća, dolazi do smanjenja homogenosti mješavine betona i samim time opadanja tlačne čvrstoće. Zbog toga količina čeličnih vlakana 0,5 % od ukupne mase uzorka plošnog nosača daje najveću tlačnu čvrstoću. U tom slučaju beton dobiva dodatnu čvrstoću, a ne smanjuje se homogenost mješavine betona.



Slika 3.22: Usporedba rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće uzoraka mješavina betona

3.2 Ispitivanja na učinkovitost zaštite od EM zračenja

Uzorci plošnih nosača ispituju se kako bi se saznalo kolika je učinkovitost zaštite EM zračenja svakog od njih, utječe li debljina uzoraka na zaštitu od EM zračenja i kako bi se saznalo koji materijal ugrađen u uzorak plošnog nosača donosi bolju učinkovitost zaštite od EM zračenja. Ispitani uzorci plošnih nosača grupirani su u 5 skupina i prikazani na tablici 3.11. S obzirom da je na temelju pregleda literature dokazano kako tlačna čvrstoća betona ili cementnog morta ne utječe na učinkovitost zaštite od EM zračenja, u ovim ispitivanjima taj dio nije razmatran. Najjasnije je to prikazano u ispitivanjima Velciua [9] i suradnika u 2. poglavlju, gdje uzorak koji ima najveću tlačnu čvrstoću pruža srednju zaštitu od EM zračenja u odnosu na ostale uzorke, dok uzorak koji nakon referentnog ima najmanju tlačnu čvrstoću pruža najbolja svojstva zaštite od EM zračenja.

Tablica 3.11: Ispitani uzorci plošnog nosača

Skupina	Opis uzoraka plošnih nosača
Skupina 1	Tri nearmirana uzorka plošnog nosača oznake NC100 (10 cm debljine), NC200 (20 cm debljine) i NC300 (30 cm debljine). Sastav mješavine betona s kojim su izrađeni ovi uzorci plošnog nosača je NC-0 koji ima tlačnu čvrstoću 26,15 N/mm ² .
Skupina 2	Tri uzorka plošnog nosača koji su pojačani dvostrukom mrežastom armaturom Q785 (mreža koja se sastoji od šipaka profila 10 mm na razmaku 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) oznake RC200 (20 cm debljine), RC250 (25 cm debljine) i RC300 (30 cm debljine). Armatura Q785 u obje zone izabrana je iz razloga jer je to uobičajena količina armature za armiranobetonske zidove i uobičajeni razmak između šipki zidova je 10 cm. Sastav mješavine betona s kojim su izrađeni ovi uzorci plošnog nosača je NC-0 koji ima tlačnu čvrstoću 26,15 N/mm ² .
Skupina 3	Tri uzorka plošnog nosača koji su pojačani s čeličnim vlaknima oznake SFC200 (20 cm debljine), SFC250 (25 cm debljine) i SFC300 (30 cm debljine). Čelični umetci sadrže 0,8 % ukupnog volumena plošnog nosača, a sastav mješavine betona s kojim su izrađeni ovi uzorci plošnog nosača je SFRC-0,8 koji ima tlačnu čvrstoću 32,42 N/mm ² .
Skupina 4	Tri uzorka plošnog nosača koji su pojačani s ugljičnim vlaknima oznake CFC200 (20 cm debljine), CFC250 (25 cm debljine) i CFC300 (30 cm debljine). Čelični umetci sadrže 1,5 % ukupnog volumena plošnog nosača, a sastav mješavine betona s kojim su izrađeni ovi uzorci plošnog nosača je CFC-1,5 koji ima tlačnu čvrstoću 30,79 N/mm ² .
Skupina 5	Kod ove skupine svi su uzorci plošnog nosača debljine 20 cm, ali su različito armirani istom armaturom (Q785) kao i položenim mikrovalnim rezonatorima izrađenih od bešalne čelične cijevi kvalitete čelika S235 u jednom odnosno dva sloja. Izrađeni su sljedeći uzorci plošnih nosača: pojačan s križnim mikrovalnim rezonatorima u obje zone, pojačan s prstenastim mikrovalnim rezonatorima u obje zone, pojačan s križnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom Q785 u obje zone (RC+); pojačan s prstenastim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom Q785 u obje zone, pojačan s križnim mikrovalnim rezonatorima u jednoj zoni i mrežastom armaturom Q785 u obje zone, i

	pojačan s prstenastim mikrovalnim rezonatorima u jednoj zoni i mrežastom armaturom Q785 u obje zone (RCO). U slučaju uzorka plošnog nosača pojačanog s križnim mikrovalnim rezonatorima u jednoj zoni volumen koji zauzimaju mikrovalni rezonatori u usporedbi s volumenom uzorka plošnog nosača iznosi 0,85 %, dok u slučaju uzorka plošnog nosača pojačanog s križnim mikrovalnim rezonatorima u obje zone volumen koji zauzimaju mikrovalni rezonatori u usporedbi s volumenom uzorka plošnog nosača iznosi 1,7 %. U slučaju uzorka plošnog nosača pojačanog s prstenastim mikrovalnim rezonatorima u jednoj zoni volumen koji zauzimaju mikrovalni rezonatori u usporedbi s volumenom uzorka plošnog nosača iznosi 1,5 %, dok u slučaju uzorka plošnog nosača pojačanog s prstenastim mikrovalnim rezonatorima u obje zone volumen koji zauzimaju mikrovalni rezonatori u usporedbi s volumenom uzorka plošnog nosača iznosi 3 %. Sastav mješavine betona s kojim su izrađeni ovi uzorci plošnog nosača je RC-0 koji je jednak sastavu mješavine NC-0 i ima tlačnu čvrstoću $26,15\text{N/mm}^2$.

Na početku su se izvela probna ispitivanja. Nosač za ova ispitivanja može se vidjeti na slici 3.23. Probna su ispitivanja izvedena kako bi se vidjeli i kasnije analizirali rezultati koji će služiti za provedbu daljnjih ispitivanja i donošenja zaključaka. Također probna ispitivanja su služila za testiranje opreme, testiranje same postave eksperimenta, određivanje okolnih smetnji i slično. Probna ispitivanja su se provela na svim navedenim uzorcima plošnih nosača, osim na uzorcima s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima (uzorci plošnih nosača skupine 5). Ispitivanje je provedeno uz pomoć mrežnog analizatora KEYSRIGHT FieldFox rf Analyzer N9914A (vidjeti sliku 3.24) koji mjeri koeficijente sprege do 6,5 GHz (mjeri koeficijent refleksije i koeficijent apsorpcije pri frekvencijama do 6,5 GHz).



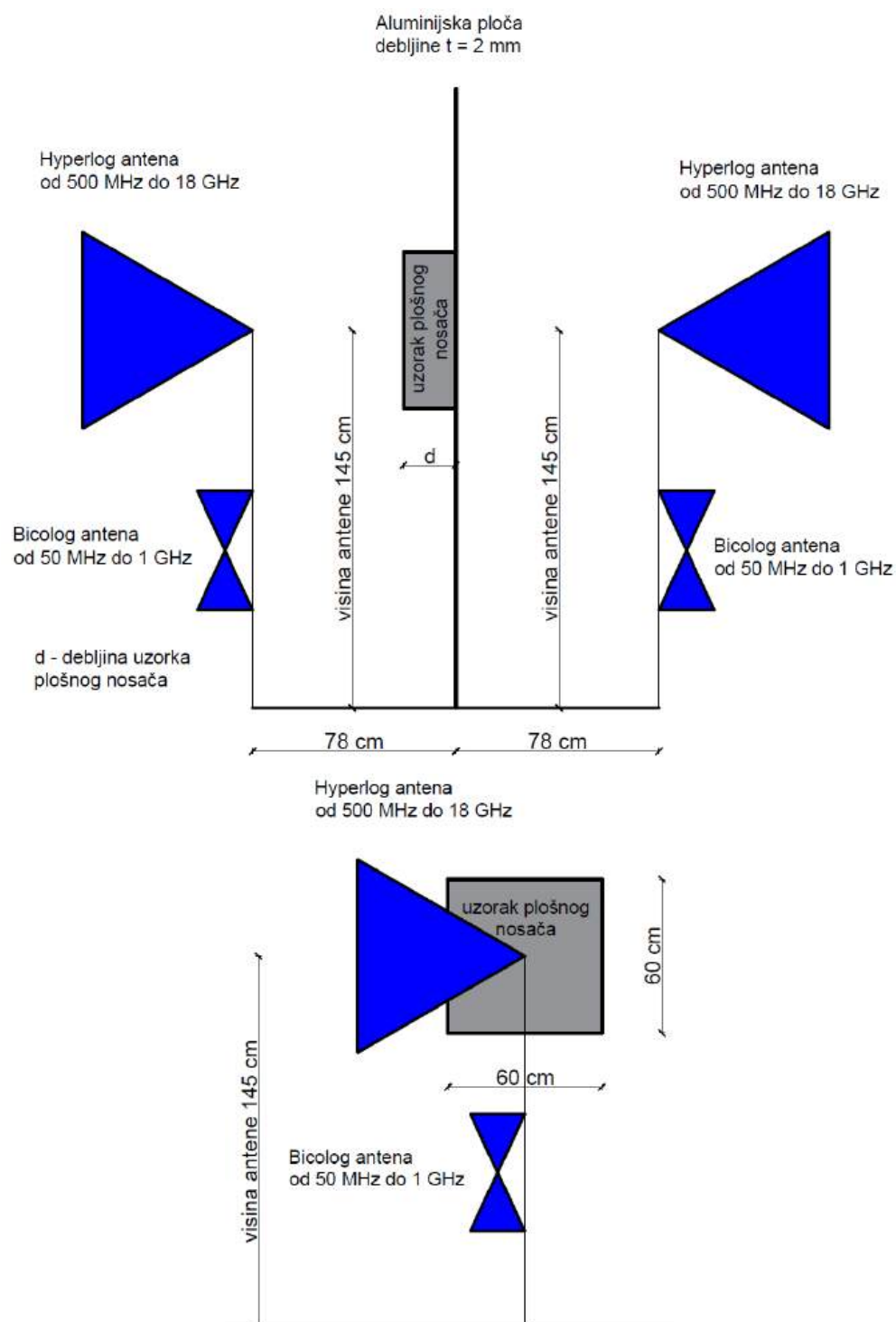
Slika 3.23: Probna ispitivanja uzoraka plošnih nosača



Slika 3.24: Mrežni analizator KEYSRIGHT FieldFox rf Analyzer N9914A

Nakon što su se utvrdili rezultati probnih ispitivanja započela su glavna ispitivanja. Za razliku od probnih ispitivanja, na glavnim ispitivanjima mjerilo se suvremenijom tehnologijom koja prikazuje točnije rezultate. Mjereni su refleksija i transmisija EM zračenja svakog od navedenih uzoraka. Rezultati transmisije su mjerodavni za učinkovitost zaštite od EM zračenja, iz razloga jer transmisija mjeri koliko je EM zračenja uspjelo proći kroz uzorak i doći na drugu stranu uzorka. Što je manje EM zračenja prošlo na drugu stranu uzorka transmisija je manja, što znači kako uzorak ima bolju učinkovitost zaštite od EM zračenja. Antena se nalazila na visini 145 cm od poda, a udaljenost od antene do aluminijske ploče je 78 cm s obje strane. Ovo su standardne postavke ovakvih ispitivanja, a preporuka za ovakve postavke dana je u literaturi [44].

Debljina aluminijske ploče, uz koju je postavljen uzorak, je 2 mm. Na slici 3.25 shematski je prikazano ispitivanje s položajem ispitanih uzoraka i mjernih antena.

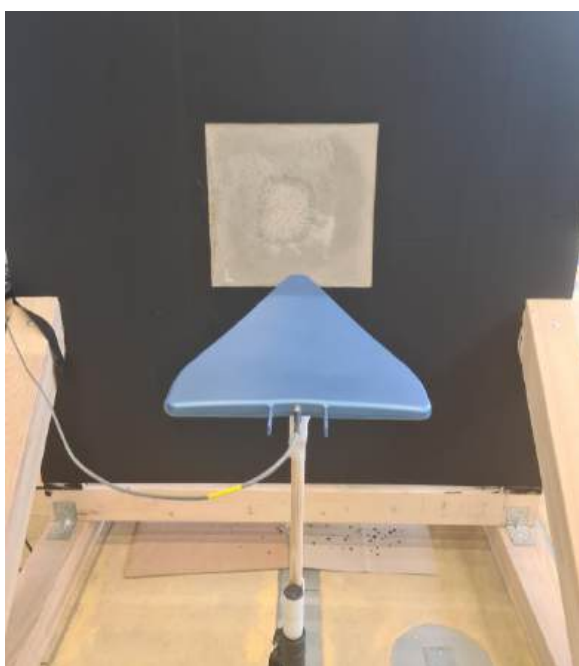


Slika 3.25: Shema eksperimentalnog ispitivanja uzoraka plošnih nosača na učinkovitost zaštite od prodora EM zračenja (bočni i uzdužni pogled)

Učinkovitost zaštite od EM zračenja mjerila su se uređajem za mjerenje EM zračenja Anritsu MS2038C (vidjeti sliku 3.26) te antenom Hyperlog koja radi u frekvencijskom opsegu od 500 MHz do 18 GHz (vidjeti sliku 3.27). Također, koristila se Bicolog antena koja radi u frekvencijskom opsegu od 50 MHz do 1 GHz (vidjeti sliku 3.28). Anritsu MS2038C je mrežni analizator koji je sposoban je mjeriti zračenja u frekvencijskom periodu od 5 kHz do 20 GHz. Mjerenje je postavljeno na način na način da se obje antene priključe na mrežni analizator tipa Anritsu MS2038C koji mjeri koeficijent refleksije S_{11} i koeficijent transmisije S_{21} EM zračenja za ispitani uzorak.



Slika 3.26: Mrežni analizator tipa Anritsu MS2038C



Slika 3.27: Hyperlog antena (frekvencijski opseg rada od 500 MHz do 18 GHz)



Slika 3.28: Bicollog antena (frekvencijski opseg rada od 50 MHz do 1 GHz)

Ispitali su se uzorci betonskih plošnih nosača dimenzija 60x60 cm u debljinama 10, 20, 25 i 30 cm koji nisu pojačani, zatim koji su pojačani s čeličnom mikro-armaturom, recikliranim ugljičnim vlaknima, dvostruko armirani s mrežastom armaturom Q785 te dvije vrste uzoraka s ugrađenim različitim oblicima čeličnih mikrovalnih rezonatora. Uzorci betonskih plošnih nosača postavljali su se na drveni nosač (vidjeti sliku 3.29), a prostor oko uzorka zaštićen je aluminijskom pločom premazanom trostrukim zaštitnom premazom YSHIELD HFS54. Premazivanje je provedeno kako bi se smanjila refleksija EM vala od aluminijskog zastora (aluminijske ploče) koji se koristi kao osiguranje da EM val prolazi u većem dijelu samo kroz ispitani uzorak. Jedna antena postavljena je s jedne strane uzorka i služila je kao emiter, a druga antena postavljena je s druge strane uzorka kao transmitter EM zračenja. Iz mjerne antene poslao se signal prema uzorku. Količina EM zračenja očitana s prve antene je količina reflektiranog zračenja, tj. količina zračenja koja se reflektirala od plošnog nosača i vratila do antene (koeficijent refleksije S_{11} i S_{22}). Količina zračenja očitana s druge antene (mjernog prijamnika) je ona količina koja je prošla kroz uzorak plošnog nosača i došla do druge antene (koeficijent transmisije S_{21} i S_{12}). Ostatak od ukupnog EM zračenja predstavlja upijanje uzorka plošnog nosača i naziva se upijajuće zračenje.



Slika 3.29: Drveni nosač s aluminijskom pločom premazanom zaštitnom bojom

Ukupna učinkovitost zaštite može se odrediti na više načina. Jedan od načina je utvrditi razinu koeficijenata transmisije (S_{ij} ; $i \neq j$, iz antene "j" je pušteno zračenje, a antena "i" nalazi se s druge strane plošnog nosača i mjeri koliko je zračenja prošlo na drugu stranu). Učinkovitija zaštita je u slučaju kad koeficijenti transmisije imaju nižu razinu, što znači kako je manje zračenja prošlo kroz uzorak plošnog nosača i prešlo na drugu stranu. Drugi je način utvrditi koliki je ukupno dio EM energije koji se reflektira i apsorbira. Učinkovitiji je materijal s većim reflektiranim i apsorbiranim. Ipak, najtočnija metoda je ona kod koje se određuje djelotvornost zaštite SE. Ovaj parametar se određuje razlikom S_{12} (ili S_{21}) parametra bez i sa zaštitom u cijelom mjerenom frekvencijskom opsegu. Drugi način je određivanje razlike jakosti električnog polja bez i sa zaštitom. U ovom radu određena je učinkovitost zaštite na prvi način, utvrđivanjem koeficijenata transmisije. Na temelju ispitivanja na uzorcima određeno je koji je od naznačenih načina zaštite najpovoljniji i nakon toga su uslijedila ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata, odnosno armiranobetonskih plošnih nosača.

U ovom radu računao se eksperimentalno koeficijent refleksije S_{11} i koeficijent transmisije S_{21} . S obzirom da je koeficijent refleksije S_{11} manje važan u odnosu na koeficijent transmisije S_{21} , u tabličnom prikazu rezultata za koeficijent refleksije S_{11} prikazana je po jedna karakteristična vrijednost za svaku antenu, dok kod tabličnog

prikaza koeficijenta transmisije S_{21} prikazane su najmanje i najveće vrijednosti koeficijenta transmisije uzoraka plošnih nosača za svaki frekvencijski spektar koji spada u frekvencijski opseg rada pojedine antene. Koeficijent refleksije računa se prema sljedećem izrazu:

$$S_{11}=20\cdot\log\frac{E_r}{E_1} \text{ (dB)} \quad (3.3)$$

S_{11} je koeficijent refleksije. EM zračenje je pušteno iz antene 1 (E_1), i ta ista antena iščitava koliko se EM zračenja reflektiralo od uzorak plošnog nosača i vratilo (E_r).

Koeficijent transmisije računao se prema sljedećem izrazu:

$$S_{21}=20\cdot\log\frac{E_2}{E_1} \text{ (dB)} \quad (3.4)$$

S_{21} je koeficijent transmisije. EM zračenje je pušteno iz antene 1 (E_1), dok antena 2 se nalazi s druge strane plošnog nosača i mjeri koliko je zračenja prošlo na drugu stranu (E_2). Za ova ispitivanja koeficijent transmisije S_{21} je najvažniji podatak iz razloga jer pokazuje koliko je EM zračenja prošlo kroz uzorak plošnog nosača u odnosu na ukupnu puštenu količinu EM zračenja, što znači da je to mjerilo za učinkovitost zaštite uzoraka plošnog nosača od prodora EM zračenja.

Na slici 3.30 prikazan je uzorak plošnog nosača na drvenom okviru za ispitivanje,



Slika 3.30: Uzorak plošnog nosača na drvenom okviru za ispitivanje

Na slici 3.31 prikazane su cjelokupne postavke antena, ispitivanog uzorka plošnog nosača, mrežnog analizatora, aluminijske ploče i drvenog okvira na kojemu stoji uzorak plošnog nosača.

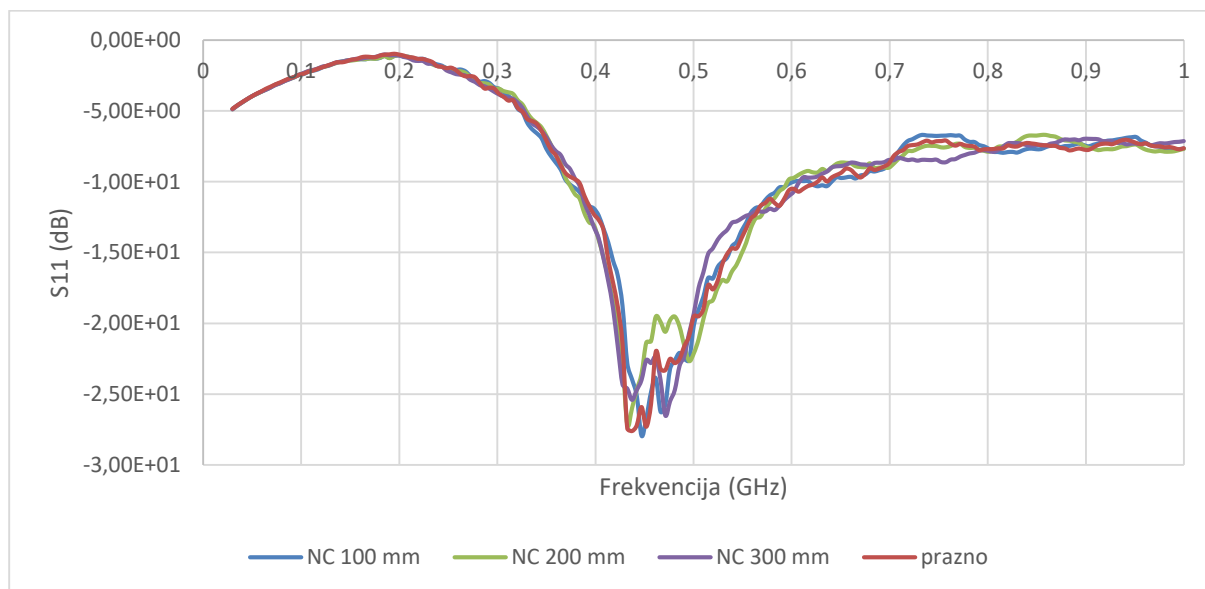


Slika 3.31: Ispitivanje uzorka plošnog nosača na prodor EM zračenja

3.2.1 Nearmirani uzorci plošnih nosača

Ispitani su nearmirani uzorci plošnih nosača debljina 10 (NC 100), 20 (NC 200) i 30 (NC 300) cm. U nastavku teksta objašnjeni su i slikovito prikazani rezultati ispitivanja refleksije i transmisije EM zračenja s jedne i druge strane uzorka plošnog nosača mjereni pomoću dvije antene.

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicolog antenom (frekvencijski opseg od 30 MHz do 1 GHz) kod nearmiranih uzoraka plošnih nosača kao i usporedba koeficijenata refleksije S_{11} EM zračenja nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.32. Sa slike 3.32 se vidi da je refleksija za različite debljine nearmiranog uzorka plošnog nosača vrlo slična za veliku većinu frekvencija, iz čega se može zaključiti kako debljina uzorka plošnog nosača nema utjecaja na refleksiju EM zračenja. Također je vidljivo kako je refleksija praznog okvira ravnopravna s refleksijom nearmiranih uzoraka plošnih nosača iz čega se zaključuje kako čisti beton nema utjecaja na poboljšanje refleksije EM zračenja.



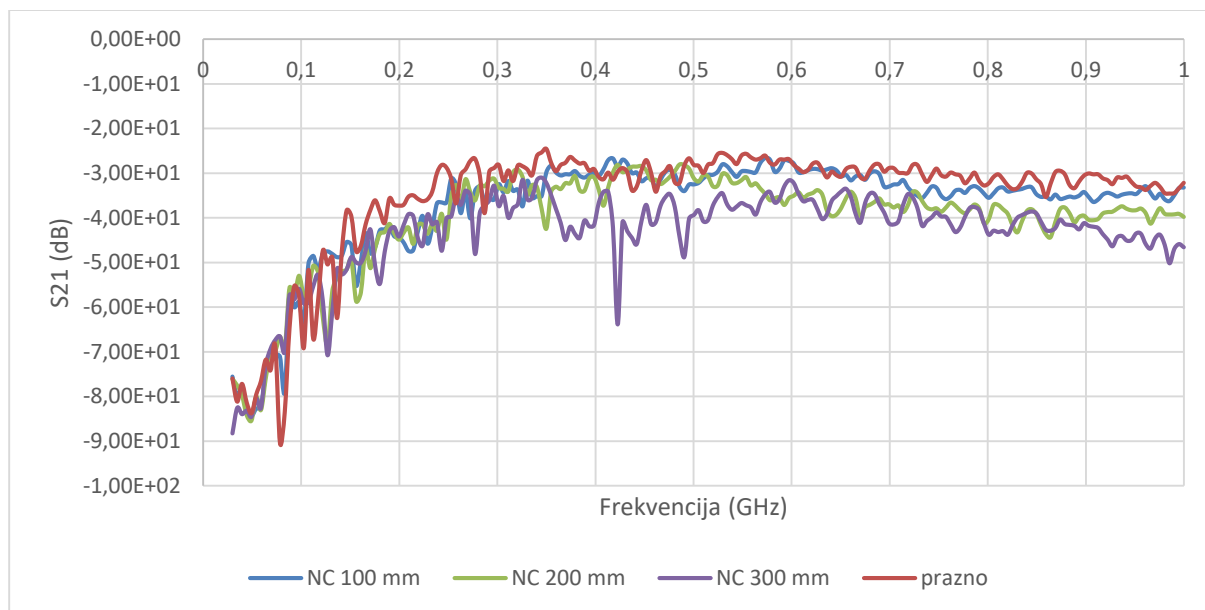
Slika 3.32: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjenjenih Bicolog antenom

Pri frekvenciji od 0,47 GHz nearmirani uzorak plošnog nosača NC 200 pokazuje najvišu refleksiju. Pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača NC 200 iznosi -20,59 dB, koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača NC 100 iznosi -25,74 dB, dok koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača NC 300 iznosi -26,50 dB. U tablici 3.12 prikazani su koeficijenti refleksije nearmiranih uzoraka plošnih nosača pri navedenoj frekvenciji. Iz tablice 3.12 je vidljivo kako nema značajne razlike između koeficijenta refleksije S11 EM zračenja nearmiranih uzoraka plošnih nosača i refleksije praznog okvira što nam daje kao zaključak da čisti beton nema značajnog utjecaja na refleksiju EM vala.

Tablica 3.12: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 nearmiranih uzoraka plošnih nosača pri frekvenciji 0,47 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na NC 200
NC 100	-25,74 dB	NE UTJEČE (najveću refleksiju pokazuje uzorak NC 200)	1,25 x NC 200
NC 200	-20,59 dB		-
NC 300	-26,50 dB		1,29 x NC 200
prazno	-23,3 dB		1,13 x NC 200

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kod nearmiranih uzoraka plošnih nosača mjerene Bicollog antenom kao i usporedba koeficijenata transmisije S21 EM zračenja nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.33. Za različite debljine nearmiranog uzorka plošnog nosača transmisija je slična za većinu frekvencija. Vidljive razlike se javljaju od frekvencije oko 0,34 GHz. Sa slike 3.33 može se vidjeti da se s povećanjem frekvencije dobiva osjetnija razlika između uzorka plošnog nosača NC 200 i uzorka plošnog nosača NC 100. Uglavnom se vidi kako debljina uzorka plošnog nosača djelomično utječe na zaštitu od prodora EM zračenja, ali ipak te razlike u ovom frekvencijskom području nisu jako izražene. Sa slike 3.33 se vidi kako čisti beton pruža zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na prazan okvir, posebno pri frekvencijama višim od oko 0,3 GHz.



Slika 3.33: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom transmisije S_{21} praznog okvira mjerenih Bicollog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije (od 30 do 300 MHz) uzorak plošnog nosača debljine 10 cm najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -84,3 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -85,39 dB. Najbolja svojstva transmisije pokazuje nearmirani uzorak plošnog nosača NC 300 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} EM zračenja pri frekvenciji od 0,03 GHz i iznosi -88,3 dB. Najmanji koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,08 GHz i iznosi -90,5 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} nearmirani uzorci plošnih nosača nemaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja iako blago pošto su koeficijenti transmisije S_{21} sva tri uzorka približno jednaki. U tablici 3.13 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S_{21} (najbolja zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.13: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na prazan okvir
NC 100	-84,3 dB	0,05 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak prazan okvir)	prazno/1,07
NC 200	-85,39 dB	0,05 GHz		prazno/1,06
NC 300	-88,3 dB	0,03 GHz		prazno/1,02
prazno	-90,5 dB	0,08 GHz		-

U spektru vrlo visoke frekvencije (od 30 do 300 MHz) uzorak plošnog nosača NC 100 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,25 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -31,18 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo niżej od 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -31,22 dB. Uzorak plošnog nosača NC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji malo niżej od 0,3 GHz i iznosi -32,8 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,28 GHz i iznosi -26,8 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmirani uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača djelomično pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja s obzirom da su koeficijenti transmisije S21 sva tri uzorka gotovo jednaki. U tablici 3.14 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.14: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
NC 100	-31,18 dB	0,25 GHz	DJELOMIČNO UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,05
NC 200	-31,22 dB	0,3 GHz		NC 300/1,05
NC 300	-32,8 dB	0,3 GHz		-
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		NC 300/1,22

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača NC 100 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -37,42 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,86 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -44,31 dB. Najbolja svojstva transmisije pokazuje nearmirani uzorak plošnog nosača NC 300 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pri frekvenciji od 0,42 GHz i iznosi -63,9 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,86 GHz i iznosi -35,4 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmirani uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.15 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.15: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

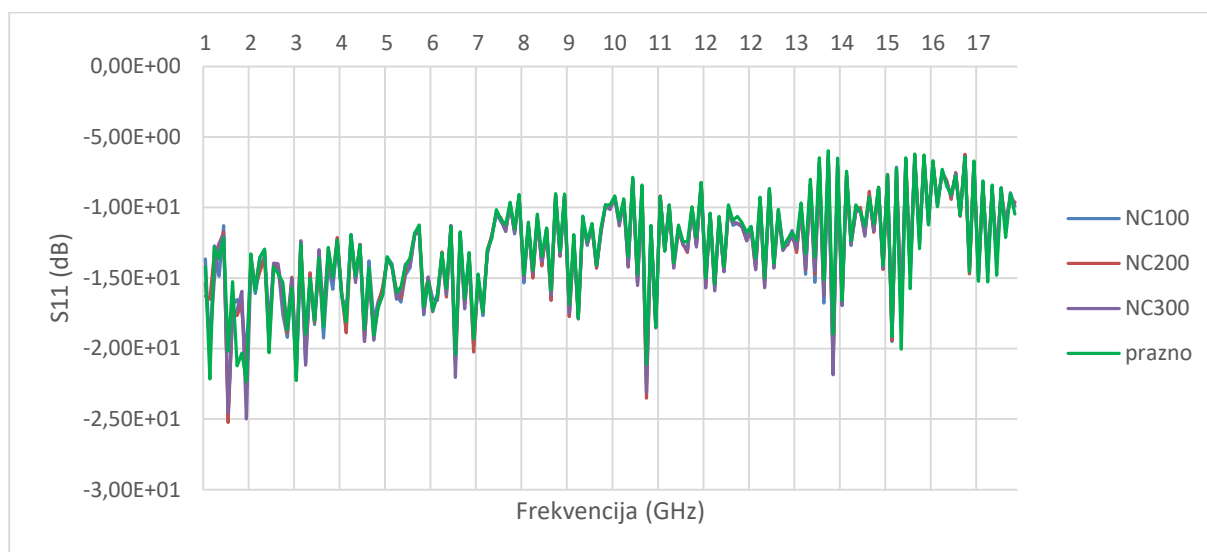
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
NC 100	-37,42 dB	0,33 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,71
NC 200	-44,31 dB	0,86 GHz		NC 300/1,44
NC 300	-63,9 dB	0,42 GHz		-
prazno	-35,4 dB	0,86 GHz		NC 300/1,81

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača NC 100 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,57 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -26,61 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji malo nižoj od 0,49 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -28,04 dB. Uzorak plošnog nosača NC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji od 0,35 GHz i iznosi -31 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,35 GHz i iznosi -24,6 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmirani uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i dok debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.16 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.16: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
NC 100	-26,61 dB	0,57 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,16
NC 200	-28,04 dB	0,49 GHz		NC 300/1,11
NC 300	-31 dB	0,35 GHz		-
prazno	-24,6 dB	0,35 GHz		NC 300/1,26

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Hyperlog antenom (antena kojom su provedena mjerenja u frekvencijskom opsegu od 1 do 18 GHz) kod nearmiranih uzoraka plošnih nosača kao i usporedba koeficijenata refleksije S_{11} EM zračenja uzoraka nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.34. Sa slike 3.34 se vidi da je koeficijent refleksije za različite debljine nearmiranog uzorka plošnog nosača vrlo sličan za veliku većinu frekvencija. Sa slike 3.34 je vidljivo da nema značajne razlike između koeficijenata refleksije S_{11} EM zračenja nearmiranih uzoraka plošnih nosača i koeficijenta refleksije S_{11} praznog okvira što nam također daje kao zaključak da čisti beton nema značajnog utjecaja na refleksiju EM vala.



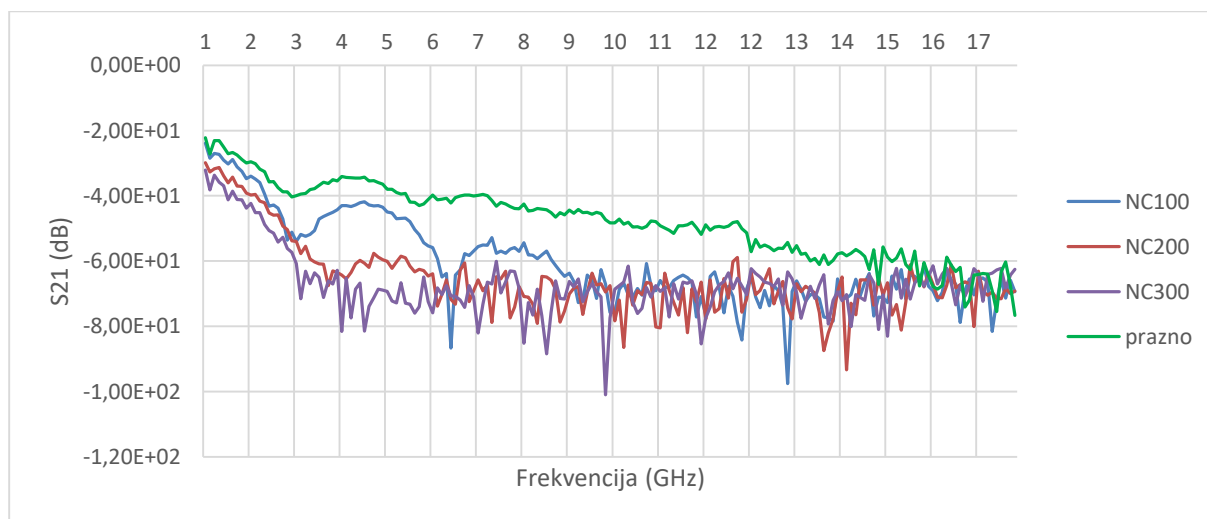
Slika 3.34: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

Pri frekvenciji od oko 1,48 GHz nearmirani uzorci plošnih nosača pokazuju najniže vrijednosti koeficijenta refleksije S11 koji su vrlo približni. Pri navedenoj frekvenciji u svim uzorcima plošnih nosača koeficijent refleksije S11 je u rasponu od -24,53 do -25,25 dB. Prazni otvor pri ovoj frekvenciji pokazuje viši koeficijent refleksije u odnosu na uzorke plošnih nosača i iznosi -20,17 dB, iz čega se zaključuje kako čisti beton nema nikakav utjecaj na refleksiju EM zračenja i da ustvari privlači EM zračenje. U tablici 3.17 prikazani su koeficijenti refleksije uzoraka plošnih nosača bez pojačanja i praznog otvora pri navedenoj frekvenciji.

Tablica 3.17: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 nearmiranih uzoraka plošnih nosača pri frekvenciji 1,48 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na NC 200
NC 100	-24,85 dB	NE UTJEČE (najveću refleksiju pokazuje prazan okvir)	1,23 x prazno
NC 200	-25,25 dB		1,25 x prazno
NC 300	-24,53 dB		1,22 x prazno
prazno	-20,17 dB		-

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kod nearmiranih uzoraka plošnih nosača kao i usporedba koeficijenta transmisije S21 EM zračenja uzoraka nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.35. Sa slike 3.35 vidi se kako se koeficijenti transmisije S21 nearmiranog uzorka plošnog nosača mijenjaju u ovisnosti o debljini uzorka nosača i u ovisnosti o frekvenciji. Ipak, nakon 9 GHz razlike vrijednosti koeficijenata transmisije S21 u ovisnosti o frekvenciji nisu značajne, niti u tom rasponu frekvencija debljina ima ulogu u zaštiti od prodora EM zračenja. Razlike se najviše javljaju pri frekvenciji od 3 do oko 9 GHz kod uzorka plošnog nosača debljine 10 cm u odnosu na ostale uzorke plošnih nosača. Iako kad se sve zbroji najbolju zaštitu pruža uzorak NC 300, zatim NC 200 i na kraju NC 100, ne može se to uzeti kao zaključak, iz razloga jer na većini raspona frekvencija su koeficijenti transmisije S21 približno jednaki za sva tri uzorka, a ima i raspona frekvencija kad najbolja svojstva pokazuju NC 100, odnosno NC 200. Sa slike 3.35 koja prikazuje usporedbu rezultata koeficijenata transmisije S21 EM zračenja kroz nearmirani uzorak plošnog nosača sa rezultatima koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kroz prazan okvir također se vidi kako čisti beton pruža zaštitu od prodora EM zračenja. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama do 16 GHz.



Slika 3.35: Usporedba koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača NC 100 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -54 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 2,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -53,94 dB. Najbolja svojstva transmisije pokazuje nearmirani uzorak plošnog nosača NC 300 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja također pri frekvenciji od 2,91 GHz i iznosi -60,77 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 2,81 GHz i iznosi -40,36 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Bicolog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmirani uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja s obzirom da najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača NC 100 ima za nijansu bolja svojstva zaštite od EM zračenja u odnosu na najnižu vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača NC 200. U tablici 3.18 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.18: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
NC 100	-54 dB	2,91 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,13
NC 200	-53,94 dB	2,91 GHz		NC 300/1,13
NC 300	-60,77 dB	2,91 GHz		-
prazno	-40,36 dB	2,81 GHz		NC 300/1,51

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača NC 100 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -23,86 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -29,86 dB. Uzorak plošnog nosača NC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji od 1 GHz i iznosi -32,09 dB. Najviši koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -22,25 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} nearmirani uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.19 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} (najlošija zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.19: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S_{21}	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S_{21} u odnosu na NC 300
NC 100	-23,86 dB	1 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,34
NC 200	-29,86 dB	1 GHz		NC 300/1,07
NC 300	-32,09 dB	1 GHz		-
prazno	-22,25 dB	1 GHz		NC 300/1,44

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) najbolja svojstva transmisije uzorak plošnog nosača NC 100 pokazuje pri frekvenciji 13,22 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije iznosi -97,54 dB. Uzorak plošnog nosača NC 200 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 14,47 GHz, i pri toj frekvenciji ima koeficijent transmisije S21 u iznosu od -93,13 dB. Uzorak plošnog nosača NC 300 najbolja svojstva pokazuje pri frekvenciji od 9,4 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -100,94 dB. Iako najmanju vrijednost koeficijenta transmisije S21 pokazuje uzorak NC 300, minimalne vrijednosti koeficijenta transmisije za zadane uzorke ne dokazuju kako se s povećanjem debljine plošnog nosača poboljšavaju svojstva zaštite od EM zračenja, s obzirom da su najbolja svojstva za zaštitu od EM zračenja za uzorak debljine 10 cm bolja u odnosu na uzorak debljine 20 cm. Prazni otvor ima minimalnu vrijednost koeficijenta transmisije -76,6 dB, što predstavlja puno lošija svojstva zaštite od EM zračenja u odnosu na uzorke NC 100, NC 200 i NC 300. To pokazuje kako nearmirani uzorak plošnog nosača (čisti beton) pruža zaštitu od EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenta transmisije S21 u spektru super visoke frekvencije mjerene Hyperlog antenom za pojedine uzorke prikazan je u tablici 3.20.

Tablica 3.20: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
NC 100	-97,54 dB	13,22 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,03
NC 200	-93,13 dB	14,47 GHz		NC 300/1,08
NC 300	-100,94 dB	9,4 GHz		-
prazno	-76,6 dB	18 GHz		NC 300/1,32

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača NC 100 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 4,34 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -41,8 dB. U istom spektru uzorak nearmiranog plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri

frekvenciji 3,1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,43 dB. Uzorak plošnog nosača NC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 7,11 GHz i iznosi -60,04 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 3,87 GHz i iznosi -34,1 dB. U spektru super visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmirani uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.21 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.21: Tablični prikaz najvećih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije

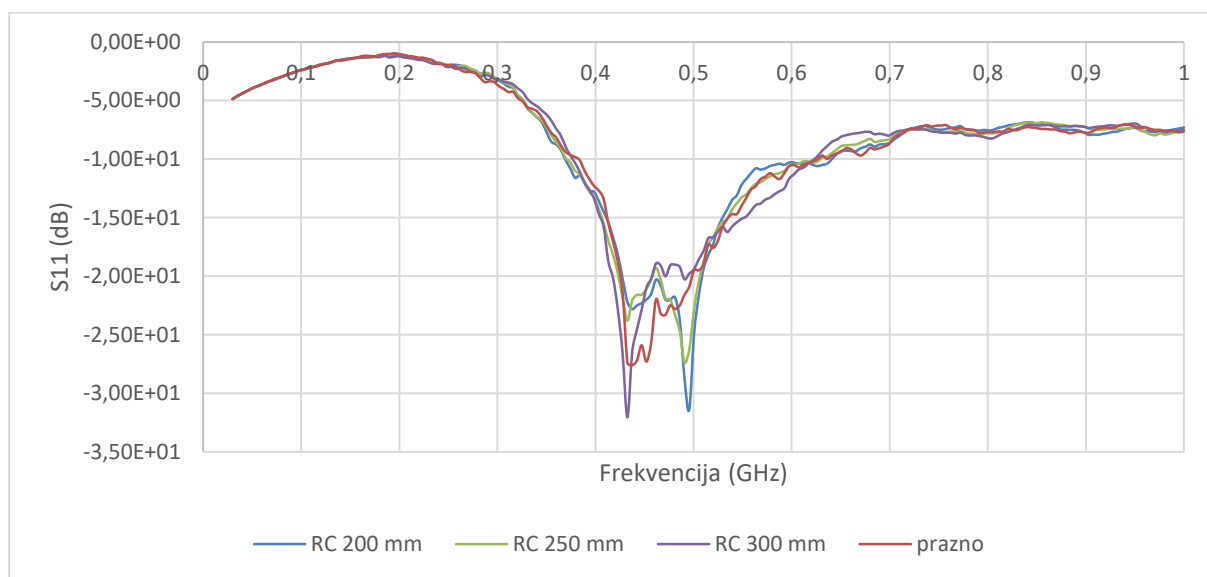
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
NC 100	-41,8 dB	4,34 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak NC 300)	NC 300/1,44
NC 200	-55,43 dB	3,1 GHz		NC 300/1,08
NC 300	-60,04 dB	7,11 GHz		-
prazno	-34,1 dB	3,87 GHz		NC 300/1,76

Iz navedenih rezultata zaključuje se kako nearmirani uzorci plošnog nosača pružaju zaštitu od EM zračenja, ali s obzirom kako ima dosta raspona frekvencija u kojima bolju zaštitu od EM zračenja pruža uzorak plošnog nosača debljine 10 cm u odnosu na uzorak plošnog nosača debljine 20 cm ne može se zaključiti da debljina uzorka utječe na zaštitu. Također se zaključuje kako nearmirani uzorci plošnog nosača imaju sposobnost upijanja EM zračenja. Uzorci plošnog nosača imaju sličan, čak i manji koeficijent refleksije u odnosu na prazni okvir, a manji koeficijent transmisije u odnosu na prazan okvir, što je dokaz kako nearmirani uzorci plošnih nosača imaju sposobnost upijanja EM zračenja.

3.2.2 Uzorci pošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785

Ispitani su uzorci plošnih nosača pojačani mrežastom armaturom Q785 (mreža koja se sastoji od šipaka profila 10 mm na razmaku 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u gornjoj i donjoj zoni debljina 20 (RC 200), 25 (RC 250) i 30 (RC 300) cm.

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicolog antenom (frekvencijski opseg od 30 MHz do 1 GHz) kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 kao i usporedba refleksija EM zračenja uzoraka nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.36. Sa slike 3.36 se vidi da je refleksija za različite debljine uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 vrlo slična za veliku većinu frekvencija. Sa slike 3.36 je vidljivo da nema velike razlike između refleksije EM zračenja uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 i refleksije praznog okvira što nam daje kao zaključak kako ni mrežasta armatura nema značajnog utjecaja na refleksiju EM vala.



Slika 3.36: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjerenih Bicolog antenom

Pri frekvenciji od 0,43 GHz uzorak plošnog nosača RC 300 pokazuje najnižu refleksiju, dok pri frekvenciji od oko 0,49 GHz uzorak plošnog nosača RC 300 pokazuje najvišu refleksiju. Pri frekvenciji od 0,43 GHz koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača RC 300 iznosi -32,06 dB, refleksija uzorka plošnog nosača RC 200 iznosi -22,2 dB, dok refleksija uzorka plošnog nosača RC 250 iznosi od -23,8 dB. Pri frekvenciji od oko 0,49 GHz refleksija uzorka plošnog nosača RC 300 iznosi od -19,79 dB, refleksija uzorka plošnog nosača RC 250 iznosi -26,3 dB, dok refleksija uzorka plošnog nosača RC 200 iznosi -31,40 dB. Tablični prikaz koeficijenata refleksije za uzorke plošnog nosača armirane mrežastom armaturom Q785 i prazni otvor pri frekvenciji 0,43 GHz prikazan je u tablici 3.22, dok je tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 za iste uzorke i otvor pri frekvenciji 0,49 GHz prikazan u tablici 3.23.

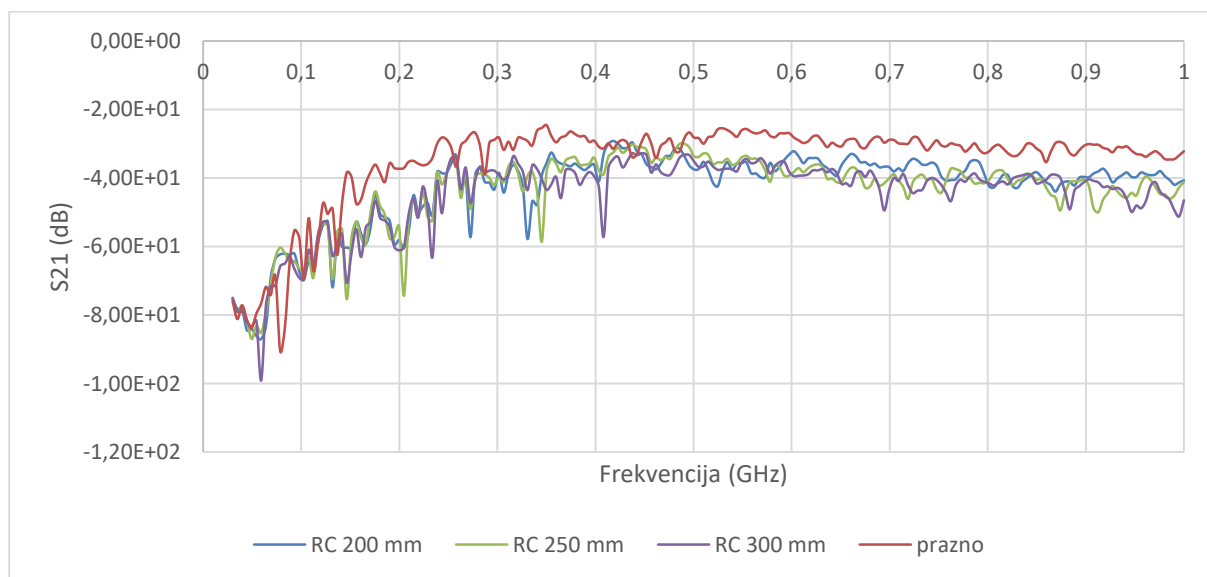
Tablica 3.22: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzorka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 pri frekvenciji 0,43 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na RC 200
RC 200	-22,2 dB	NE UTJEČE (najvišu refleksiju pokazuje RC 200)	-
RC 250	-23,8 dB		1,07 x RC 200
RC 300	-32,06 dB		1,44 x RC 200
prazno	-27,4 dB		1,23 x RC 200

Tablica 3.23: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzorka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 pri frekvenciji 0,49 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na RC 300
RC 200	-31,4 dB	NE UTJEČE (najvišu refleksiju pokazuje RC 300)	1,59 x RC 300
RC 250	-26,3 dB		1,33 x RC 300
RC 300	-19,79 dB		-
prazno	-20,9 dB		1,06 x RC 300

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S_{21} EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 mjerene Bicolog antenom kao i usporedba koeficijenata transmisije S_{21} EM zračenja nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.37. Za različite debljine uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 transmisija je slična za većinu frekvencija. Sa slike 3.37 se vidi kako debljina uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 ne utječe na zaštitu od prodora EM zračenja. Sa slike se također vidi kako uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 pruža zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama većim od 0,5 GHz.



Slika 3.37: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom transmisije S_{21} praznog okvira mjerenih Bicolog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača RC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,06 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -87 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -87 dB. Najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača RC 300 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pri frekvenciji od 0,06 GHz i iznosi -99,1 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,08 GHz i iznosi -90,5 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju uglavnom pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, bez obzira što je najniži koeficijent transmisije S21 praznog okvira niži od najnižeg koeficijenta transmisije S21 uzoraka plošnog nosača debljine 20 i 25 cm (sa slike 3.37 vidi se kako prazan okvir uglavnom ima slabija svojstva transmisije u promatranom spektru). Debljina uzorka plošnog nosača također uglavnom pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.24 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.24: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na RC 300
RC 200	-87 dB	0,05 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 300)	RC 300/1,14
RC 250	-87 dB	0,05 GHz		RC 300/1,14
RC 300	-99,1 dB	0,03 GHz		-
prazno	-90,5 dB	0,08 GHz		RC 300/1,1

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,26 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,4 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,25 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -34,2 dB. Uzorak plošnog nosača RC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji malo nižoj od 0,26 GHz i iznosi -33,91 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,28 GHz i iznosi -26,8 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe pozitivno na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.25 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.25: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na RC 250
RC 200	-33,4 dB	0,26 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 250)	RC 250/1,02
RC 250	-34,2 dB	0,25 GHz		-
RC 300	-33,91 dB	0,26 GHz		RC 250/1,01
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		RC 250/1,28

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača RC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -57,8 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,35 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -58,6 dB, dok uzorak plošnog nosača RC 300 najbolja svojstva transmisije EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,41 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -57,19 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,86 GHz i iznosi -35,4 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.26 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.26: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na RC 250
RC 200	-57,8 dB	0,33 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 250)	RC 250/1,01
RC 250	-58,6 dB	0,35 GHz		-
RC 300	-57,19 dB	0,41 GHz		RC 250/1,02
prazno	-35,4 dB	0,86 GHz		RC 250/1,66

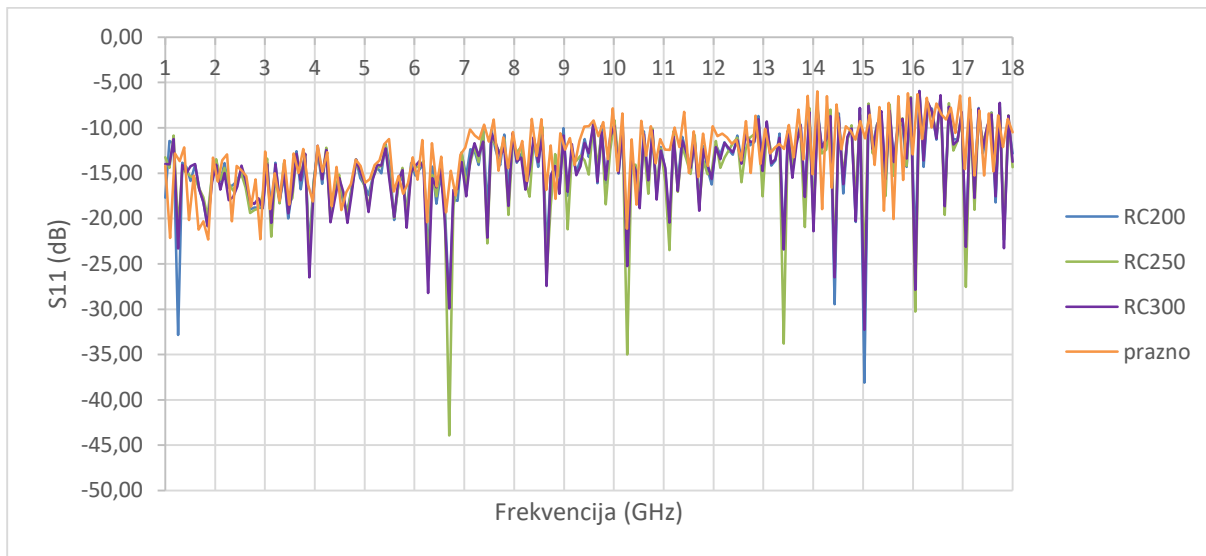
U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,42 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -29,2 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,49 GHz i pri toj

frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -30 dB. Uzorak plošnog nosača RC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,45 GHz i iznosi -32,81 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,35 GHz i iznosi -24,6 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača uglavnom pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.27 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.27: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na RC 300
RC 200	-29,2 dB	0,42 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 300)	RC 300/1,12
RC 250	-30 dB	0,49 GHz		RC 300/1,09
RC 300	-32,81 dB	0,45 GHz		-
prazno	-24,6 dB	0,35 GHz		RC 300/1,33

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S11 EM zračenja mjerenog Hyperlog antenom (antena kojom su provedena mjerenja u frekvencijskom opsegu od 1 do 18 GHz) kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 kao i usporedba koeficijenata refleksije S11 EM zračenja uzoraka nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.38. Sa slike 3.38 se vidi kako je refleksija za različite debljine uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 vrlo slična za veliku većinu frekvencija. Sa slike 3.38 je vidljivo kako uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 ništa bolje ne reflektira EM zračenje od praznog okvira te se može zaključiti kako mrežasta armatura nema značajnog utjecaja na refleksiju EM vala. Također je na slikama vidljivo kako debljina uzorka plošnog nosača ne pridonosi refleksiji EM zračenja.



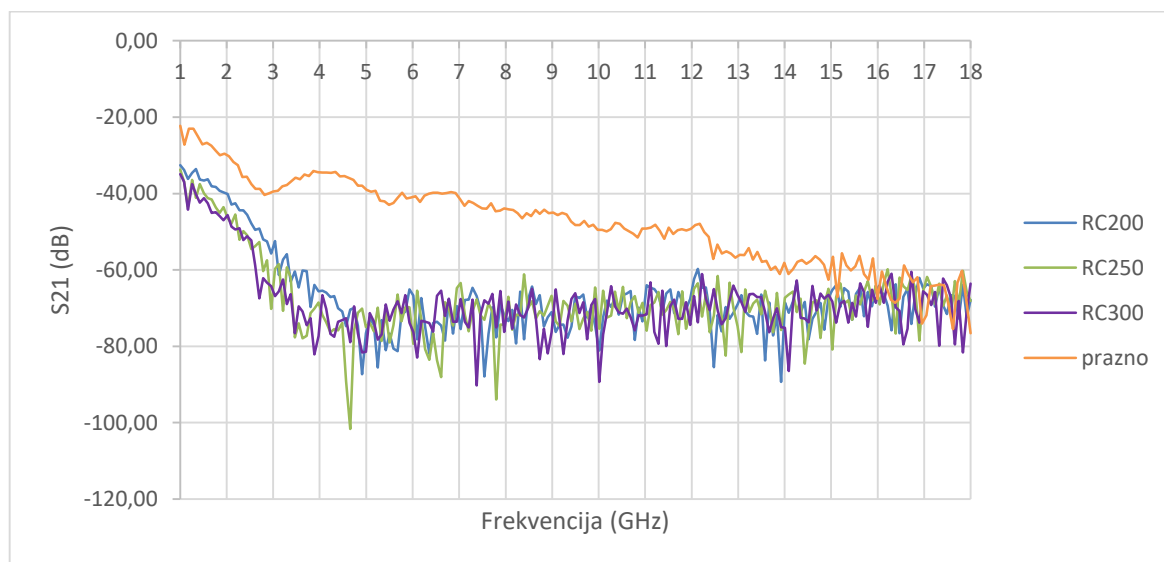
Slika 3.38: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

Najlošija svojstva refleksije pokazuje uzorak plošnog nosača RC 250, koji pri frekvenciji od 6,7 GHz ima najnižu vrijednost koeficijenta refleksije S_{11} i iznosi -43,92 dB. Kod uzorka plošnog nosača RC 200 koeficijent refleksije S_{11} iznosi -29,72 dB, dok kod uzorka plošnog nosača RC 300 pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} iznosi -29,92 dB. Tablični prikaz koeficijenata transmisije za uzorke plošnog nosača armirane mrežastom armaturom Q785 i prazni otvor pri frekvenciji 6,7 GHz prikazan je u tablici 3.28.

Tablica 3.28: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 pri frekvenciji 6,7 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S_{11}	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S_{11} u odnosu na praza0
RC 200	-29,72 dB	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje prazan okvir)	1,97 x prazno
RC 250	-43,92 dB		2,91 x prazno
RC 300	-29,79 dB		1,34 x prazno
prazno	-15,1 dB		-

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 kao i usporedba koeficijenata transmisije S21 EM zračenja uzoraka nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.39. Sa slike 3.39 se vidi kako je koeficijent transmisije S21 za različite debljine uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 sličan za većinu frekvencija, za nijansu najbolja svojstva pokazuje uzorak plošnog nosača RC 250, što znači kako debljina uzorka plošnog nosača nema nikakvog utjecaja na koeficijent transmisije S21. Također se vidi kako se koeficijent transmisije S21 uzoraka plošnih nosača uvelike razlikuje od koeficijenta transmisije S21 kroz prazan okvir, što znači kako uzorak plošnog nosača pojačan mrežastom armaturom Q785 pruža zaštitu od prodora EM zračenja. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama do 15 GHz gdje je puno bolja zaštita uzoraka plošnih nosača u odnosu na prazan okvir.



Slika 3.39: Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača RC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,95 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,67 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 2,95 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -70,19 dB. Najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača RC 300 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja također pri frekvenciji od 2,7 GHz i iznosi -67,42 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 2,81 GHz i iznosi -40,36 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja s obzirom da najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača RC 250 ima najbolja svojstva zaštite od EM zračenja. U tablici 3.29 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) nearmiranih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.29: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na RC 250
RC 200	-55,67 dB	2,95 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 250)	RC 250/1,26
RC 250	-70,19 dB	2,95 GHz		-
RC 300	-67,42 dB	2,7 GHz		RC 250/1,04
prazno	-40,36 dB	2,81 GHz		RC 250/1,74

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -32,56 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,76 dB. Uzorak plošnog nosača RC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji od 1 GHz i iznosi -34,9 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -22,25 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i može se reći kako debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja iako su vrijednosti najviših koeficijenata transmisije S21 od sva tri uzorka plošnog nosača slične. U tablici 3.30 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.30: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na RC 300
RC 200	-32,56 dB	1 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 300)	RC 300/1,07
RC 250	-33,76 dB	1 GHz		RC 300/1,03
RC 300	-34,9 dB	1 GHz		-
prazno	-22,25 dB	1 GHz		RC 300/1,57

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) najbolja svojstva transmisije uzorak plošnog nosača RC 200 pokazuje pri frekvenciji 13,92 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije iznosi -89,29 dB. Uzorak plošnog nosača RC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 4,66 GHz, i pri toj frekvenciji ima koeficijent transmisije S21 u iznosu od -101,63 dB. Uzorak plošnog nosača RC 300 najbolja svojstva pokazuje pri frekvenciji od 7,38 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -90,24 dB. Minimalne vrijednosti koeficijenta transmisije S21 za zadane uzorke pokazuju kako se s povećanjem debljine plošnog nosača ne poboljšavaju svojstva zaštite od EM zračenja, s obzirom da su najbolja svojstva za zaštitu od EM zračenja za uzorak RC 250, dok sličnu zaštitu pružaju uzorak RC 200 i RC 300. Prazni otvor ima minimalnu vrijednost koeficijenta transmisije -76,6 dB, što predstavlja puno lošija svojstva zaštite od EM zračenja u odnosu na uzorke RC 200, RC 250 i RC 300. To pokazuje kako uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 pruža zaštitu od EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenta transmisije S21 u spektru super visoke frekvencije mjerene Hyperlog antenom za pojedine uzorke prikazan je u tablici 3.31.

Tablica 3.31: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
RC 200	-89,29 dB	13,92 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 250)	RC 250/1,14
RC 250	-101,63 dB	4,66 GHz		-
RC 300	-90,24 dB	7,38 GHz		RC 250/1,13
prazno	-76,6 dB	18 GHz		RC 300/1,33

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 3,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -52,41 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 3,13 GHz i

pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -58,49 dB. Uzorak plošnog nosača RC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 16,73 GHz i iznosi -60,49 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 3,87 GHz i iznosi -34,1 dB. U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.32 prikazane su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru super visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.32: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u spektru super visoke frekvencije

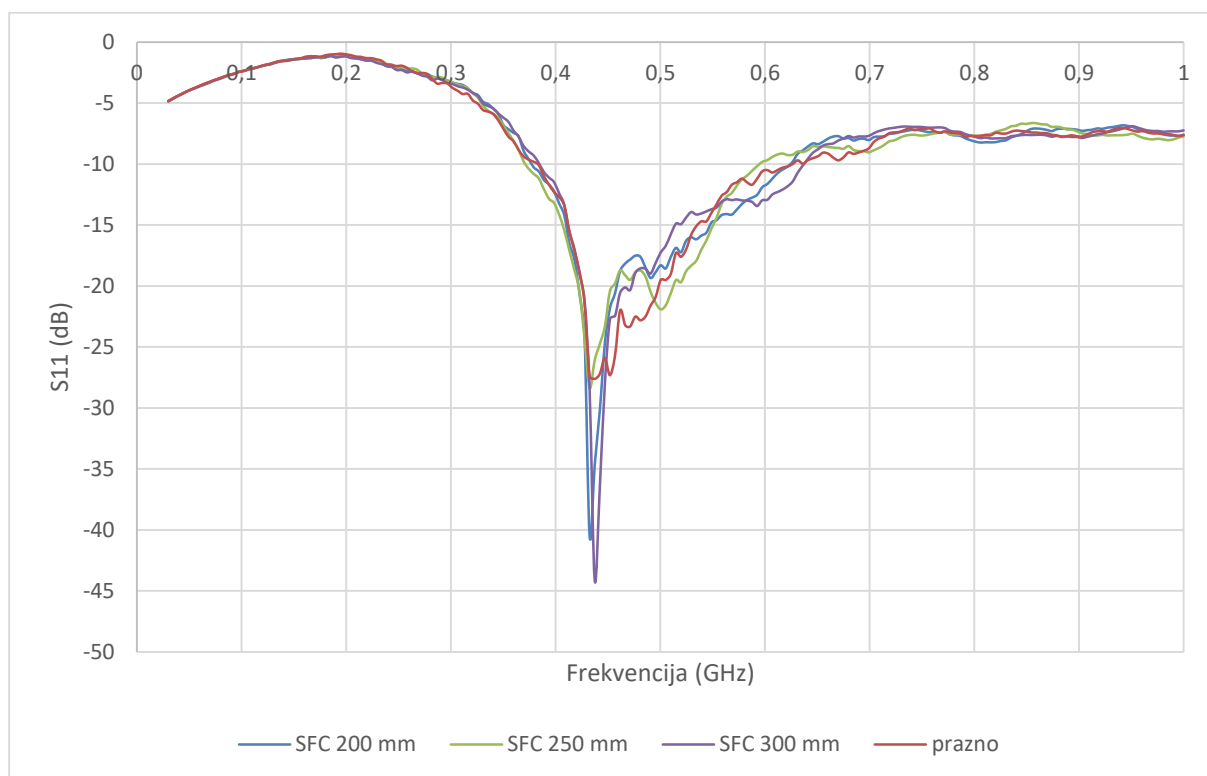
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na NC 300
RC 200	-52,41 dB	3,04 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak RC 300)	RC 300/1,15
RC 250	-58,49 dB	3,13 GHz		RC 300/1,03
RC 300	-60,49 dB	16,73 GHz		-
prazno	-34,1 dB	3,87 GHz		RC 300/1,77

Iz navedenih rezultata zaključuje se kako uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 pružaju zaštitu od EM zračenja, ali s obzirom kako za većinu frekvencija bolju zaštitu od EM zaštite pruža uzorak plošnog nosača RC 250 u odnosu na uzorak plošnog nosača RC 300 zaključuje se kako debljina uzorka ne utječe na zaštitu od EM zračenja. Također se zaključuje kako uzorci plošnog nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju sposobnost upijanja EM zračenja. Uzorci plošnog nosača imaju sličan, čak i manji koeficijent refleksije u odnosu na prazni okvir, a manji koeficijent transmisije u odnosu na prazan okvir, što je dokaz kako uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785 imaju sposobnost upijanja EM zračenja.

3.2.3 Uzorci plošnih nosača pojačani s čeličnim vlaknima

Ispitani su uzorci plošnih nosača pojačani s čeličnim vlaknima debljina 20, 25 i 30 cm. Zadani plošni nosač pojačan je s 1,72 kg čeličnih vlakana.

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicollog antenom (frekvencijski opseg od 30 MHz do 1 GHz) kod uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima kao i usporedba refleksija EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.40. Sa slike 3.40 se vidi da je refleksija za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima vrlo slična za veliku većinu frekvencija. Sa slike 3.40 je vidljivo da nema velike razlike između refleksije EM zračenja uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima i refleksije praznog okvira što nam daje kao zaključak kako ni čelična vlakna nemaju značajnog utjecaja na refleksiju EM vala.



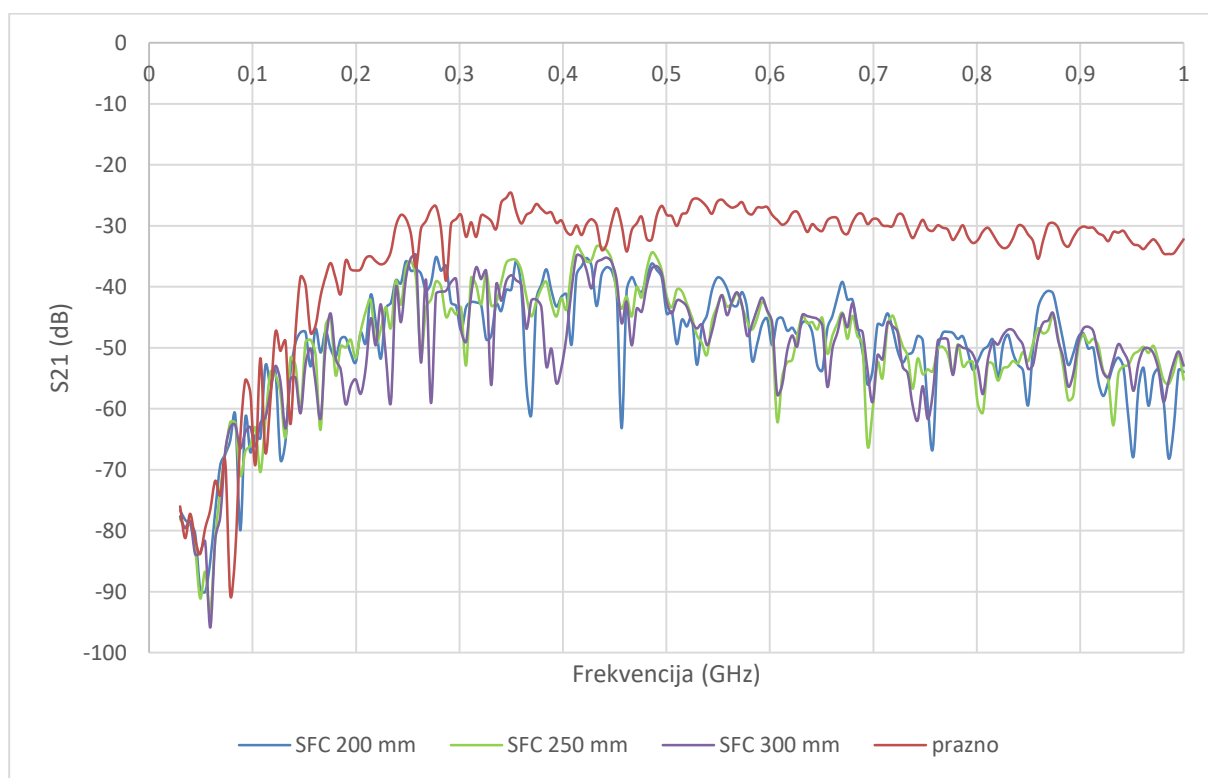
Slika 3.40: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjerenih Bicollog antenom

Pri frekvenciji od 0,44 GHz uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima debljine 30 cm pokazuje najlošija svojstva refleksije. Pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača debljine 30 cm iznosi -44,14 dB, refleksija uzorka plošnog nosača debljine 20 cm iznosi -34,67 dB, dok koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača debljine 25 cm iznosi od -26,07 dB. Prazni otvor pri istoj frekvenciji ima koeficijent refleksije S11 u iznosu od -27,6 dB. Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 za uzorke plošnog nosača pojačane čeličnim vlaknima i prazni otvor pri frekvenciji 0,43 GHz prikazan je u tablici 3.33.

Tablica 3.33: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima pri frekvenciji 0,43 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na SFC 250
SFC 200	-34,67 dB	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje SFC 250)	1,33 x SFC 250
SFC 250	-26,07 dB		-
SFC 300	-44,14 dB		1,69 x SFC 250
prazno	-27,6 dB		1,06 x SFC 250

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S_{21} EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima mjerene Bicolog antenom kao i usporedba koeficijenata transmisije S_{21} EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.41. Za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima koeficijent transmisije S_{21} je sličan za većinu frekvencija. Sa slike 3.41 se vidi kako debljina uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima ne utječe na zaštitu od prodora EM zračenja, pogotovo s obzirom da najbolja svojstva zaštite od EM zračenja pokazuje uzorak plošnog nosača SFC 200. Sa slike 3.41 se također vidi kako uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima pruža zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama većim od 0,5 GHz.



Slika 3.41: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S_{21} praznog okvira mjerenih Bicolog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača SFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -90,07 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,06 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -93,31 dB. Najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača SFC 300 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pri frekvenciji od 0,06 GHz i iznosi -95,9 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,08 GHz i iznosi -90,5 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju uglavnom pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, bez obzira što je najniži koeficijent transmisije S21 praznog okvira približan najnižeg koeficijenta transmisije S21 uzoraka plošnog nosača debljine 20 i 25 cm (sa slike 3.37 vidi se kako prazan okvir uglavnom ima slabija svojstva transmisije u promatranom spektru). Debljina uzorka plošnog nosača također uglavnom pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.34 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.34: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 300
SFC 200	-90,07 dB	0,05 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 300)	SFC 300/1,06
SFC 250	-93,31 dB	0,06 GHz		SFC 300/1,03
SFC 300	-95,9 dB	0,06 GHz		-
prazno	-90,5 dB	0,08 GHz		SFC 300/1,06

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,28 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -35,11 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,25 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -35,79 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji 0,26 GHz i iznosi -34,77 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,28 GHz i iznosi -26,8 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.35 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.35: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 250
SFC 200	-35,11 dB	0,28 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 250)	SFC 250/1,02
SFC 250	-35,79 dB	0,25 GHz		-
SFC 300	-34,77 dB	0,26 GHz		SFC 250/1,03
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		SFC 250/1,34

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača SFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,99 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -68,09 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,69 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -66,01 dB, dok uzorak plošnog nosača SFC 300 najbolja svojstva transmisije EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,74 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -61,91 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,86 GHz i iznosi -35,4 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.36 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.36: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

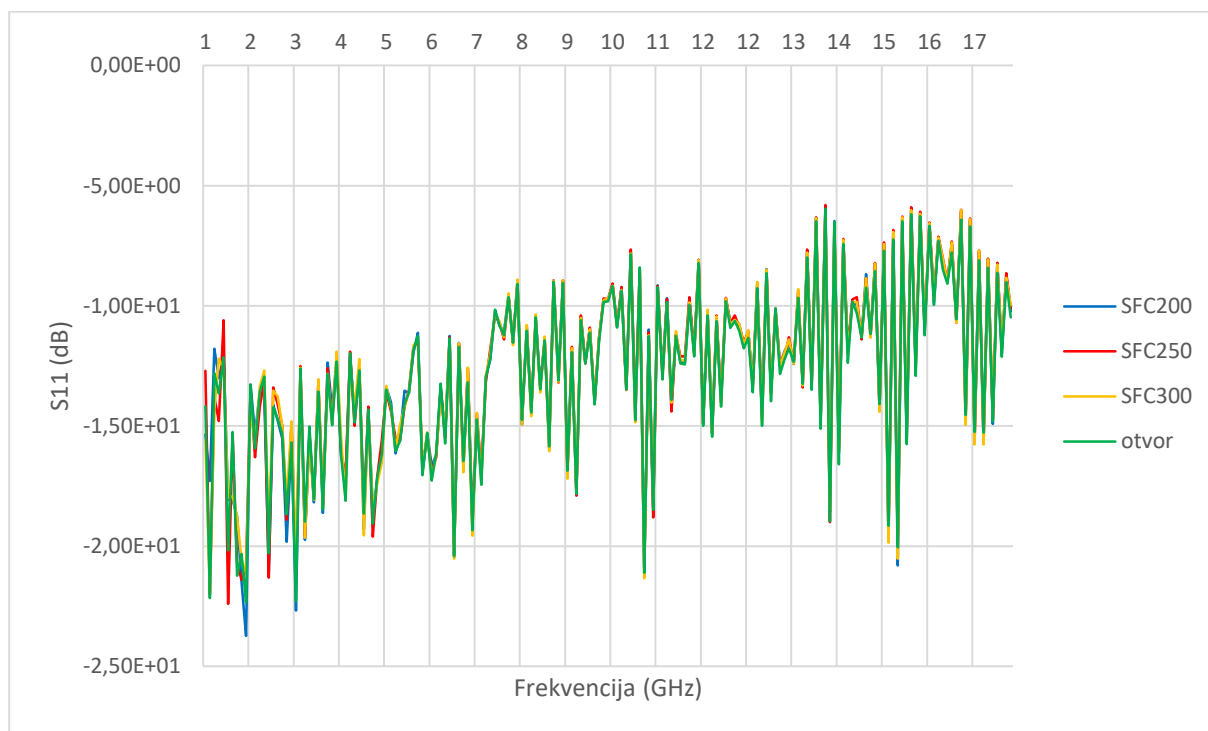
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 200
SFC 200	-68,09 dB	0,99 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 200)	-
SFC 250	-66,01 dB	0,69 GHz		SFC 250/1,03
SFC 300	-61,91 dB	0,74 GHz		SFC 250/1,1
prazno	-35,4 dB	0,86 GHz		SFC 250/1,92

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,42 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -35,26 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,43 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,39 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,41 GHz i iznosi -34,88 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,35 GHz i iznosi -24,6 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.37 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.37: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 200
SFC 200	-35,26 dB	0,42 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 200)	-
SFC 250	-33,39 dB	0,43 GHz		SFC 200/1,06
SFC 300	-34,88 dB	0,41 GHz		SFC 200/1,01
prazno	-24,6 dB	0,35 GHz		SFC 200/1,43

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjenog Hyperlog antenom (antena kojom su provedena mjerenja u frekvencijskom opsegu od 1 do 18 GHz) kod uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima kao i usporedba koeficijenata refleksije S_{11} EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.42. Sa slike 3.42 se vidi kako je refleksija za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima vrlo slična za gotovo sve frekvencije. Sa slike 3.42 je vidljivo kako uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima ništa bolje ne reflektira EM zračenje od praznog okvira te se može zaključiti kako čelična vlakna nemaju značajnog utjecaja na refleksiju EM vala. Također je na slikama vidljivo kako debljina uzorka plošnog nosača ne pridonosi refleksiji EM zračenja.



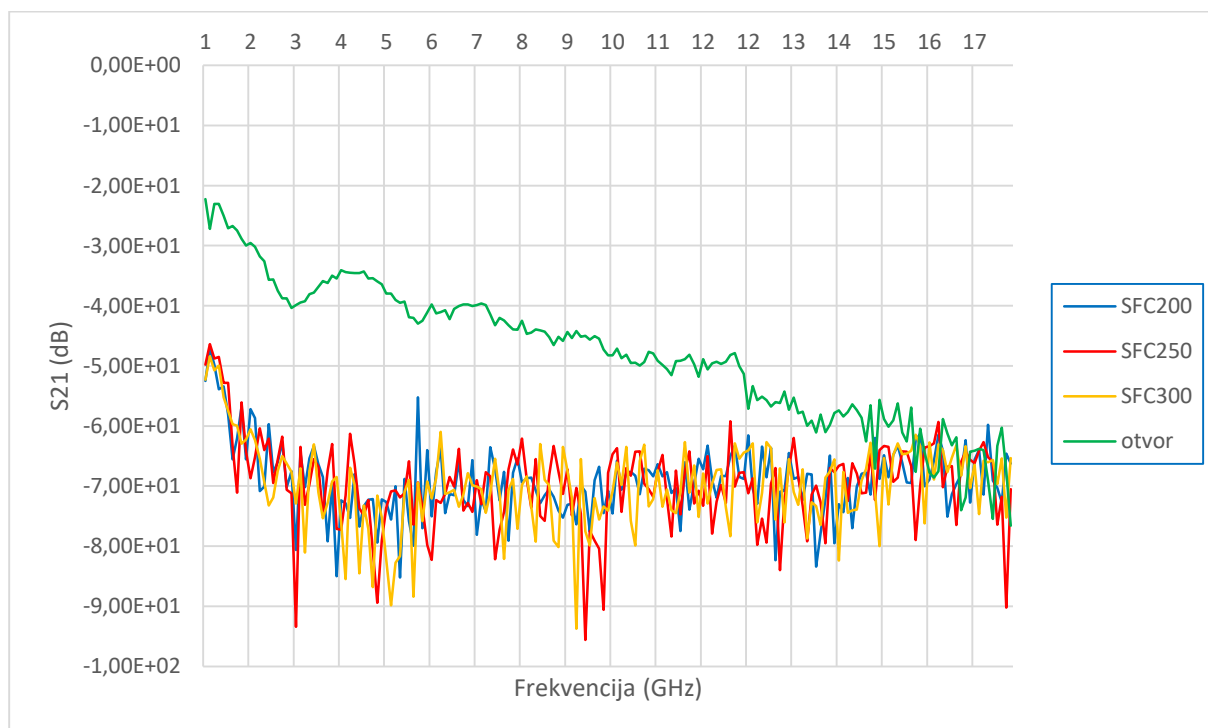
Slika 3.42: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjenih Hyperlog antenom

Pri frekvenciji 10,74 GHz za nijansu najnižu refleksiju pokazuje uzorak plošnog nosača SFC 300, koji pri toj frekvenciji ima vrijednost koeficijenta refleksije S11 u iznosu od -21,34 dB. Kod uzorka plošnog nosača SFC 200 koeficijent refleksije S11 pri istoj frekvenciji iznosi -21,12 dB, dok kod uzorka plošnog nosača SFC 250 pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S11 iznosi -20,9 dB. Ovo je također dokaz velike sličnosti svojstava refleksije uzoraka plošnih nosača različitih debljina međusobno i u odnosu na prazan okvir, iz čega se može zaključiti kako ni čisti beton ni čelična vlakna nemaju utjecaja na refleksiju EM zračenja. Tablični prikaz koeficijenata transmisije za uzorke plošnog nosača pojačane čeličnim vlaknima i prazni otvor pri frekvenciji 10,74 GHz prikazan je u tablici 3.38.

Tablica 3.38: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima pri frekvenciji 10,74 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na SFC 250
SFC 200	-21,12 dB	NE UTJEČE (najvišu refleksiju pokazuje SFC 250)	1,01 x SFC 250
SFC 250	-20,9 dB		-
SFC 300	-21,34 dB		1,02 x SFC 250
prazno	-21,11 dB		1,01 x SFC 250

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S_{21} EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima kao i usporedba koeficijenata transmisije S_{21} EM zračenja uzoraka plošnih nosača različite debljine prikazani su na slici 3.43. Sa slike 3.43 se vidi kako je koeficijent transmisije S_{21} za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima sličan za većinu frekvencija. Najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača SFC 250, što znači kako debljina uzorka plošnog nosača nema nikakvog utjecaja na koeficijent transmisije S_{21} . Također se vidi kako se koeficijent transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača uvelike razlikuje od koeficijenta transmisije S_{21} kroz prazan okvir, što znači kako uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima pruža zaštitu od prodora EM zračenja. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama do 15 GHz gdje je puno bolja zaštita uzoraka plošnih nosača u odnosu na prazan okvir.



Slika 3.43: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima različite debljine s koeficijentom transmisije S_{21} praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača SFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -80,65 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 2,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -93,4 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji od 2,34 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja iznosi -73,24 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 2,81 GHz i iznosi -40,36 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja s obzirom da najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača SFC 250 ima najbolja svojstva zaštite od EM zračenja, dok uzorak plošnog nosača SFC 300 najlošija svojstva zaštite od EM zračenja. U tablici 3.39 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.39: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 250
SFC 200	-80,65 dB	2,91 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 250)	SFC 250/1,16
SFC 250	-93,4 dB	2,91 GHz		-
SFC 300	-73,24 dB	2,34 GHz		SFC 250/1,28
prazno	-40,36 dB	2,81 GHz		SFC 250/2,31

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1,1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -47,01 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 1,1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -46,4 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji od 1,1 GHz i iznosi -48,39 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -22,25 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja s obzirom da uzorak plošnog nosača SFC 200 ima nižu vrijednost koeficijenta transmisije S21 u odnosu na uzorak plošnog nosača SFC 250. U tablici 3.40 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.40: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 300
SFC 200	-47,01 dB	1,1 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 300)	SFC 300/1,03
SFC 250	-46,4 dB	1,1 GHz		SFC 300/1,04
SFC 300	-48,39 dB	1,1 GHz		-
prazno	-22,25 dB	1 GHz		SFC 300/2,17

U spektru super visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) najbolja svojstva transmisije uzorak plošnog nosača SFC 200 pokazuje pri frekvenciji 5,11 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije iznosi -85,22 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 9,02 GHz i pri toj frekvenciji ima koeficijent transmisije S21 u iznosu od -95,6 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 najbolja svojstva pokazuje pri frekvenciji od 8,83 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -93,75 dB. Minimalne vrijednosti koeficijenta transmisije S21 za zadane uzorke pokazuju kako se s povećanjem debljine plošnog nosača ne poboljšavaju svojstva zaštite od EM zračenja, s obzirom da najbolja svojstva za zaštitu od EM zračenja ima uzorak SFC 250. Prazni otvor ima minimalnu vrijednost koeficijenta transmisije -76,6 dB, što predstavlja lošija svojstva zaštite od EM zračenja u odnosu na uzorke SFC 200, SFC 250 i SFC 300. To pokazuje kako uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima pruža zaštitu od EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenta transmisije S21 u spektru super visoke frekvencije mjerene Hyperlog antenom za pojedine uzorke prikazan je u tablici 3.41.

Tablica 3.41: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 250
SFC 200	-85,22 dB	5,11 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 250)	SFC 250/1,12
SFC 250	-95,6 dB	9,02 GHz		-
SFC 300	-93,75 dB	8,83 GHz		SFC 250/1,02
prazno	-76,6 dB	18 GHz		SFC 300/1,25

U spektru super visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 5,49 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,29 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 12,08 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -59,2 dB. Uzorak plošnog nosača SFC

300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 5,97 GHz i iznosi -60,95 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 3,87 GHz i iznosi -34,1 dB. U spektru super visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača uglavnom pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja iako nema velikih razlika u vrijednostima minimalnih koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača. U tablici 3.42 prikazane su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.42: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije

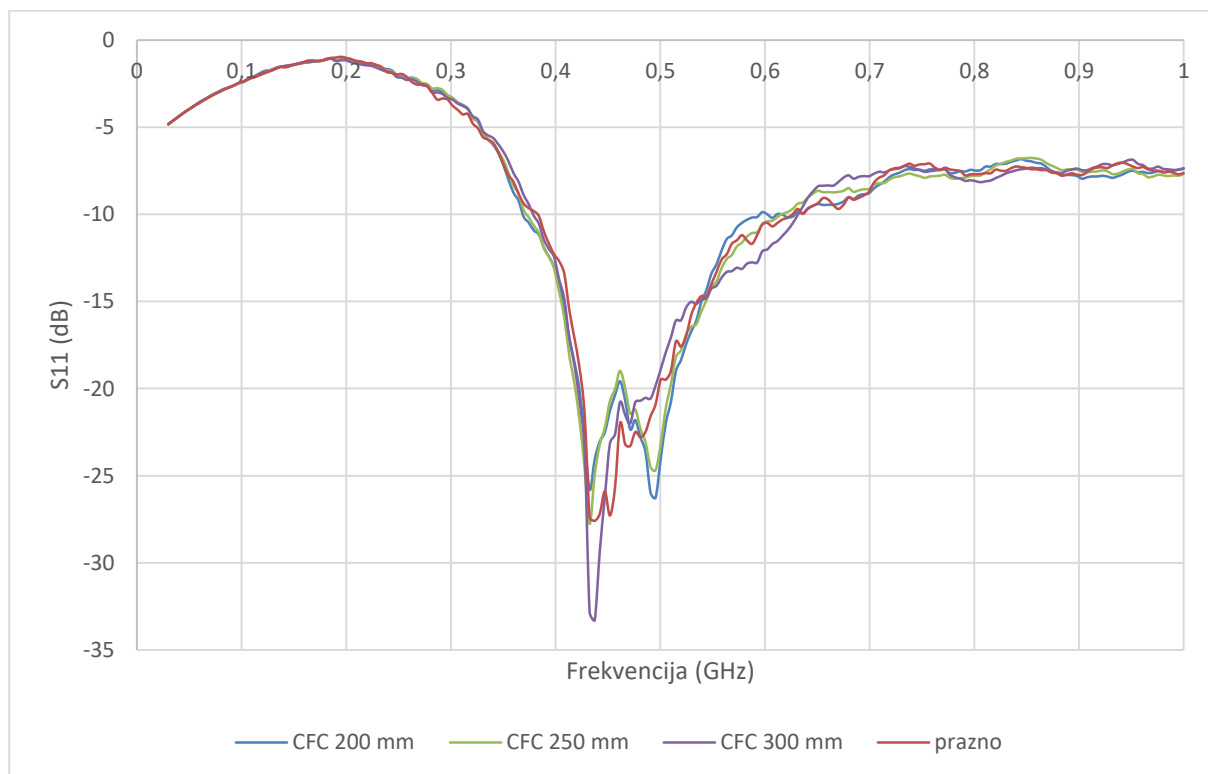
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 300
SFC 200	-55,29 dB	5,49 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak SFC 300)	SFC 300/1,1
SFC 250	-59,2 dB	12,08 GHz		SFC 300/1,03
SFC 300	-60,95 dB	5,97 GHz		-
prazno	-34,1 dB	3,87 GHz		SFC 300/1,79

Iz navedenih rezultata zaključuje se kako uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima pružaju zaštitu od EM zračenja, ali s obzirom kako za većinu frekvencija bolju zaštitu od EM zaštitu pruža uzorak plošnog nosača SFC 250 u odnosu na uzorak plošnog nosača SFC 300 zaključuje se kako debljina uzorka ne utječe na zaštitu od EM zračenja. Također se zaključuje kako uzorci plošnog nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju sposobnost upijanja EM zračenja. Uzorci plošnog nosača imaju sličan koeficijent refleksije u odnosu na prazni okvir, a manji koeficijent transmisije u odnosu na prazan okvir, što je dokaz kako uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju sposobnost upijanja EM zračenja.

3.2.4 Uzorci plošnih nosača pojačani s ugljičnim vlaknima

Ispitani su plošni nosači pojačani s ugljičnim vlaknima debljina 20 (CFC 200), 25 (CFC 250) i 30 (CFC 300) cm. Zadani plošni nosač pojačan je s 0,18 kg ugljičnih vlakana.

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicollog antenom (frekvencijski opseg od 30 MHz do 1 GHz) kod uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima kao i usporedba refleksija EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.44. Sa slike 3.44 se vidi da je refleksija za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima vrlo slična za veliku većinu frekvencija. Sa slike 3.44 je vidljivo da nema velike razlike između refleksije EM zračenja uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima i refleksije praznog okvira što nam daje kao zaključak kako ni ugljična vlakna nemaju značajnog utjecaja na refleksiju EM vala.



Slika 3.44: Usporedba koeficijenta refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjerenih Bicollog antenom

Pri frekvenciji od 0,44 GHz uzorak plošnog nosača CFC 300 pokazuje najnižu refleksiju, dok pri frekvenciji od oko 0,5 GHz uzorak plošnog nosača CFC 300 pokazuje najvišu refleksiju. Pri frekvenciji od 0,44 GHz koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača CFC 300 iznosi -33,31 dB, koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača CFC 200 iznosi -24,06 dB, dok koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača CFC 250 iznosi od -24,94 dB. Pri frekvenciji od oko 0,5 GHz koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača CFC 300 iznosi od -19,83 dB, koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača CFC 250 iznosi -24,67 dB, dok koeficijent refleksije S11 uzorka plošnog nosača CFC 200 iznosi -26,25 dB. Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 za uzorke plošnog nosača pojačane ugljičnim vlaknima i prazni otvor pri frekvenciji 0,44 GHz prikazan je u tablici 3.43, dok je tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 za iste uzorke i otvor pri frekvenciji 0,49 GHz prikazan u tablici 3.44.

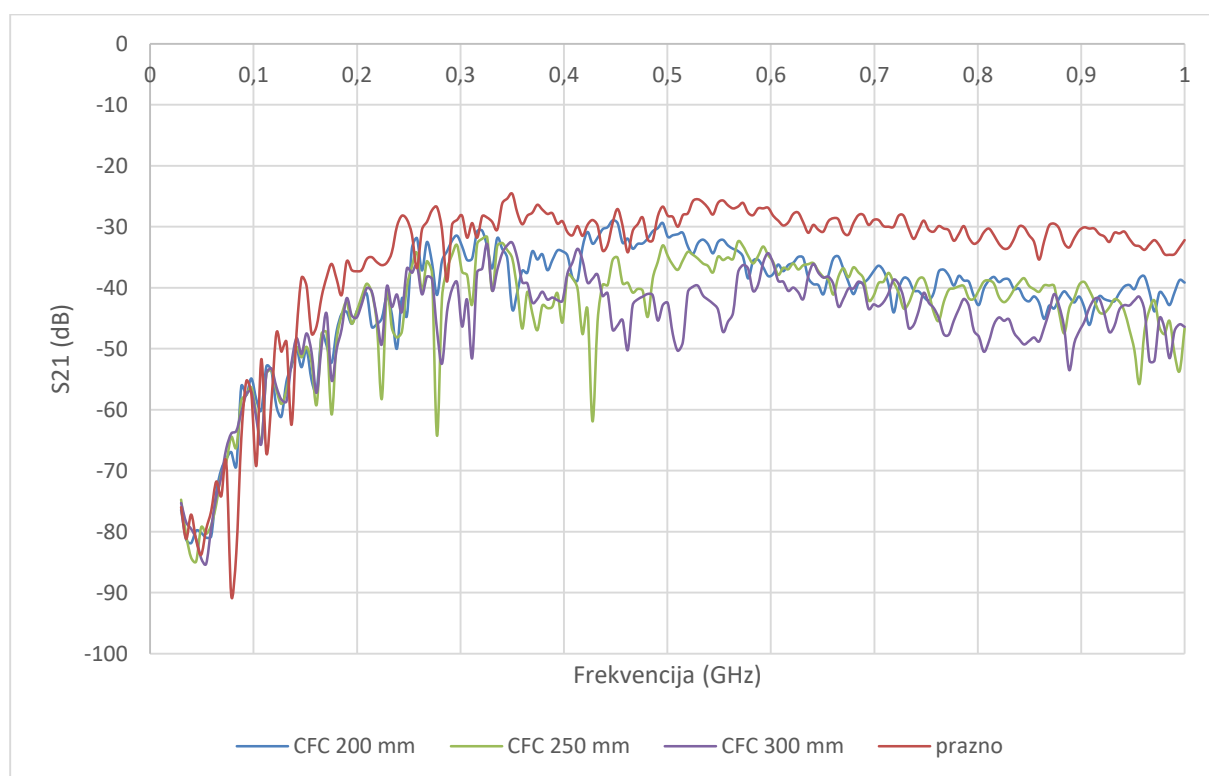
Tablica 3.43: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzorka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima pri frekvenciji 0,44 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na CFC 200
CFC 200	-24,06 dB	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje CFC 200)	-
CFC 250	-24,94 dB		1,04 x CFC 200
CFC 300	-33,31 dB		1,38 x CFC 200
prazno	-27,6 dB		1,15 x RC 200

Tablica 3.44: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzorka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima pri frekvenciji 0,49 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na CFC 300
CFC 200	-26,25 dB	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje CFC 300)	1,32 x CFC 300
CFC 250	-24,67 dB		1,24 x CFC 300
CFC 300	-19,83 dB		-
prazno	-20,9 dB		1,05 x RC 300

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S_{21} EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima mjerene Bicolog antenom kao i usporedba koeficijenata transmisije S_{21} EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.45. Za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima koeficijent transmisije S_{21} je sličan za većinu frekvencija. Sa slike 3.45 se vidi kako debljina uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima ne utječe na zaštitu od prodora EM zračenja, pogotovo s obzirom da najbolja svojstva zaštite od EM zračenja pokazuje uzorak plošnog nosača debljine 25 cm. Sa slike se također vidi kako uzorak plošnog nosača pojačan ugljičnim vlaknima pruža zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama većim od 0,5 GHz.



Slika 3.45: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S_{21} praznog okvira mjenjenih Bicolog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača CFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji malo manjoj od 0,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -81,86 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača CFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo većoj od 0,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -84,85 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 pokazuje najbolja svojstva transmisije EM zračenja pri frekvenciji od 0,05 GHz i pri toj frekvenciji najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 iznosi -85,25 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,08 GHz i iznosi -90,5 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju uglavnom pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, bez obzira što je najniži koeficijent transmisije S21 praznog okvira niži od najnižeg koeficijenta transmisije S21 uzoraka plošnog nosača (sa slike 3.37 vidi se kako prazan okvir većinom ima slabija svojstva transmisije u promatranom spektru). Debljina uzorka plošnog nosača uglavnom pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja, iako su najniže vrijednosti koeficijenta transmisije S21 sva tri uzorka plošnih nosača približne. U tablici 3.45 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.45: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na prazno
CFC 200	-81,86 dB	0,04 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje prazan okvir)	prazno/1,11
CFC 250	-84,85 dB	0,04 GHz		prazno/1,07
CFC 300	-85,25 dB	0,05 GHz		prazno/1,06
prazno	-90,5 dB	0,08 GHz		-

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -31,44 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača SFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji 0,26 GHz i iznosi -36,38 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,28 GHz i iznosi -26,8 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača uglavnom utječe na zaštitu od EM zračenja, iako su koeficijenti transmisije S21 sva tri uzorka plošnih nosača približno jednaki. U tablici 3.46 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.46: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na CFC 300
CFC 200	-31,44 dB	0,3 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 300)	CFC 300/1,16
CFC 250	-33 dB	0,3 GHz		CFC 300/1,1
CFC 300	-36,38 dB	0,26 GHz		-
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		CFC 300/1,36

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača CFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -46,08 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača CFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,43 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -61,9 dB, dok uzorak plošnog nosača CFC 300 najbolja svojstva transmisije EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,89 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -53,5 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,86 GHz i iznosi -35,4 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.47 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.47: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

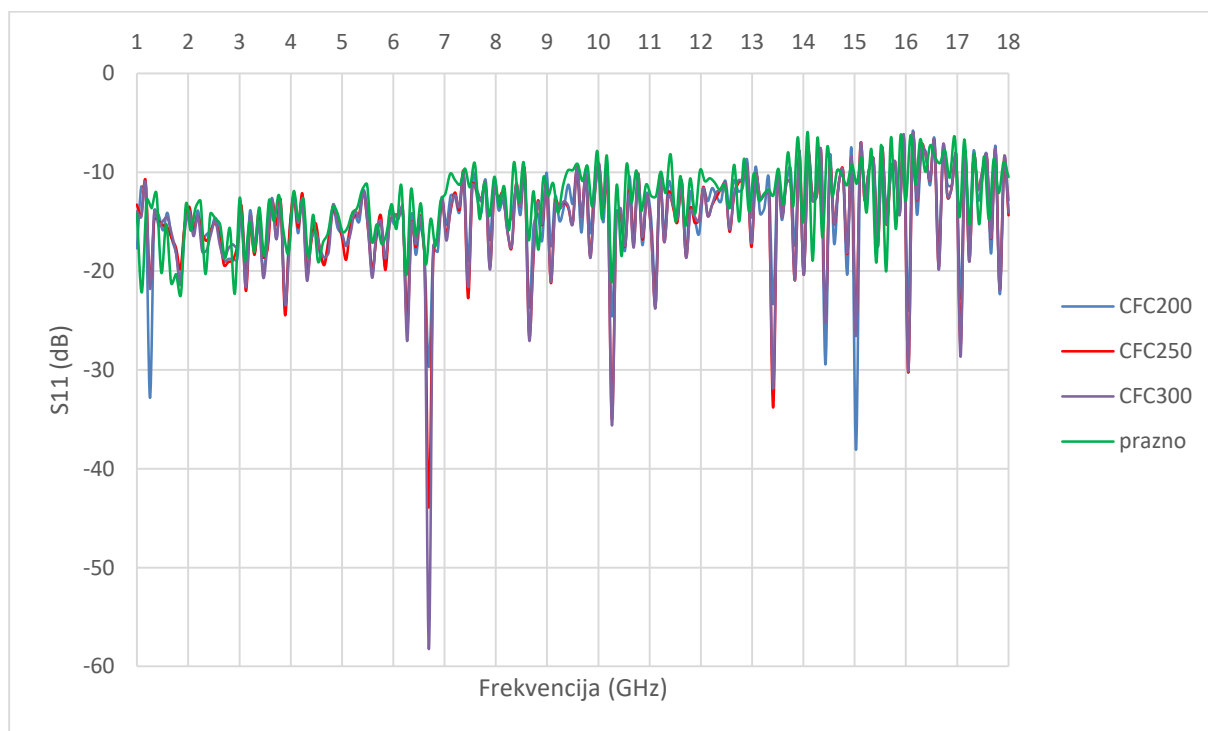
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na CFC 250
CFC 200	-46,08 dB	0,91 GHz	DJELOMIČNO UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 250)	CFC 250/1,34
CFC 250	-61,9 dB	0,43 GHz		-
CFC 300	-53,5 dB	0,89 GHz		CFC 250/1,16
prazno	-35,4 dB	0,86 GHz		CFC 250/1,75

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,45 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -28,93 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača CFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -31,71 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,35 GHz i iznosi -32,62 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,35 GHz i iznosi -24,6 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača uglavnom utječe na zaštitu od EM zračenja, iako su vrijednosti koeficijenta transmisije S21 od sva tri uzorka približne. U tablici 3.48 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.48: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 200
CFC 200	-28,93 dB	0,45 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 300)	CFC 200/1,13
CFC 250	-31,71 dB	0,33 GHz		CFC 200/1,03
CFC 300	-32,62 dB	0,35 GHz		-
prazno	-24,6 dB	0,35 GHz		CFC 200/1,33

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjenog Hyperlog antenom (antena kojom su provedena mjerenja u frekvencijskom opsegu od 1 do 18 GHz) kod uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima kao i usporedba koeficijenata refleksije S_{11} EM zračenja uzoraka nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.46. Sa slike 3.46 se vidi kako je refleksija za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima vrlo slična za veliku većinu frekvencija. Sa slike 3.46 je vidljivo kako uzorak plošnog nosača pojačan ugljičnim vlaknima ništa bolje ne reflektira EM zračenje od praznog okvira te se može zaključiti kako ugljična vlakna nemaju značajnog utjecaja na refleksiju EM vala. Također je na slikama vidljivo kako debljina uzorka plošnog nosača ne pridonosi refleksiji EM zračenja.



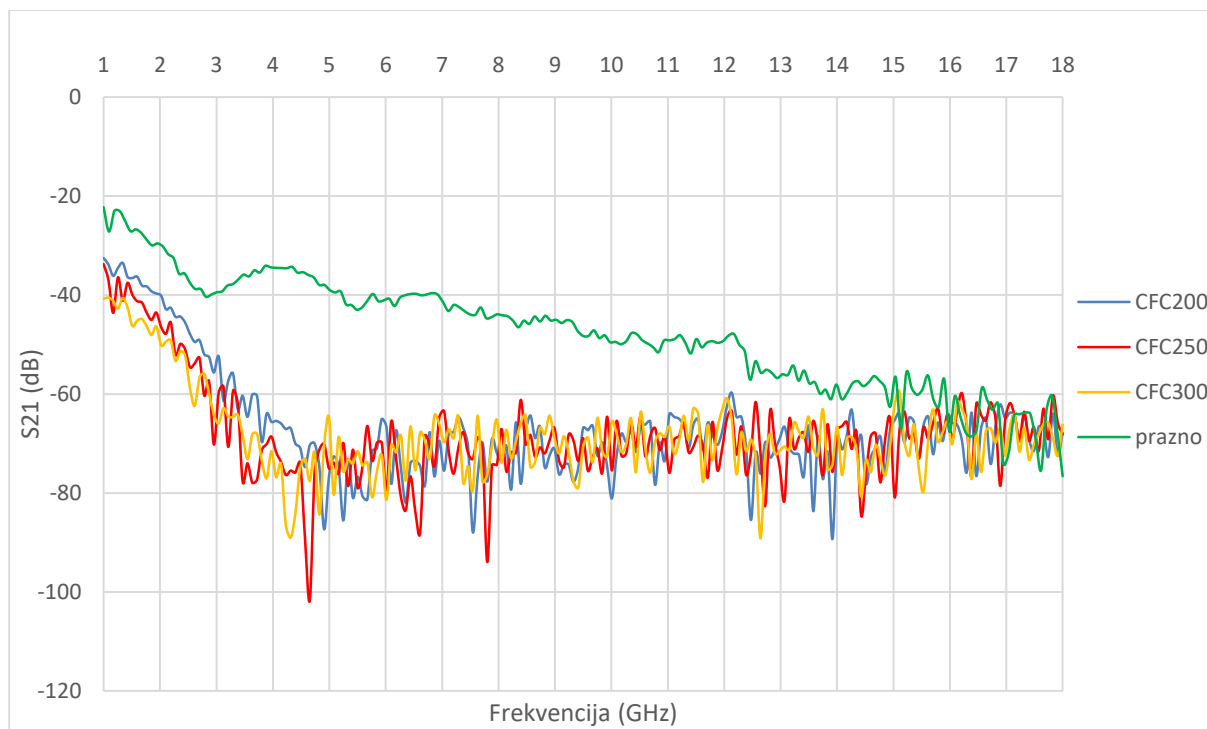
Slika 3.46: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjenih Hyperlog antenom

Najlošija svojstva refleksije pokazuje uzorak plošnog nosača CFC 300, koji pri frekvenciji od 6,7 GHz ima najnižu vrijednost koeficijenta refleksije S11 i iznosi -58,25 dB. Kod uzorka plošnog nosača CFC 200 koeficijent refleksije S11 iznosi -29,72 dB, dok kod uzorka plošnog nosača CFC 250 pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S11 iznosi -43,92 dB. Tablični prikaz koeficijenata transmisije za uzorke plošnog nosača pojačane ugljičnim vlaknima i prazni otvor pri frekvenciji 6,7 GHz prikazan je u tablici 3.49.

Tablica 3.49: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima pri frekvenciji 6,7 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Utječe li debljina uzorka na refleksiju?	Za koliko se smanji S11 u odnosu na CFC 200
CFC 200	-29,82 dB	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje CFC 200)	-
CFC 250	-43,92 dB		1,48 x CFC 200
CFC 300	-58,25 dB		1,95 x CFC 200
prazno	-39,88 dB		1,34 x CFC 200

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima kao i usporedba koeficijenata transmisije S21 EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih debljina prikazani su na slici 3.47. Sa slike 3.47 se vidi kako je koeficijent transmisije S21 za različite debljine uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima sličan za većinu frekvencija, najbolja svojstva pokazuje uzorak plošnog nosača CFC 250, što znači kako debljina uzorka plošnog nosača nema nikakvog utjecaja na koeficijent transmisije S21. Također se vidi kako se koeficijent transmisije S21 uzoraka plošnih nosača uvelike razlikuje od koeficijenta transmisije S21 kroz prazan okvir, što znači kako uzorak plošnog nosača pojačan ugljičnim vlaknima pruža zaštitu od prodora EM zračenja. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama do 16 GHz gdje je puno bolja zaštita uzoraka plošnih nosača u odnosu na prazan okvir.



Slika 3.47: Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima različitih debljina s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača CFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,96 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,67 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača CFC 250 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 2,96 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -70,19 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 300 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji od 2,96 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja iznosi -64,19 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 2,81 GHz i iznosi -40,36 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok debljina uzorka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja s obzirom da najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača SFC 250 ima

najbolja svojstva zaštite od EM zračenja. U tablici 3.50 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.50: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na CFC 250
CFC 200	-55,67 dB	2,96 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 250)	CFC 250/1,26
CFC 250	-70,19 dB	2,96 GHz		-
CFC 300	-64,19 dB	2,96 GHz		CFC 250/1,09
prazno	-40,36 dB	2,81 GHz		CFC 250/1,74

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -32,56 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača CFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,76 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 1,09 GHz i iznosi -40,49 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -22,25 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.51 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.51: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na CFC 300
CFC 200	-32,56 dB	1 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 300)	CFC 300/1,24
CFC 250	-33,76 dB	1 GHz		CFC 300/1,2
CFC 300	-40,49 dB	1,09 GHz		-
prazno	-22,25 dB	1 GHz		CFC 300/1,82

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača CFC 250 kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pri frekvenciji od 4,65 GHz i iznosi -101,72 dB. Najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača CFC 200 je pri frekvenciji 13,92 GHz i iznosi -89,29 dB, dok uzorak plošnog nosača CFC 300 ima najnižu vrijednost koeficijenta transmisije S21 pri frekvenciji 12,65 GHz i iznosi -89,22 dB. Ovi rezultati su dokaz kako debljina uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima nema utjecaja na zaštitu od EM zračenja. Najnižu vrijednost koeficijenta transmisije S21 prazni okvir ima pri frekvenciji 18 GHz i iznosi -76,60 dB, što predstavlja puno lošija svojstva transmisije u odnosu na uzorke plošnog nosača. Rezultati pokazuju kako uzorci plošnog nosača pojačani ugljičnim vlaknima dobro štite od prodora EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Tablični prikaz koeficijenata transmisije S21 za uzorke plošnog nosača pojačane ugljičnim vlaknima i prazni otvor prikazan je u tablici 3.52.

Tablica 3.52: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na CFC 250
CFC 200	-89,29 dB	13,92 GHz	NE UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 250)	CFC 250/1,14
CFC 250	-101,72 dB	4,65 GHz		-
CFC 300	-89,22 dB	12,65 GHz		CFC 250/1,14
prazno	-76,60 dB	18 GHz		CFC 250/1,33

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 3,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -52,41 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača CFC 250 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 3,13 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -58,49 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 300 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 15,11 GHz i iznosi -59,52 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 3,87 GHz i iznosi -34,1 dB. U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača uglavnom pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja iako nema velikih razlika u vrijednostima minimalnih koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača. U tablici 3.53 prikazane su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.53: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Utječe li debljina uzorka na transmisiju?	Za koliko se poveća S21 u odnosu na CFC 300
CFC 200	-52,41 dB	3,04 GHz	UTJEČE (najbolja svojstva pokazuje uzorak CFC 300)	CFC 300/1,14
CFC 250	-58,49 dB	3,13 GHz		CFC 300/1,02
CFC 300	-59,52 dB	15,11 GHz		-
prazno	-34,1 dB	3,87 GHz		CFC 300/1,75

Iz navedenih rezultata zaključuje se kako uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima pružaju zaštitu od EM zračenja, ali s obzirom kako za većinu frekvencija bolju zaštitu od EM zaštitu pruža uzorak plošnog nosača CFC 250 u odnosu na uzorak plošnog nosača CFC 300 zaključuje se kako debljina uzorka ne utječe na zaštitu od EM zračenja. Također se zaključuje kako uzorci plošnog nosača pojačani čeličnim vlaknima imaju sposobnost upijanja EM zračenja. Uzorci plošnog nosača imaju sličan koeficijent refleksije u odnosu na prazni okvir, a manji koeficijent transmisije u odnosu na prazan okvir, što je dokaz kako uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju sposobnost upijanja EM zračenja.

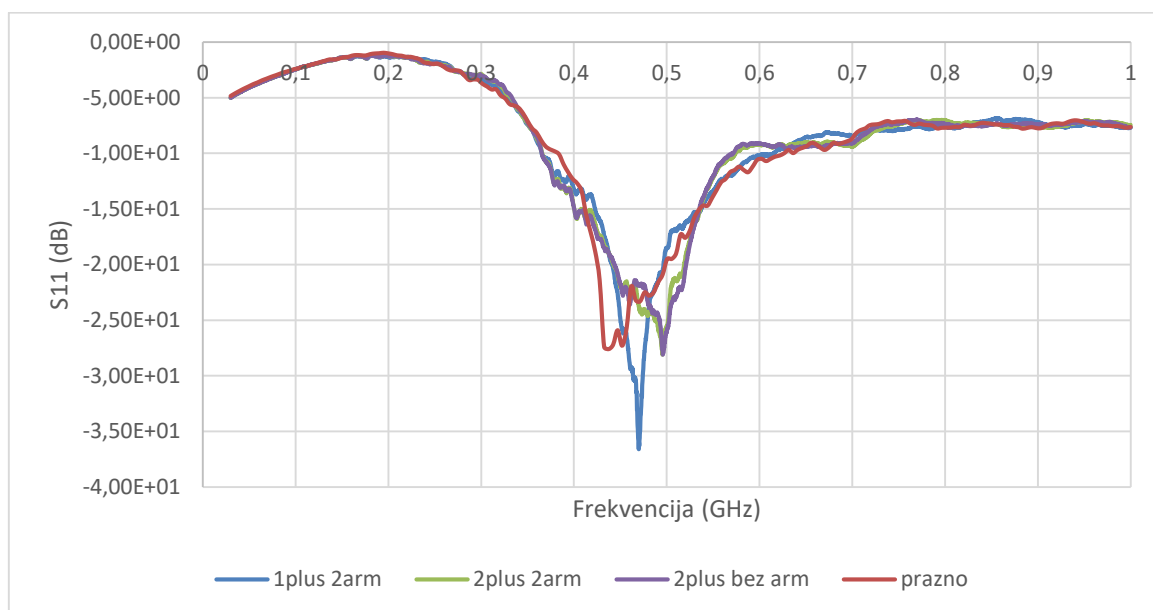
3.2.5 Uzorci plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Ispitani su uzorci plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom Q785 i s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima klase S235. Ostale debljine nisu ispitivane iz razloga jer je dovoljna samo jedna debljina uzorka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima kako bi se usporedili međusobno i s prije opisanim uzorcima plošnih nosača jednake debljine. Ispitana su tri uzorka plošnih nosača (opisani u točki 3.1.2):

- uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim jednim slojem mikrovalnih rezonatora uz gornji sloj armature (1plus 2arm),
- uzorak plošnog nosača armiran s dva sloja armature i s ugrađenim dva sloja mikrovalnih rezonatora (2plus 2arm),
- uzorak plošnog nosača s ugrađenim dva sloja mikrovalnih rezonatora (2plus bez arm).

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicollog antenom kod uzorka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 i križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima kao i usporedba koeficijenata refleksije S_{11} EM zračenja uzorka plošnih nosača različitih pojačanja prikazani su na slici 3.48. Sa slike 3.48 se vidi kako je koeficijent refleksije S_{11} za različita pojačanja uzorka plošnog nosača vrlo sličan za veliku većinu frekvencija. Razlike su najvidljivije pri frekvencijama od 0,44 do

0,534 GHz. U tom rasponu refleksija uzorka plošnog nosača 1plus 2arm pokazuje različite rezultate u odnosu na preostala dva uzorka plošnog nosača. Sa slike 3.48 je vidljivo kako nema velike razlike između koeficijenata refleksije S11 EM zračenja uzoraka plošnih nosača armiranih s mrežastom armaturom Q785 i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na koeficijente refleksije S11 praznog okvira. Razlika je jedino vidljiva kad je u pitanju uzorak plošnog nosača 1plus 2arm.



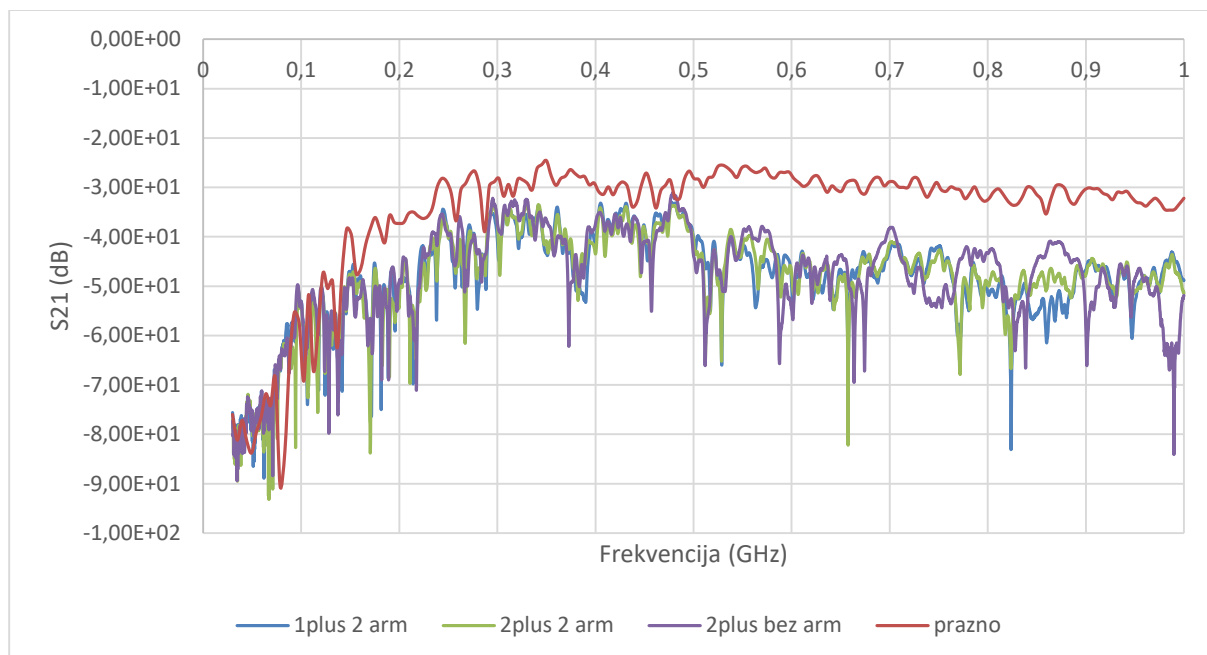
Slika 3.48: Usporedba koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom refleksije S11 praznog okvira mjerenih Bicolog antenom

Najnižu refleksiju pokazuje uzorak plošnog nosača 1plus 2arm, koji pri frekvenciji od 0,47 GHz ima najnižu vrijednost koeficijenta refleksije S11 i iznosi -36,6 dB. Kod uzorka plošnog 2plus 2arm koeficijent refleksije S11 iznosi -23,80 dB, dok kod uzorka plošnog nosača 2plus bez arm pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S11 iznosi -21,90 dB. Tablični prikaz koeficijenata refleksije za uzorke plošnog nosača u koje su ugrađeni mikrovalni rezonatori i prazni otvor pri frekvenciji 0,47 GHz prikazan je u tablici 3.54.

Tablica 3.54: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima pri frekvenciji 0,47 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije	Najbolja svojstva refleksije	Za koliko se smanji S11 u odnosu na 2plus bez arm
1plus 2arm	-36,6 dB	2plus bez arm	1,67 x 2plus bez arm
2plus 2arm	-23,8 dB		1,09 x 2plus bez arm
2plus bez arm	-21,9 dB		-
prazno	-23,3 dB		1,06 x 2plus bez arm

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 i s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima mjerene Bicollog antenom kao i usporedba koeficijenta transmisije S21 EM zračenja uzoraka nosača različitih pojačanja prikazani su na slici 3.49. Za različite ugradnje u uzorke plošnih nosača transmisija je slična za većinu frekvencija. Sa slike 3.49 vidi se kako sva tri uzorka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima imaju jako slične koeficijente transmisije S21. Sa slike 3.49 se također vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima itekako pružaju zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama većim od 0,5 GHz.



Slika 3.49: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom transmisije S_{21} praznog okvira mjerenih Bicolog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji malo manjoj od 0,07 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -90,5 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 0,07 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -93,2 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm pokazuje najbolja svojstva transmisije EM zračenja pri frekvenciji od 0,03 GHz i pri toj frekvenciji najniža vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} iznosi -89,4 dB. Najmanji koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,08 GHz i iznosi -90,5 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzorci plošnih nosača imaju uglavnom pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, bez obzira što je najniži koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira ima sličan koeficijent transmisije S_{21} kao uzorci plošnog nosača (sa slike 3.37 vidi se kako prazan okvir većinom ima slabija svojstva transmisije u promatranom spektru). U tablici 3.55 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.55: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus 2arm
1plus 2arm	-90,5 dB	0,07 GHz	2plus 2arm	2plus 2arm/1,03
2plus 2arm	-93,2 dB	0,07 GHz		-
2plus bez arm	-89,4 dB	0,03 GHz		2plus 2arm/1,04
prazno	-90,5 dB	0,08 GHz		2plus 2arm/1,03

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,24 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -34,4 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,4 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i iznosi -32,2 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,28 GHz i iznosi -26,8 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.56 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.56: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1plus 2arm
1plus 2arm	-34,4 dB	0,24 GHz	1plus 2arm	-
2plus 2arm	-33,4 dB	0,3 GHz		1plus 2arm/1,03
2plus bez arm	-32,2 dB	0,3 GHz		1plus 2arm/1,07
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		1plus 2arm/1,28

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Bicollog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,82 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -83,1 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,66 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -82,2 dB, dok uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najbolja svojstva transmisije EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,99 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -84,1 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,86 GHz i iznosi -35,4 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Bicollog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima imaju vrlo pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.57 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom. Iz tablice 3.57 vidi se kako sva tri uzorka s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima imaju sličan minimalni koeficijent transmisije S21, puno manji u odnosu na koeficijent transmisije praznog okvira, što znači kako navedeni uzorci pružaju međusobno sličnu zaštitu od prodora EM zračenja koja je znatno bolja u odnosu na prazan okvir.

Tablica 3.57: Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije

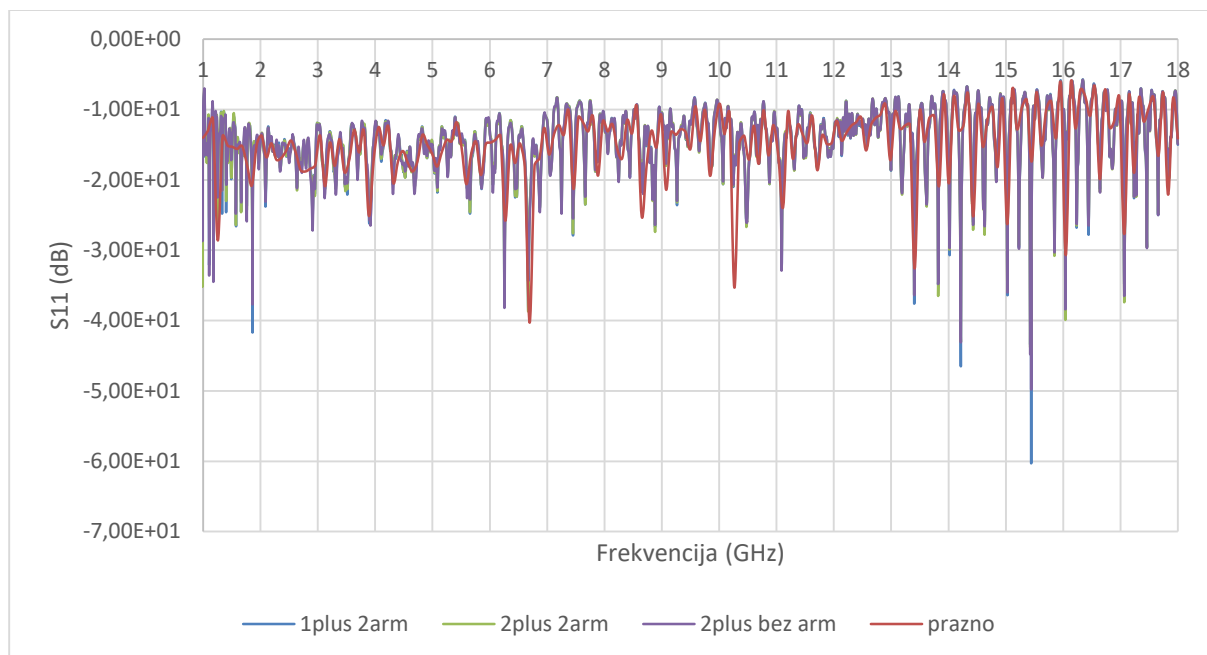
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus bez arm
1plus 2arm	-83,1 dB	0,82 GHz	2plus bez arm	2plus bez arm/1,01
2plus 2arm	-82,2 dB	0,6 GHz		2plus bez arm/1,02
2plus bez arm	-84,1 dB	0,99 GHz		-
prazno	-35,4 dB	0,86 GHz		2plus bez arm/2,38

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,48 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,2 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,48 GHz i iznosi -31,1 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,35 GHz i iznosi -24,6 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju također pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.58 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.58: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1plus 2arm
1plus 2arm	-33 dB	0,48 GHz	1plus 2arm	-
2plus 2arm	-31,71 dB	0,33 GHz		1plus 2arm/1,04
2plus bez arm	-32,62 dB	0,35 GHz		1plus 2arm/1,01
prazno	-24,6 dB	0,35 GHz		1plus 2arm/1,04

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S11 EM zračenja mjerene Hyperlog antenom kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 i s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima kao i usporedba refleksija EM zračenja uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja prikazani su na slici 3.50. Sa slike 3.50 se vidi kako je koeficijent refleksije S11 za različite ugradnje u uzorak plošnog nosača vrlo sličan za veliku većinu frekvencija. Također je vidljivo kako uglavnom nema velike razlike između koeficijenta refleksije S11 EM zračenja uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na koeficijent refleksije S11 praznog okvira. Razlike se javljaju samo povremeno, pri pojedinim frekvencijama, ali gledajući kontinuitet i većinu frekvencija, sličan je koeficijent refleksije S11.



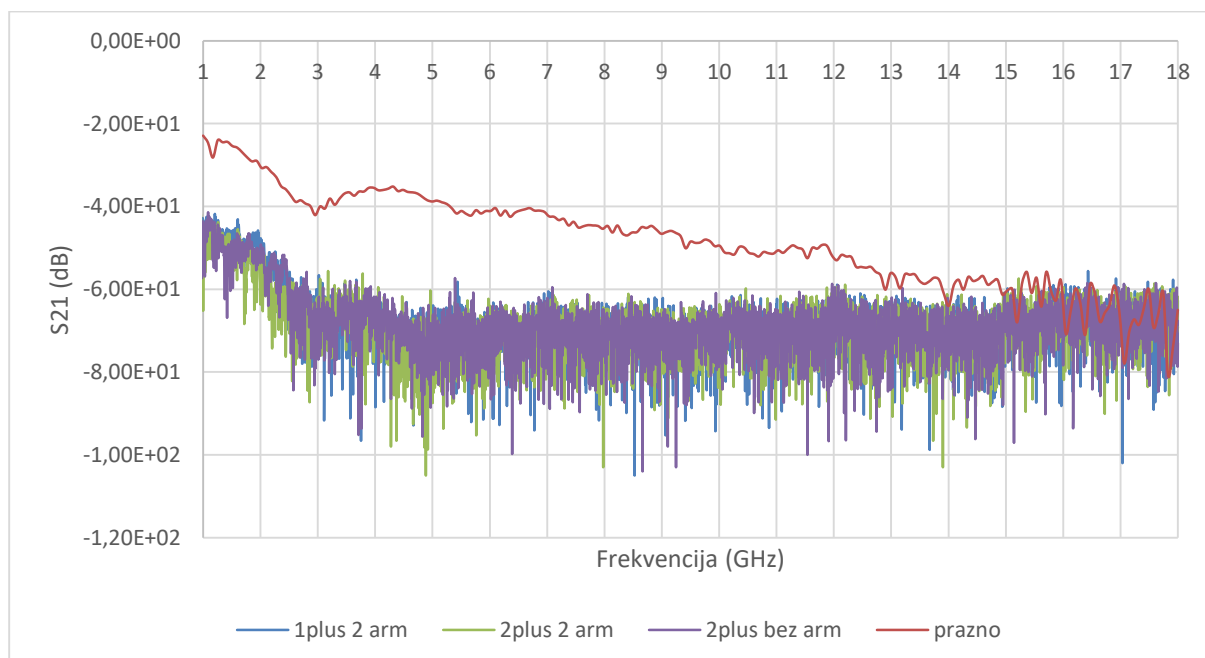
Slika 3.50: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom refleksije S_{11} praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

Za nijansu najnižu refleksiju pokazuje uzorak plošnog nosača 1plus 2arm, koji najmanju vrijednost koeficijenta refleksije S_{11} ima pri frekvenciji od 15,44 GHz i iznosi -60,3 dB. Pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača armiranog s dva sloja mrežaste armature Q785 i s ugrađena dva sloja čeličnih mikrovalnih rezonatora iznosi -44,7 dB, dok koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača s ugrađena dva sloja čeličnih mikrovalnih rezonatora iznosi od -49,8 dB. Pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije praznog okvira iznosi -59,9 dB. U tablici 3.59 prikazani su koeficijenti refleksije za uzorke plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i prazan okvir pri frekvenciji 15,44 GHz.

Tablica 3.59: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima pri frekvenciji 15,44 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije	Najbolja svojstva refleksije	Za koliko se smanji S11 u odnosu na 2plus 2arm
1plus 2arm	-60,3 dB	2plus 2arm	1,35 x 2plus 2arm
2plus 2arm	-44,7 dB		-
2plus bez arm	--49,8 dB		1,11 x 2plus 2arm
prazno	-59,9 dB		1,34 x 2plus 2arm

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja kod uzoraka plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 i s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima mjerene Hyperlog antenom kao i usporedba refleksija EM zračenja nosača različitih pojačanja prikazani su na slici 3.51. Sa slike 3.51 se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima itekako pružaju zaštitu od prodora EM zračenja. Posebno je to vidljivo pri frekvencijama do 15,0 GHz.



Slika 3.51: Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s koeficijentom transmisije S21 praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,9 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -78,7 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 2,86 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -87,3 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji od 2,57 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja iznosi -84,4 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 2,81 GHz i iznosi -40,36 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju vrlo pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.60 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih ugljičnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.60: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1plus 2arm
1plus 2arm	-78,7 dB	2,9 GHz	2plus 2arm	-
2plus 2arm	-87,3 dB	2,86 GHz		1plus 2arm/1,04
2plus bez arm	-84,4 dB	2,57 GHz		1plus 2arm/1,01
prazno	-40,36 dB	2,81 GHz		1plus 2arm/1,04

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1,2 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -41,8 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 1,26 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -43,8 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri

frekvenciji od 1,09 GHz i iznosi -41,4 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -22,25 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pojačani ugljičnim vlaknima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i debljina uzorka plošnog nosača pozitivno utječe na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.61 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača pojačanih čeličnim vlaknima u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.61: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus 2arm
1 plus 2arm	-41,8 dB	1,2 GHz	2plus 2arm	2plus 2arm/1,05
2plus 2arm	-43,8 dB	1,26 GHz		-
2plus bez arm	-41,4 dB	1,09 GHz		2plus 2arm/1,06
prazno	-22,25 dB	1 GHz		2plus 2arm/1,97

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača 1 plus 2arm kod kojega je najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pri frekvenciji od 8,53 GHz i iznosi -105 dB. Najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača 2plus 2arm je pri frekvenciji 4,88 GHz i iznosi -105 dB, dok uzorak plošnog nosača 2plus bez arm ima najnižu vrijednost koeficijenta transmisije S21 pri frekvenciji 8,66 GHz i iznosi -104 dB. Najnižu vrijednost koeficijenta transmisije S21 prazni okvir ima pri frekvenciji 18 GHz i iznosi -76,60 dB, što predstavlja puno lošija svojstva transmisije u odnosu na uzorke plošnog nosača. Rezultati pokazuju kako uzorci plošnog nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima vrlo dobro štite od prodora EM zračenja u odnosu na prazan

okvir. Tablični prikaz koeficijenata transmisije S21 za uzorke plošnog nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i prazni otvor prikazan je u tablici 3.62.

Tablica 3.62: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1 (2)plus 2arm
1plus 2arm	-105 dB	8,53 GHz	1plus 2arm i 2plus 2arm	-
2plus 2arm	-105 dB	4,88 GHz		-
2plus bez arm	-104 dB	8,66 GHz		1 (2)plus 2arm/1,01
prazno	-76,60 dB	18 GHz		1 (2)plus 2arm/1,37

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 16,43 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,6 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 3,18 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi također -55,6 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 5,39 GHz i iznosi -57,3 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 3,87 GHz i iznosi -34,1 dB. U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.63 prikazane su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u spektru super visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.63: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus bez arm
1plus 2arm	-55,6 dB	16,43 GHz	2plus bez arm	2plus bez arm/1,03
2plus 2arm	-55,6 dB	3,18 GHz		2plus bez arm/1,03
2plus bez arm	-57,3 dB	5,39 GHz		-
prazno	-34,1 dB	3,87 GHz		2plus bez arm/1,68

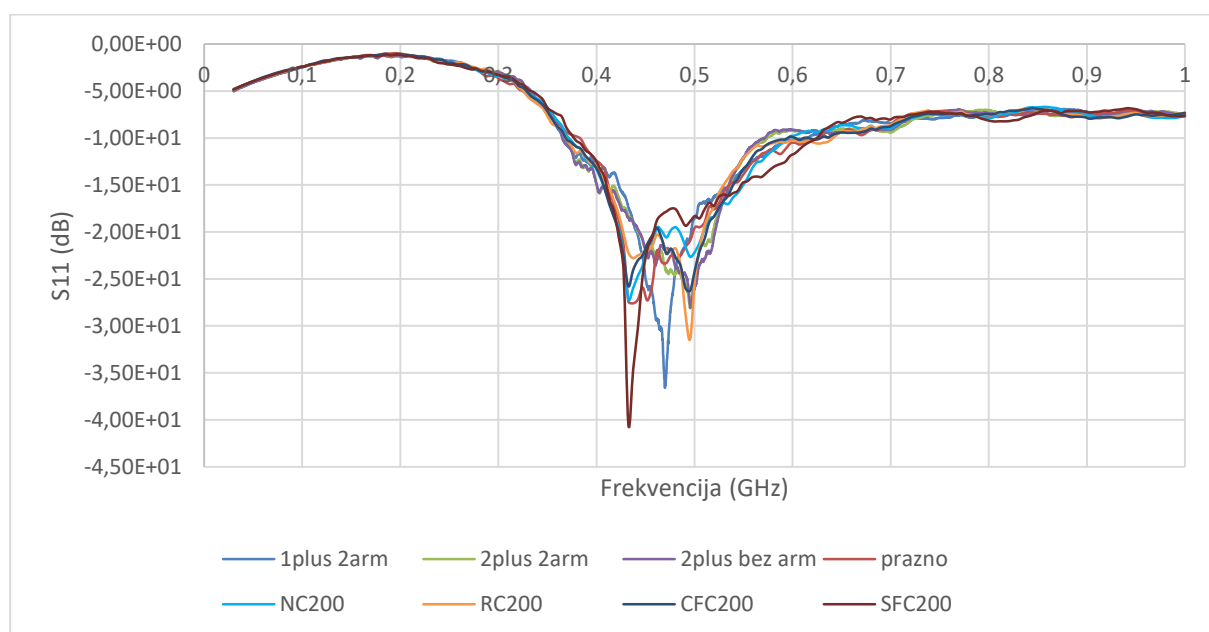
Iz navedenih rezultata vidljivo je kako plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima pružaju sličnu zaštitu na prodor EM zračenja, kao i da je zaštita na prodor EM zračenja tih uzoraka vrlo dobra u odnosu na prazan okvir.

Iz rezultata se vidi kako su uzorci plošnih nosača u koje su ugrađeni križni čelični mikrovalni rezonatori pokazali najbolja svojstva zaštite od EM zračenja. Također je očito kako debljina uzoraka plošnog nosača uglavnom ne utječe na zaštitu od EM zračenja, a može se vidjeti kako svi uzorci plošnih nosača pozitivno utječu na zaštitu od EM zračenja.

3.2.6 Usporedba uzoraka plošnih nosača jednakih debljina različitih pojačanja

U ovoj točki uspoređeni su rezultati koeficijenata refleksije S11 i koeficijenata transmisije S21 kod EM zračenja uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima s rezultatima koeficijenata refleksije S11 i koeficijenata transmisije S21 nearmiranog uzorka plošnog nosača NC 200, uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 u dva sloja RC 200, uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima SFC 200, uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima CFC 200 i praznog okvira. Debljina svih navedenih uzoraka plošnih nosača jednaka je i iznosi 20 cm, kako bi se bolje vidio utjecaj određenog pojačanja unutar uzorka plošnog nosača na zaštitu od EM zračenja.

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicollog antenom uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja i praznog okvira prikazani su na slici 3.52. Sa slike 3.52 se vidi kako je koeficijent refleksije S_{11} za različita pojačanja uzorka plošnog nosača vrlo sličan za veliku većinu frekvencija i kako navedeni plošni nosači imaju vrlo slična i približno jednaka svojstva refleksije.



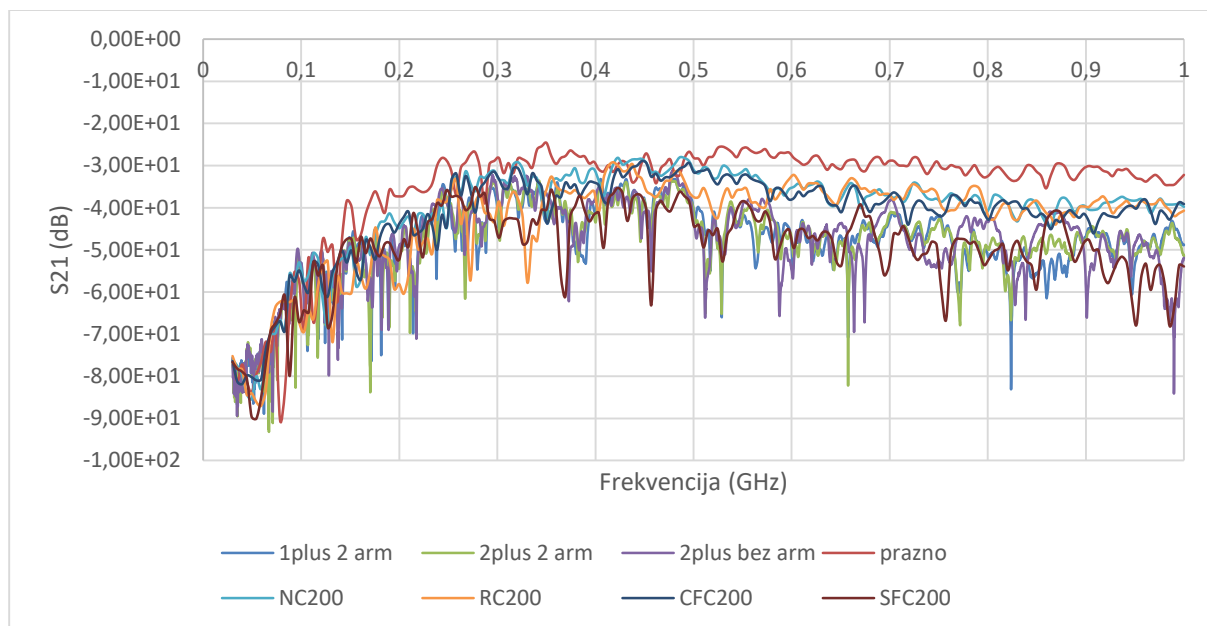
Slika 3.52: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Bicollog antenom

Pri frekvenciji 0,5 GHz za uzorak plošnog nosača NC 200 koeficijent refleksije S_{11} iznosi -22,1 dB, za uzorak plošnog nosača RC 200 koeficijent refleksije S_{11} iznosi -25 dB, koeficijent refleksije uzorka plošnog nosača SFC 200 iznosi -18,3 dB, koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača CFC 200 iznosi -24,03 dB, koeficijent refleksije S_{11} plošnog nosača 1plus 2arm iznosi -18,5 dB, koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača 2plus 2arm iznosi -25,5 dB, koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača 2plus bez arm iznosi -26 dB, a koeficijent refleksije S_{11} praznog okvira iznosi -19,5 dB. Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} svih uzoraka plošnih nosača i praznog okvira prikazana je u tablici 3.64. Iz tablice 3.64 se također vidi kako uzorci plošnog nosača nemaju utjecaj na refleksiju EM zračenja.

Tablica 3.64: Tablični prikaz koeficijenata refleksije S11 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) mjerenih Bicolog antenom pri frekvenciji 0,5 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S21	Najbolja svojstva refleksije	Za koliko se smanji S11 u odnosu na 1plus 2arm
NC 200	-22,1 dB	SFC 200	1,21 x SFC
RC 200	-25 dB		1,37 x SFC
SFC 200	-18,3 dB		-
CFC 200	-24,03 dB		1,31 x SFC
1plus 2arm	-18,5 dB		1,01 x SFC
2plus 2arm	-25,5 dB		1,39 x SFC
2plus bez arm	-26 dB		1,42 x SFC
prazno	-19,5 dB		1,07 x SFC

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja navedenih uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja i praznog okvira mjerenih Bicolog antenom prikazani su na slici 3.53. Sa slike 3.53 se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju bolja svojstva na zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na uzorak plošnog nosača NC 200, uzorak plošnog nosača RC 200, uzorak plošnog nosača SFC 200 i uzorak plošnog nosača CFC 200. To je izraženo za frekvencije veće od 0,57 GHz. Ovo je dokaz kako čelični mikrovalni rezonatori kojima su pojačani uzorci plošnih nosača pružaju veću zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na armaturu, čelična i ugljična vlakna kao i kako su navedeni mikrovalni rezonatori bitni za povećanje zaštite od EM zračenja.



Slika 3.53: Usporedba koeficijenta transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Bicollog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača NC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -85,39 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 200 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -87 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 200 najbolja svojstva transmisije ima također pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -90,07 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -81,86 dB. Uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji malo manjoj od 0,07 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -90,5 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 0,07 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -93,2 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm pokazuje najbolja svojstva transmisije EM zračenja pri frekvenciji od 0,03 GHz i pri toj frekvenciji najniža vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} iznosi -89,4 dB. Najmanji koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,08 GHz i iznosi -90,5 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzorci plošnih nosača imaju uglavnom pozitivan utjecaj na zaštitu od

EM zračenja, bez obzira što je najniži koeficijent transmisije S21 praznog okvira ima sličan koeficijent transmisije S21 kao uzorci plošnog nosača (sa slike 3.53 vidi se kako prazan okvir većinom ima slabija svojstva transmisije u promatranom spektru). Također prema ovim rezultatima uzorak plošnog nosača 2plus 2arm pruža najbolju zaštitu u odnosu na ostale uzorke plošnih nosača. U tablici 3.65 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača i praznog okvira u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.65: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus 2arm
NC 200	-85,39 dB	0,05 GHz	2plus 2arm	2plus 2arm/1,09
RC 200	-87 dB	0,05 GHz		2plus 2arm/1,07
SFC 200	-90,07 dB	0,05 GHz		2plus 2arm/1,03
CFC 200	-81,86 dB	0,04 GHz		2plus 2arm/1,14
1plus 2arm	-90,5 dB	0,07 GHz		2plus 2arm/1,03
2plus 2arm	-93,2 dB	0,07 GHz		-
2plus bez arm	-89,4 dB	0,03 GHz		2plus 2arm/1,04
prazno	-90,5 dB	0,08 GHz		2plus 2arm/1,03

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -31,22 dB. Uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,26 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,4 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,28 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -35,11 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -31,44 dB. Uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,24 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -34,4 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije

S21 iznosi -33,4 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i iznosi -32,2 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,28 GHz i iznosi -26,8 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.66 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.66: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 200
NC 200	-31,22 dB	0,3 GHz	SFC 200	SFC 200/1,12
RC 200	-33,4 dB	0,26 GHz		SFC 200/1,05
SFC 200	-35,11 dB	0,28 GHz		-
CFC 200	-31,44 dB	0,3 GHz		SFC 200/1,12
1plus 2arm	-34,4 dB	0,24 GHz		SFC 200/1,02
2plus 2arm	-33,4 dB	0,3 GHz		SFC 200/1,05
2plus bez arm	-32,2 dB	0,3 GHz		SFC 200/1,09
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		SFC 200/1,31

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) minimalna vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača NC 200 iznosi -44,31 dB pri frekvenciji 0,86 GHz, uzorka plošnog nosača RC 200 iznosi -57,8 dB pri frekvenciji 0,33 GHz, uzorka plošnog nosača SFC 200 iznosi -68,09 dB pri frekvenciji 0,99 GHz, uzorka plošnog nosača CFC 200 iznosi -46,08 dB pri frekvenciji 0,91 GHz, uzorka plošnog nosača 1plus 2arm iznosi -83,1 dB pri frekvenciji 0,82 GHz, uzorka plošnog nosača 2plus 2arm iznosi -82,2 dB pri frekvenciji 0,66 GHz, uzorka plošnog nosača 2plus bez arm iznosi -84,1 dB pri frekvenciji 0,99 GHz, dok minimalni koeficijent transmisije S21 praznog okvira iznosi -35,4 dB pri frekvenciji 0,86 GHz. Iz ovih rezultata najbolje se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima pokazuju

najbolju zaštitu od EM zračenja, dok i ostali uzorci pružaju zaštitu u odnosu na prazan uzorak. Također se vidi kako dodaci betonu poboljšavaju zaštitu od EM zračenja. Minimalni koeficijenti transmisije S21 za navedene uzorke plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prikazani su u tablici 3.67.

Tablica 3.67: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus bez arm
NC 200	-44,31 dB	0,86 GHz	2plus bez arm	2plus bez arm/1,9
RC 200	-57,8 dB	0,33 GHz		2plus bez arm/1,46
SFC 200	-68,09 dB	0,99 GHz		2plus bez arm/1,23
CFC 200	-46,08 dB	0,91 GHz		2plus bez arm/1,83
1plus 2arm	-83,1 dB	0,82 GHz		2plus bez arm/1,01
2plus 2arm	-82,2 dB	0,6 GHz		2plus bez arm/1,02
2plus bez arm	-84,1 dB	0,99 GHz		-
prazno	-35,4 dB	0,86 GHz		2plus bez arm/2,38

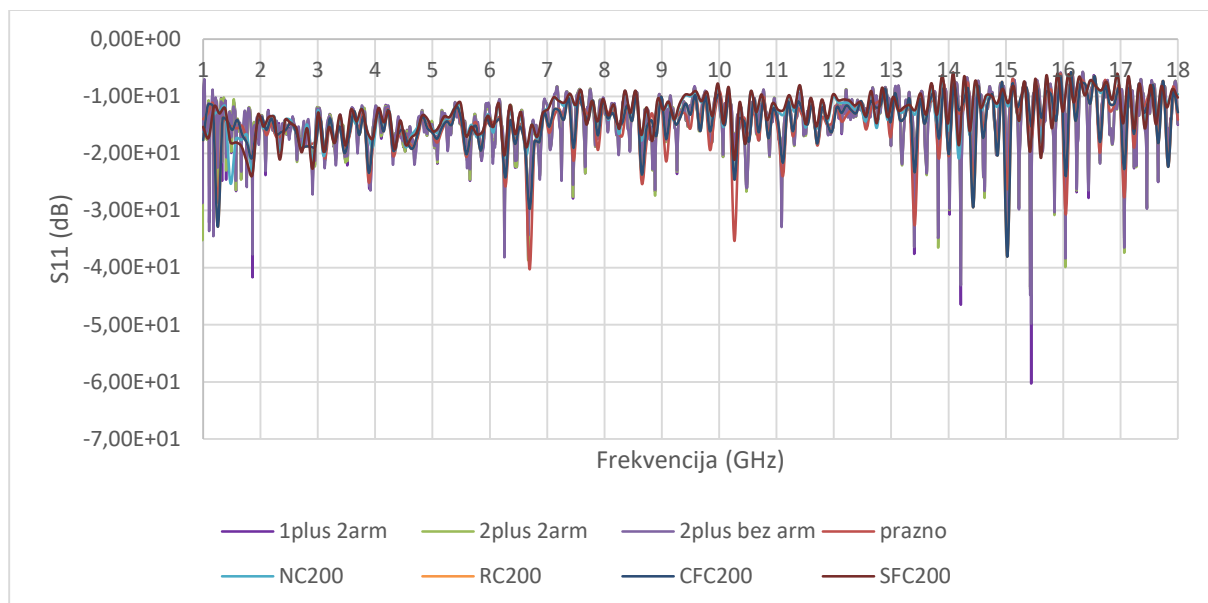
U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,49 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -28,04 dB. Uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,42 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -29,2 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,42 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -35,26 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,45 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -28,93 dB. Uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,48 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33 dB, uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -33,2 dB, dok uzorak plošnog nosača 2plus bez arm

najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,48 GHz i iznosi -31,1 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,35 GHz i iznosi -24,6 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju također pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.68 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača debljine 20 cm u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.68: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 200
NC 200	-28,04 dB	0,49 GHz	SFC 200	SFC 200/1,26
RC 200	-29,2 dB	0,42 GHz		SFC 200/1,21
SFC 200	-35,26 dB	0,42 GHz		-
CFC 200	-28,93 dB	0,45 GHz		SFC 200/1,22
1plus 2arm	-33 dB	0,48 GHz		SFC 200/1,07
2plus 2arm	-31,71 dB	0,33 GHz		SFC 200/1,11
2plus bez arm	-32,62 dB	0,35 GHz		SFC 200/1,08
prazno	-24,6 dB	0,35 GHz		SFC 200/1,43

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S11 EM zračenja mjerene Hyperlog antenom navedenih uzoraka plošnih nosača i praznog okvira prikazani su na slici 3.54. Sa slike 3.54 se vidi kako je refleksija za različita pojačanja uzorka plošnog nosača vrlo slična za veliku većinu frekvencija.



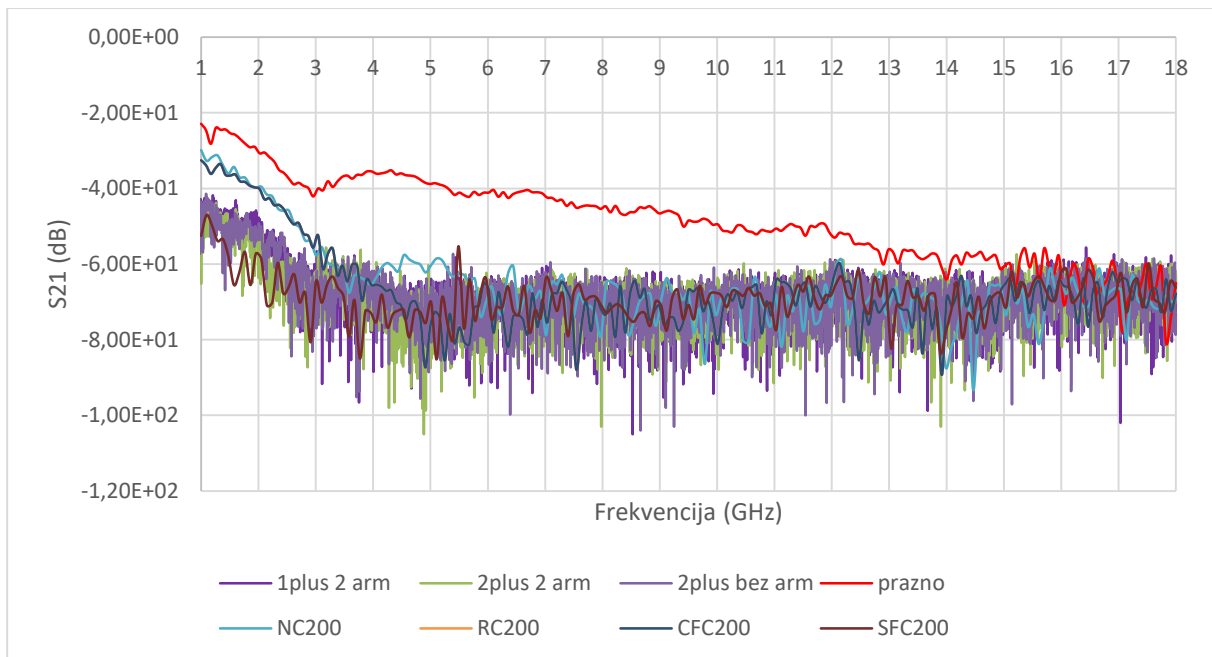
Slika 3.54: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Hyperlog antenom

U tablici 3.69 prikazani su izmjereni koeficijenti refleksije S_{11} pri frekvenciji koja odgovara 5G mobilnoj mreži n78 (glavni komercijalni pojas u Europi). Pri toj frekvenciji vrijednosti koeficijenata refleksije S_{11} nearmiranog uzorka plošnog nosača iznosi -18,2 dB, uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 iznosi -18,4 dB, uzorka plošnog nosača pojačanog čeličnim vlaknima iznosi -18,6 dB, uzorka plošnog nosača pojačanog ugljičnim vlaknima iznosi -18,5 dB, uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 u dva sloja i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u jednom sloju iznosi -20,9 dB, uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u dva sloja iznosi -21 dB, uzorka plošnog nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u dva sloja iznosi -19,9 dB, dok minimalni koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira iznosi -18,1 dB. Iz rezultata se vidi kako uzorci plošnih nosača pokazuju čak blago negativna svojstva na refleksiju, što znači kako ne doprinose odbijanju EM zračenja, nego blagom privlačenju. Za nijansu najbolju sposobnost privlačenja EM zračenja pokazuju uzorci plošnih nosača u koje su ugrađeni mikrovalni rezonatori.

Tablica 3.69: Tablični prikaz vrijednosti koeficijenta refleksije S11 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) pri frekvenciji 3,5 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S11	Najbolja svojstva refleksije	Za koliko se smanji S11 u odnosu na 1plus 2arm
NC 200	-18,2 dB	prazno	1,01 x prazno
RC 200	-18,4 dB		1,02 x prazno
SFC	-18,6 dB		1,03 x prazno
CFC	-18,5 dB		1,02 x prazno
1plus 2arm	-20,9 dB		1,15 x prazno
2plus 2arm	-21,0 dB		1,16 x prazno
2plus bez arm	-19,9 dB		1,1 x prazno
prazno	-18,1 dB		-

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja navedenih uzoraka plošnih nosača i praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom prikazani su na slici 3.55. Sa slike 3.55 se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju bolja svojstva na zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na nearmirani uzorak plošnog nosača, uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785, uzorak plošnog nosača pojačan čeličnim vlaknima i uzorak plošnog nosača pojačan ugljičnim vlaknima: Posebno je to vidljivo za frekvencije između 8 i 10 GHz. Ovo je dokaz kako čelični mikrovalni rezonatori kojima su pojačani uzorci plošnih nosača pružaju veću zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na mrežastu armaturu, čelična i ugljična vlakna i pri većim frekvencijama. Također je vidljivo kako uzorci plošnih nosača s dodacima imaju bolju zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na nearmirani uzorak plošnog nosača, što znači kako dodaci betonu pozitivno utječu na zaštitu od EM zračenja.



Slika 3.55: Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm debljine) mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača NC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -53,94 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača RC 200 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji 2,95 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,67 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 200 najbolja svojstva transmisije ima također pri frekvenciji 2,91 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -80,65 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 200 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,96 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,67 dB. Uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji malo manjoj od 2,9 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -78,7 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 2,86 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -87,3 dB. Uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji od 2,57 GHz i pri toj frekvenciji vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja iznosi -84,4 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 2,81 GHz i iznosi -40,36 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21

uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja u odnosu na prazan okvir. Također prema ovim rezultatima uzorak plošnog nosača 2plus 2arm pruža najbolju zaštitu u odnosu na ostale uzorke plošnih nosača. U tablici 3.70 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača i praznog okvira u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.70: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus 2arm
NC 200	-53,94 dB	2,91 GHz	2plus 2arm	2plus 2arm/1,62
RC 200	-55,67 dB	2,95 GHz		2plus 2arm/1,57
SFC 200	-80,65 dB	2,91 GHz		2plus 2arm/1,08
CFC 200	-55,67 dB	2,96 GHz		2plus 2arm/1,57
1plus 2arm	-78,7 dB	2,9 GHz		2plus 2arm/1,11
2plus 2arm	-87,3 dB	2,86 GHz		-
2plus bez arm	-84,4 dB	2,57 GHz		2plus 2arm/1,03
prazno	-40,36 dB	2,81 GHz		2plus 2arm/2,16

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -29,86 dB. Uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima također pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -32,56 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1,1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -47,01 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -32,56 dB. Uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1,2 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -41,8 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 1,26 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -43,8 dB. Uzorak plošnog

nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji malo manjoj od 1,09 GHz i iznosi -41,4 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -22,25 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.71 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.71: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na SFC 200
NC 200	-29,86 dB	1 GHz	SFC 200	SFC 200/1,57
RC 200	-32,56 dB	1 GHz		SFC 200/1,44
SFC 200	-47,01 dB	1,1 GHz		-
CFC 200	-32,56 dB	1 GHz		SFC 200/1,44
1plus 2arm	-41,8 dB	1,2 GHz		SFC 200/1,12
2plus 2arm	-43,8 dB	1,26 GHz		SFC 200/1,07
2plus bez arm	-41,4 dB	1,09 GHz		SFC 200/1,14
prazno	-22,25 dB	1 GHz		SFC 200/2,11

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) minimalna vrijednost koeficijenta transmisije S21 uzorka plošnog nosača NC 200 iznosi -93,31 dB pri frekvenciji 14,47 GHz, uzorka plošnog nosača RC 200 iznosi -89,29 dB pri frekvenciji 13,92 GHz, uzorka plošnog nosača SFC 200 iznosi -85,22 dB pri frekvenciji 5,11 GHz, uzorka plošnog nosača CFC 200 iznosi -89,31 dB pri frekvenciji 14,01 GHz, uzorka plošnog nosača 1plus 2arm iznosi -105 dB pri frekvenciji 8,53 GHz, uzorka plošnog nosača 2plus 2arm iznosi -105 dB pri frekvenciji 4,88 GHz, uzorka plošnog nosača 2plus bez arm iznosi -104 dB pri frekvenciji 8,66 GHz, dok minimalni koeficijent transmisije S21 praznog okvira iznosi -80,08 dB pri frekvenciji 17,83 GHz. Iz ovih rezultata najbolje se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima pokazuju najbolju

zaštitu od EM zračenja, dok i ostali uzorci pružaju zaštitu u odnosu na prazan okvir. Tablični prikaz minimalnih koeficijenata transmisije S21 za navedene uzorke plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije mjerenih Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) prikazan je u tablici 3.72.

Tablica 3.72: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1 (2)plus 2arm
NC 200	-93,31 dB	14,47 GHz	1 plus 2arm i 2plus 2arm	1 (2)plus 2arm/1,13
RC 200	-89,29 dB	13,92 GHz		1 (2)plus 2arm/1,18
SFC	-85,22 dB	5,11 GHz		1 (2)plus 2arm/1,23
CFC	-89,31 dB	14,01 GHz		1 (2)plus 2arm/1,18
1plus 2arm	-105 dB	8,53 GHz		-
2plus 2arm	-105 dB	4,88 GHz		-
2plus bez arm	-104 dB	8,66 GHz		1 (2)plus 2arm/1,01
prazno	-80,08 dB	17,83 HHZ		1 (2)plus 2arm/1,31

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača NC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 3,1 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,43 dB. Uzorak plošnog nosača RC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 3,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -52,41 dB. Uzorak plošnog nosača SFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 5,49 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,29 dB. Uzorak plošnog nosača CFC 200 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 3,04 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -52,41 dB. Uzorak plošnog nosača 1plus 2arm najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 16,43 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,6 dB, uzorak plošnog nosača 2plus 2arm najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 3,18 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -55,6 dB, dok uzorak plošnog nosača 2plus bez arm najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 5,39 GHz i iznosi -57,3 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri

frekvenciji 3,87 GHz i iznosi -34,1 dB. U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju također pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.73 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) uzoraka plošnih nosača debljine 20 cm u spektru super visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.73: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača jednakih debljina (20 cm) u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus bez arm
NC 200	-55,43 dB	3,1 GHz	2plus bez arm	2plus bez arm /1,03
RC 200	-52,41 dB	3,04 GHz		2plus bez arm /1,09
SFC 200	-55,29 dB	5,49 GHz		2plus bez arm /1,04
CFC 200	-52,41 dB	3,04 GHz		2plus bez arm /1,09
1plus 2arm	-55,6 dB	16,43 GHz		2plus bez arm/1,03
2plus 2arm	-55,6 dB	3,18 GHz		2plus bez arm/1,03
2plus bez arm	-57,3 dB	5,39 GHz		-
prazno	-34,1 dB	3,87 GHz		2plus bez arm/1,68

Iz ovih ispitivanja vidljivo je kako plošni nosači s ugrađenim križnim mikrovalnim rezonatorima pružaju najbolju zaštitu od EM zračenja, što znači kako mikrovalni rezonatori najbolje doprinose zaštiti od EM zračenja. Posebno je jasno koliko uzorci plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima imaju bolja svojstva upijanja EM zračenja u odnosu na ostale uzorke plošnih nosača. Dokaz za to je kako nemaju ništa bolja (čak i za nijansu lošija) svojstva refleksije u odnosu na ostale uzorke plošnih nosača i prazan okvir, a imaju puno bolja svojstva transmisije EM zračenja, što znači kako su uzorci plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima puno više zračenja upijali u odnosu na ostale uzorke plošnih nosača i prazan okvir. Također, konačni rezultati pokazuju kako bolju zaštitu pružaju uzorci plošnih nosača s dodacima u odnosu na plošne nosače bez dodataka i bez armature. Stoga se može zaključiti kako mrežasta armatura, čelična i ugljična vlakna dodatno pridonose zaštiti od EM

zračenja. S druge strane, s obzirom kako je u tablici 3.72 najmanji koeficijent transmisije nearmiranog plošnog nosača manji od minimalnog koeficijenta transmisije uzoraka plošnih nosača pojačanih mrežastom armaturom Q785, čeličnim i ugljičnim vlaknima, može se također zaključiti kako mrežasta armatura, čelična i ugljična vlakna ne pružaju sigurnu zaštitu od prodora EM zračenja.

3.2.7 Uzorci plošnih nosača kao dijelovi međukatne konstrukcije

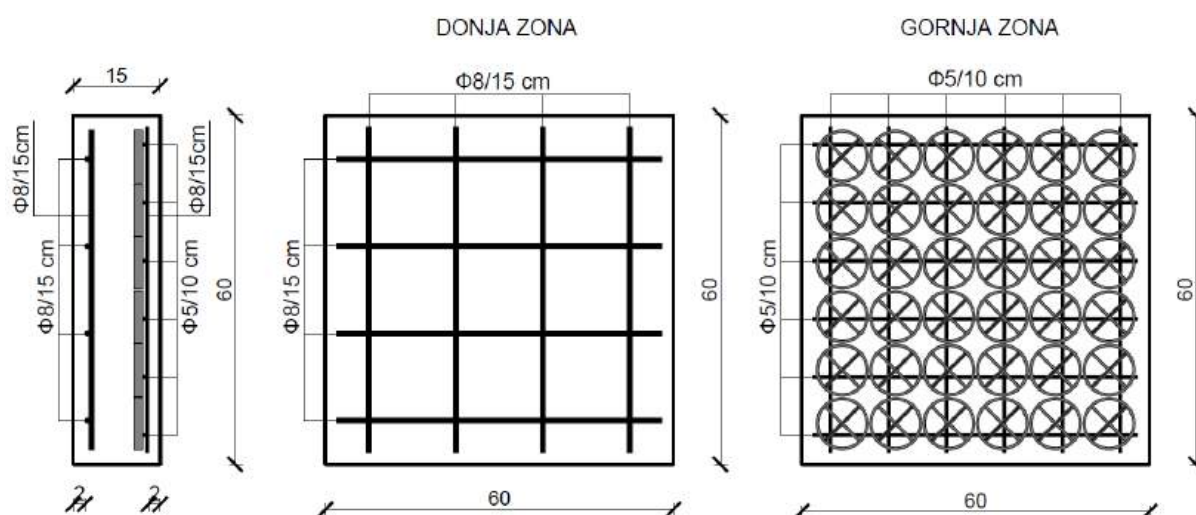
Nakon provedenih ispitivanja jasno je kako čelični mikrovalni rezonatori pružaju najbolju zaštitu od prodora EM zračenja, zbog toga su izrađeni plošni nosači kao modeli međukatnih konstrukcija dimenzija 360x120 cm i debljine 15 cm koji će se detaljnije opisati kasnije u 4. poglavlju (način izvođenja, korištena mješavina betona, detaljni opis svakog uzorka, ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata, zašto su izabrani plošni nosači s baš ovim pojačanjima...). Od spomenutih plošnih nosača naknadno su izrađeni uzorci plošnih nosača dimenzija 60x60 cm i debljine 15 cm i ti uzorci su ispitani na zaštitu od prodora EM zračenja, kako bi se napravila veza između ispitivanja zaštite od prodora EM zračenja i ispitivanja na razini konstrukcijskog elementa. Shematski prikaz postavke ispitivanja ovih uzoraka na prodor EM zračenja ista je kao kod prethodnih ispitivanja (vidjeti sliku 3.25). Ispitani uzorci plošnih nosača prikazani su na tablici 3.74.

Tablica 3.74: Ispitani uzorci plošnih nosača

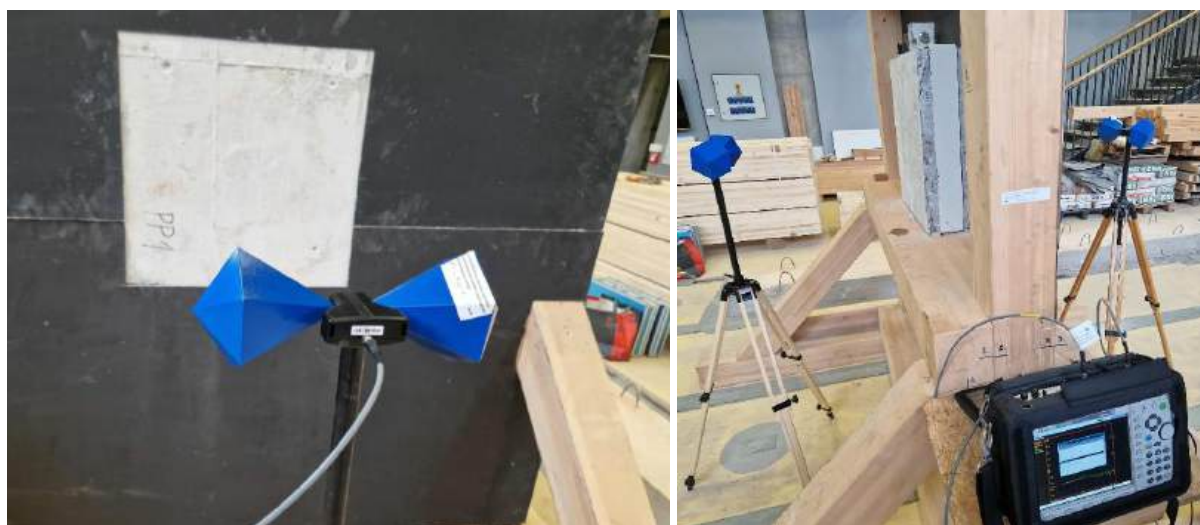
Naziv uzorka	Opis uzorka
PP1	uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
PP2	uzorak plošnog nosača armiran dvostrukom mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni
PK1	uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 u gornjoj zoni

PK2	uzorak plošnog nosača armiran dvostrukom mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 u gornjoj zoni

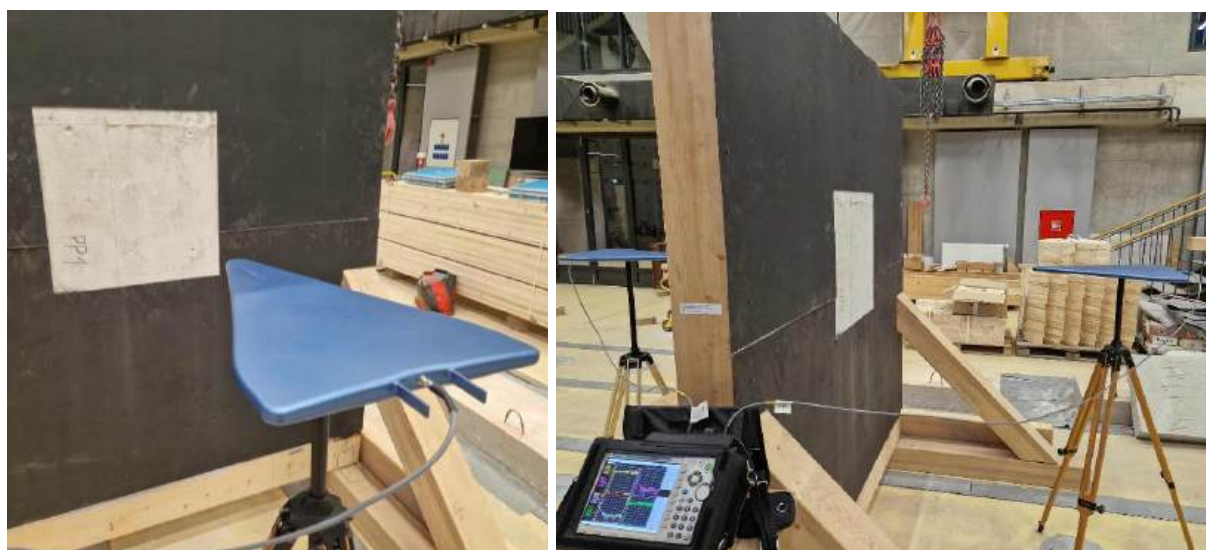
Uzorak plošnog nosača PP1 armiran je mrežastom armaturom Q335 (mreža šipki promjera 8 mm i rastojanja 15 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 (mreža šipki promjera 5 mm i rastojanja 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni. Na slici 3.56 prikazan je shematski prikaz uzorka plošnog nosača PP1, na slici 3.57 prikazano je eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP1 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom, dok je na slici 3.58 prikazano eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP1 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom.



Slika 3.56: Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PP1



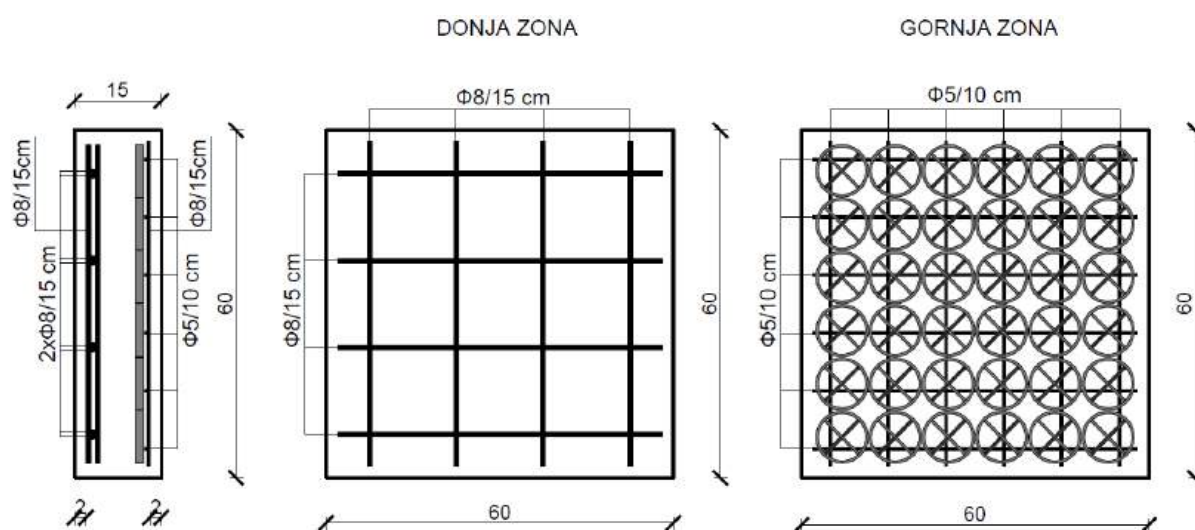
Slika 3.57: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP1 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom



Slika 3.58: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP1 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom

Uzorak plošnog nosača PP2 armiran je dvostrukom mrežastom armaturom Q335 (dvostruka mreža šipki promjera 8 mm i rastojanja 15 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u donjoj zoni, a mrežastom armaturom

Q196 (mreža šipki promjera 5 mm i rastojanja 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni. Na slici 3.59 prikazan je shematski prikaz uzorka plošnog nosača PP2, na slici 3.60 prikazano je eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP2 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom, dok je na slici 3.61 prikazano eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP2 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom.



Slika 3.59: Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PP2

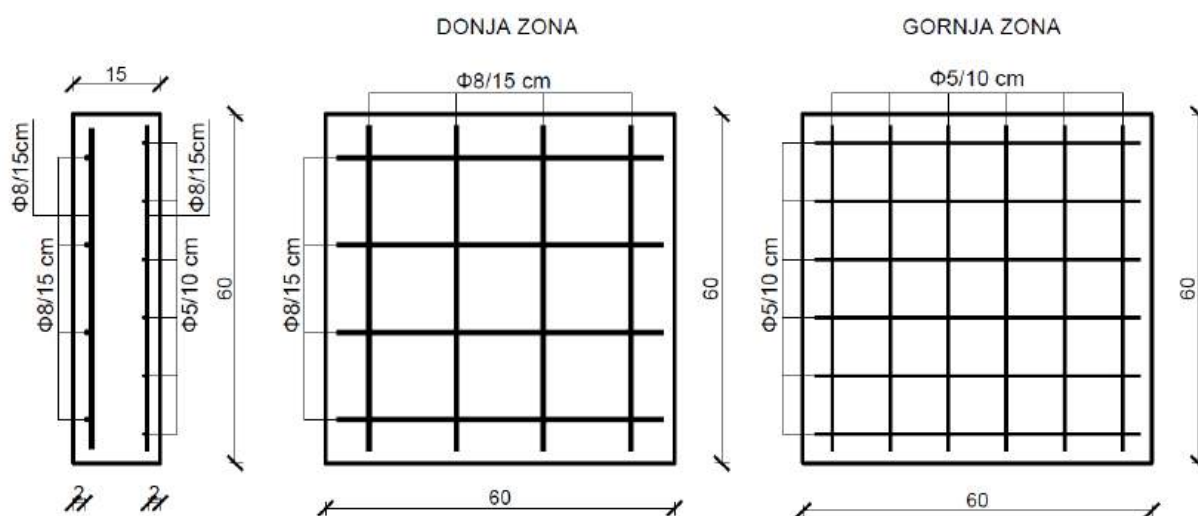


Slika 3.60: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP2 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom



Slika 3.61: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PP2 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom

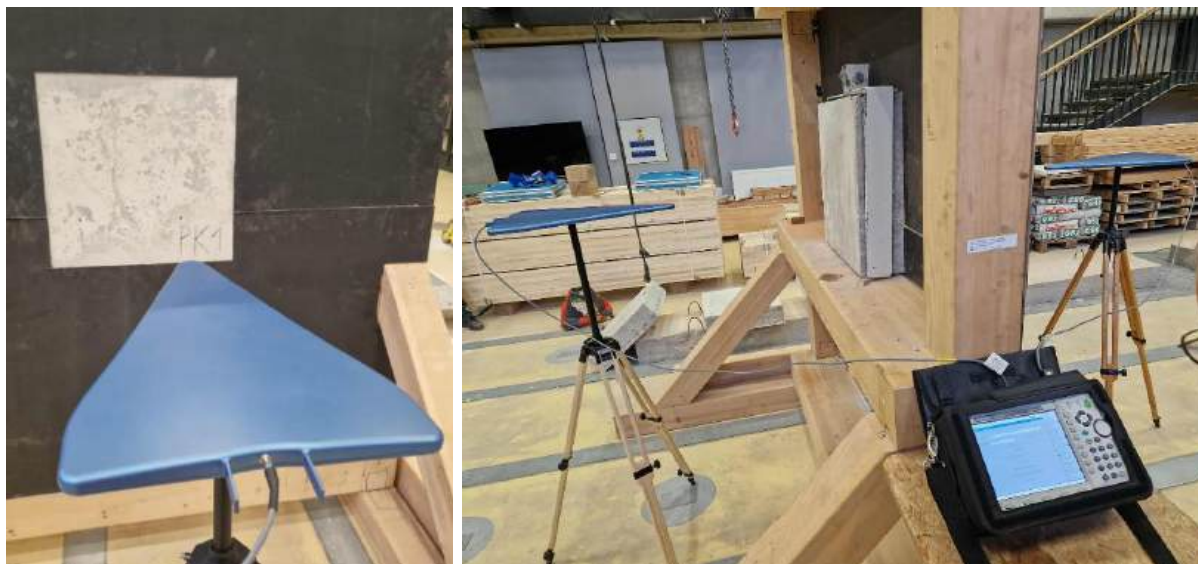
Uzorak plošnog nosača PK1 armiran je mrežastom armaturom Q335 (mreža šipki promjera 8 mm i rastojanja 15 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 (mreža šipki promjera 5 mm i rastojanja 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u gornjoj zoni. Na slici 3.62 prikazan je shematski prikaz uzorka plošnog nosača PK1, na slici 3.63 prikazano je eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK1 na zaštitu od EM zračenja Bicolog antenom, dok je na slici 3.64 prikazano eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK1 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom.



Slika 3.62: Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PK1

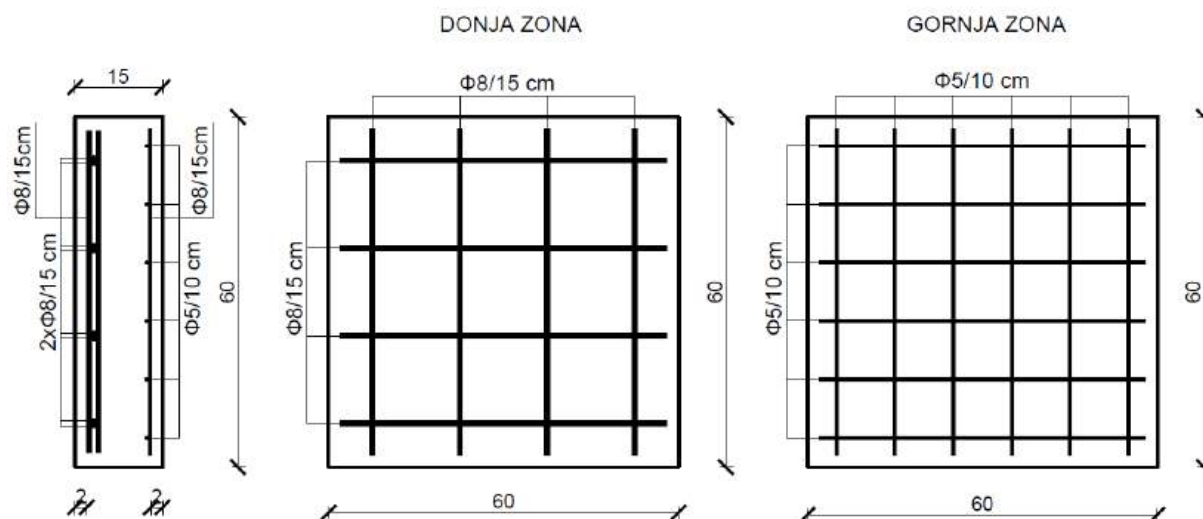


Slika 3.63: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK1 na zaštitu od EM zračenja Bicolog antenom



Slika 3.64: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK1 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom

Uzorak plošnog nosača PK2 armiran je dvostrukom mrežastom armaturom Q335 (dvostruka mreža šipki promjera 8 mm i rastojanja 15 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u donjoj zoni, a mrežastom armaturom Q196 (mreža šipki promjera 5 mm i rastojanja 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u gornjoj zoni. Na slici 3.65 prikazan je shematski prikaz uzorka plošnog nosača PK2, na slici 3.66 prikazano je eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK2 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom, dok je na slici 3.67 prikazano eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK2 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom.



Slika 3.65: Shematski prikaz uzorka plošnog nosača PK2

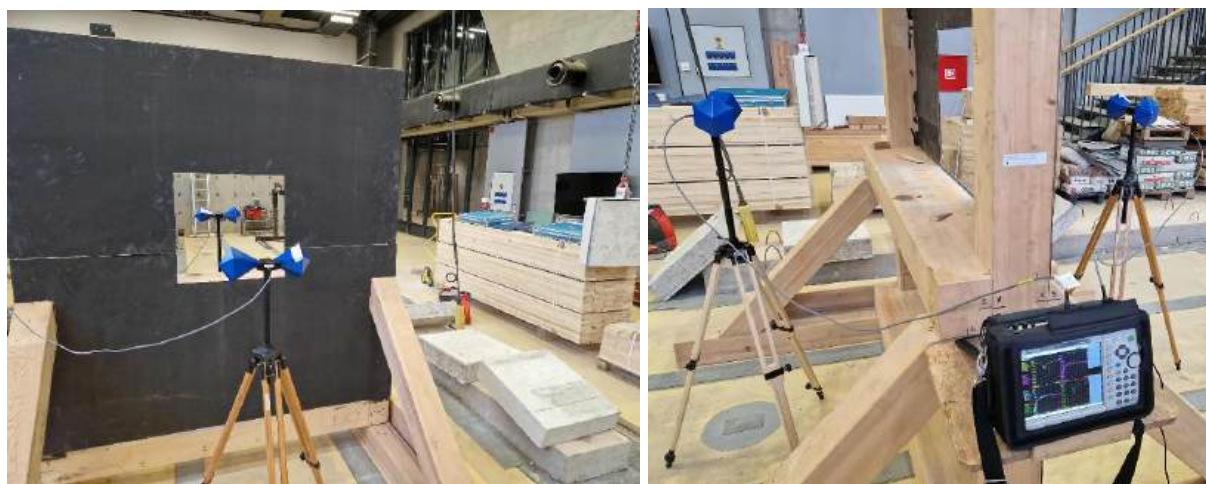


Slika 3.66: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK2 na zaštitu od EM zračenja Bicollog antenom



Slika 3.67: Eksperimentalno ispitivanje uzorka plošnog nosača PK2 na zaštitu od EM zračenja Hyperlog antenom

Pored ovih uzoraka plošnih nosača još je ispitan prazan okvir pomoću Bicolog i Hyperlog antene. Ispitivanje praznog okvira Bicolog antenom prikazano je na slici 3.68, dok je ispitivanje prazno okvira Hyperlog antenom prikazano na slici 3.69.

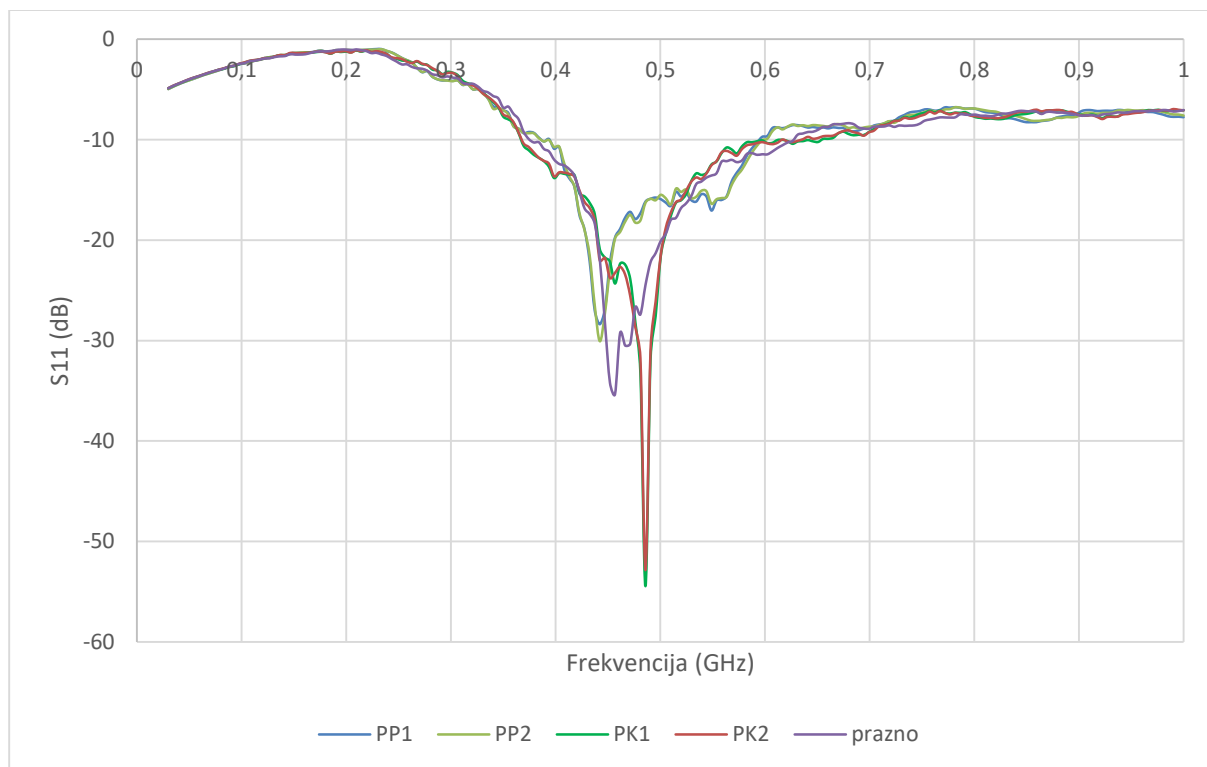


Slika 3.68: Eksperimentalno ispitivanje praznog okvira Bicolog antenom



Slika 3.69: Eksperimentalno ispitivanje praznog okvira Hyperlog antenom

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S_{11} EM zračenja mjerene Bicollog antenom uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja i praznog okvira prikazani su na slici 3.70. Sa slike 3.70 se vidi kako je koeficijent refleksije S_{11} za različita pojačanja uzorka plošnog nosača vrlo sličan za veliku većinu frekvencija i kako navedeni plošni nosači imaju vrlo slična i približno jednaka svojstva refleksije. Najmanju vrijednost koeficijenta refleksije u rasponu kojega obuhvaća Bicollog antena pokazuju uzorci plošnih nosača PK1 i PK2, što znači kako najmanju refleksiju pokazuju kontrolni uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom bez mikrovalnih rezonatora.



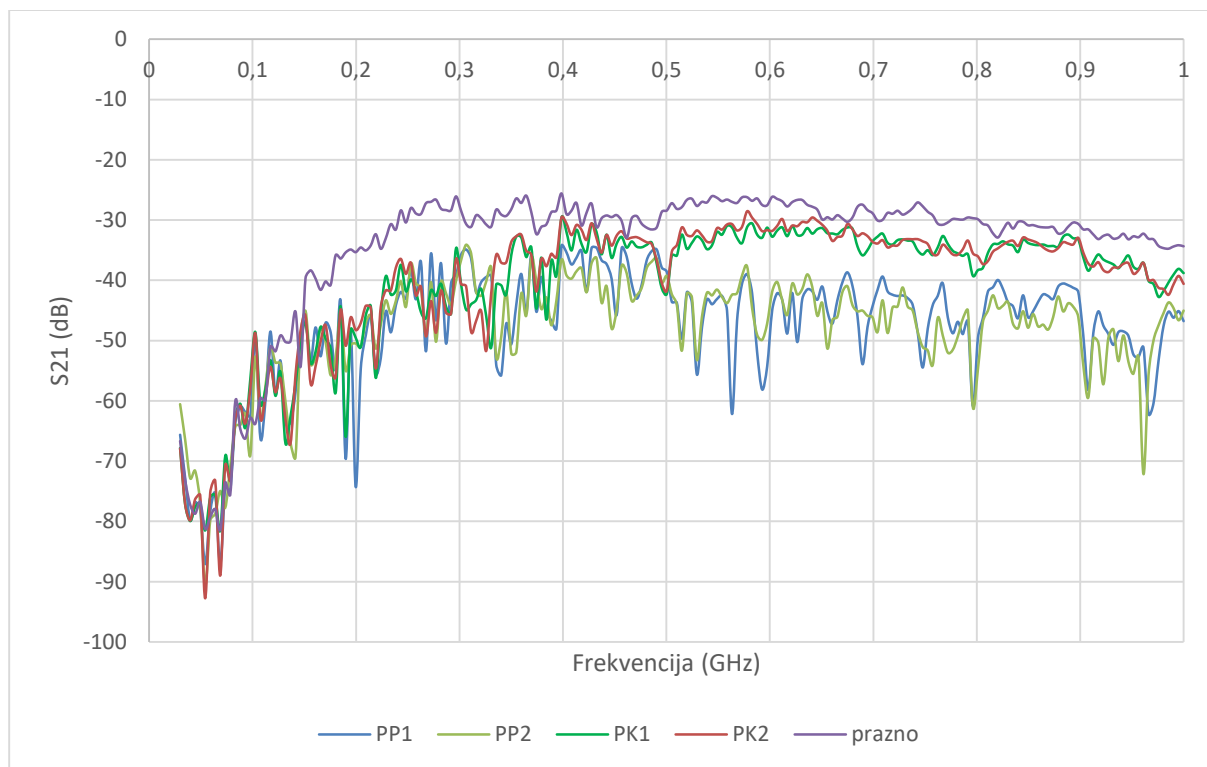
Slika 3.70: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača mjerenih Bicollog antenom

U rasponu frekvencije kojega obuhvaća Bicollog antena minimalnu vrijednost koeficijenta refleksije S_{11} pokazuje uzorak plošnog nosača PK1 pri frekvenciji nešto manjoj od 0,49 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent refleksije uzorka plošnog nosača PK1 iznosi -54,4 dB. Nakon uzorka plošnog nosača PK1 minimalnu vrijednost koeficijenta refleksije S_{11} pokazuje uzorak plošnog nosača PK2 također pri frekvenciji nešto manjoj od 0,49 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent refleksije uzorka plošnog nosača PK2 iznosi -52,86 dB. Pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača PP1 iznosi -16,16 dB, za uzorak plošnog nosača PP2 pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} iznosi -16,28 dB, dok pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije praznog okvira iznosi -24,47 dB. Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} navedenih uzoraka plošnih nosača i praznog okvira pri frekvenciji nešto manjoj od 0,49 GHz prikazana je u tablici 3.75.

Tablica 3.75: Tablični prikaz koeficijenata refleksije uzoraka plošnih nosača mjerenih Bicolog antenom pri frekvenciji $\approx 0,49$ GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S21	Najbolja svojstva refleksije	Za koliko se smanji S11 u odnosu na 1plus 2arm
PP1	-16,16 dB	PP1	-
PP2	-16,28 dB		1,01 x PP1
PK1	-54,4 dB		3,37 x PP1
PK2	-52,86 dB		3,27 x PP1
prazno	-24,47 dB		1,07 x SFC

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja navedenih uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja i praznog okvira mjerenih Bicolog antenom prikazani su na slici 3.71. Sa slike 3.71 se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju bolja svojstva na zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na uzorke plošnog nosača bez mikrovalnih rezonatora. To je posebno izraženo za frekvencije veće od 0,5 GHz. Ovo je dokaz kako čelični mikrovalni rezonatori kojima su pojačani uzorci plošnih nosača pružaju vrlo dobru zaštitu od prodora EM zračenja.



Slika 3.71: Usporedba koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača mjerenih Bicolog antenom

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača PP1 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,07 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -87,13 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -90,66 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru pokazuje najbolja svojstva transmisije EM zračenja pri frekvenciji 0,07 GHz i pri toj frekvenciji najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 iznosi -81,55 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,05 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -92,77 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,07 GHz i iznosi -81,42 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.76 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.76: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na PK2
PP1	-87,13 dB	0,07 GHz	PK2	PK2/1,06
PP2	-90,66 dB	0,05 GHz		PK2/1,02
PK1	-81,55 dB	0,07 GHz		PK2/1,14
PK2	-92,77 dB	0,05 GHz		-
prazno	-81,42 dB	0,07 GHz		PK2/1,14

U spektru vrlo visoke frekvencije uzorak plošnog nosača PP1 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,27 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -35,53 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,25 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -37,19 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i iznosi -34,65 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 pokazuje također pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i iznosi -36,45 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira u istom spektru javlja se također pri frekvenciji malo manjoj od 0,3 GHz i iznosi -26,06 dB. U spektru vrlo visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i čelični mikrovalni rezonatori poboljšavaju svojstva zaštite na EM zračenje. U tablici 3.77 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.77: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1 plus 2arm
PP1	-35,53 dB	0,27 GHz	PP2	PP2/1,05
PP2	-37,19 dB	0,25 GHz		-
PK1	-34,65 dB	0,3 GHz		PP2/1,07
PK2	-36,45 dB	0,3 GHz		PP2/1,02
prazno	-26,8 dB	0,28 GHz		PP2/1,39

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača PP1 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,56 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -62,18 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,96 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -72,15 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru pokazuje najbolja svojstva transmisije pri frekvenciji 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi 51,17 dB, dok uzorak plošnog nosača PK2 najbolja svojstva transmisije EM zračenja pokazuje također pri frekvenciji od 0,33 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -51,75 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,99 GHz i iznosi -34,74 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok čelični mikrovalni rezonatori vrlo dobro doprinose zaštiti od EM zračenja u odnosu na uzorke plošnih nosača bez mikrovalnih rezonatora s obzirom kako uzorci plošnih nosača s čeličnim mikrovalnim rezonatorima pokazuju bolju zaštitu od EM zračenja u odnosu na uzorke plošnih nosača bez mikrovalnih rezonatora. U tablici 3.78 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.78: Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

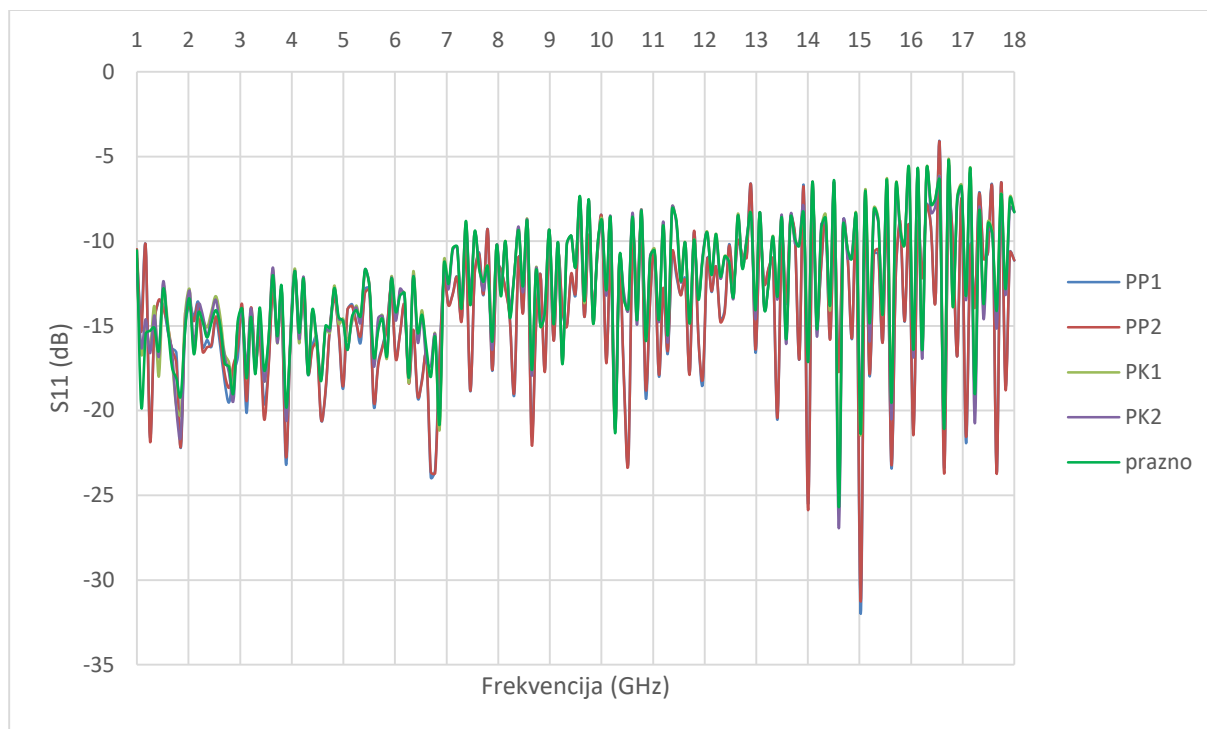
Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 2plus bez arm
PP1	-62,18 dB	0,56 GHz	PP2	PP2/1,16
PP2	-72,15 dB	0,96 GHz		-
PK1	-51,17 dB	0,33 GHz		PP2/1,41
PK2	-51,75 dB	0,33 GHz		PP2/1,39
prazno	-34,74 dB	0,99 GHz		PP2/2,08

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom (od 0,3 do 1 GHz) uzorak plošnog nosača PP1 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 0,4 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -34,26 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 0,31 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -34,08 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 0,4 GHz i iznosi -29,65 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 pokazuje pri frekvenciji 0,58 GHz i iznosi -28,57 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 0,4 GHz i iznosi -25,57 dB. U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Bicolog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju također pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i čelični mikrovalni rezonatori također pozitivno utječu na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.79 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.79: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenta transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1 plus 2arm
PP1	-34,26 dB	0,4 GHz	PP1	-
PP2	-34,08 dB	0,31 GHz		PP1/1,01
PK1	-29,65 dB	0,4 GHz		PP1/1,16
PK2	-28,57 dB	0,58 GHz		PP1/1,2
prazno	-25,57 dB	0,4 GHz		PP1/1,34

Rezultati ispitivanja koeficijenta refleksije S11 EM zračenja mjerene Hyperlog antenom uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja i praznog okvira prikazani su na slici 3.72. Sa slike 3.72 se vidi kako je koeficijent refleksije S11 za različita pojačanja uzorka plošnog nosača vrlo sličan za veliku većinu frekvencija i kako navedeni plošni nosači imaju vrlo slična i približno jednaka svojstva refleksije. Najmanju vrijednost koeficijenta refleksije u rasponu kojega obuhvaća Bicollog antena pokazuju uzorci plošnih nosača PP1 i PP2, što znači kako najmanju refleksiju pokazuju uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima.



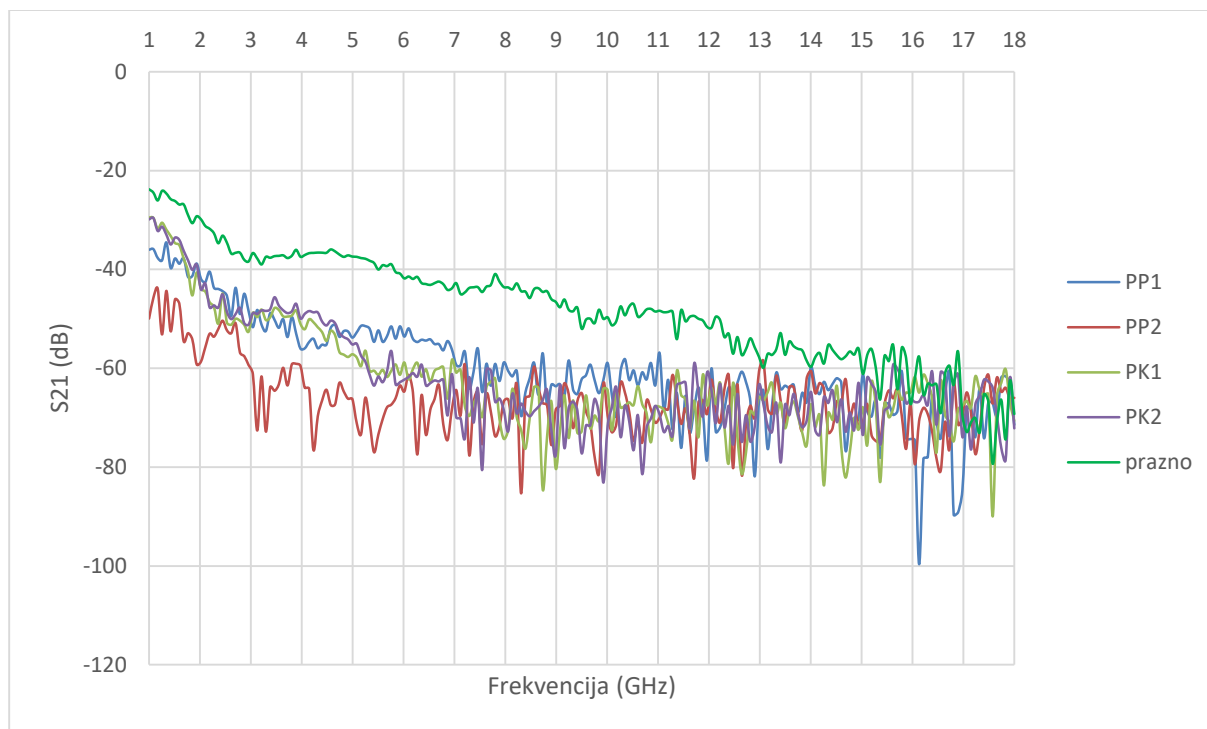
Slika 3.72: Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} uzoraka plošnih nosača mjerenih Hyperlog antenom

U rasponu frekvencije kojega obuhvaća Hyperlog antena minimalnu vrijednost koeficijenta refleksije S_{11} pokazuje uzorak plošnog nosača PP1 pri frekvenciji 15,03 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača PP1 iznosi -31,99 dB. Nakon uzorka plošnog nosača PP1 minimalnu vrijednost koeficijenta refleksije pokazuje uzorak plošnog nosača PP2 također pri frekvenciji 15,03 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača PP2 iznosi -31,26 dB. Pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} uzorka plošnog nosača PK1 iznosi -21,48 dB, za uzorak plošnog nosača PK2 pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije S_{11} iznosi -20,28 dB, dok pri istoj frekvenciji koeficijent refleksije praznog okvira iznosi -21,38 dB. Usporedba koeficijenata refleksije S_{11} navedenih uzoraka plošnih nosača i praznog okvira pri frekvenciji 15,03 GHz prikazana je u tablici 3.80.

Tablica 3.80: Tablični prikaz koeficijenata refleksije uzoraka plošnih nosača mjerenih Hyperlog antenom pri frekvenciji 15,03 GHz

Uzorak	Koeficijent refleksije S21	Najbolja svojstva refleksije	Za koliko se smanji S11 u odnosu na 1plus 2arm
PP1	-31,99 dB	PK2	1,58 x PK2
PP2	-31,26 dB		1,54 x PK2
PK1	-21,48 dB		1,06 x PP1
PK2	-20,28 dB		-
prazno	-21,38 dB		1,05 x SFC

Rezultati ispitivanja koeficijenta transmisije S21 EM zračenja navedenih uzoraka plošnih nosača različitih pojačanja i praznog okvira mjerenih Hyperlog antenom prikazani su na slici 3.73. Sa slike 3.73 se vidi kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju bolja svojstva na zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na uzorke plošnog nosača bez mikrovalnih rezonatora. Do frekvencije oko 7 GHz najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača PP2, dok pri većim frekvencijama najbolja svojstva transmisije pokazuje uzorak plošnog nosača PP1. Ovo je dokaz kako čelični mikrovalni rezonatori kojima su pojačani uzorci plošnih nosača pružaju vrlo dobru zaštitu od prodora EM zračenja.



Slika 3.73: Usporedba koeficijenata transmisije S_{21} uzoraka plošnih nosača mjerenih Hyperlog antenom

U spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača PP1 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 2,62 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -49,47 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji malo manjoj od 3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -59,34 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru pokazuje najbolja svojstva transmisije EM zračenja također pri frekvenciji malo manjoj od 3 GHz i pri toj frekvenciji najniža vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} iznosi -52,61 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najbolja svojstva transmisije pokazuje također pri frekvenciji malo manjoj od 3 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S_{21} iznosi -51,19 dB. Najmanji koeficijent transmisije S_{21} praznog okvira javlja se također pri frekvenciji malo manjoj od 3 GHz i iznosi -38,37 dB. U spektru ultra visoke frekvencije prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S_{21} uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i čelični mikrovalni rezonatori uglavnom pozitivno utječu na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.81 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S_{21} (najbolja zaštita od

EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Hyperlog antenom.

Tablica 3.81: Tablični prikaz najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na PK2
PP1	-49,47 dB	2,62 GHz	PP2	PP2/1,2
PP2	-59,34 dB	3 GHz		-
PK1	-52,61 dB	3 GHz		PP2/1,13
PK2	-51,19 dB	3 GHz		PP2/1,16
prazno	-38,37 dB	3 GHz		PP2/1,55

U spektru ultra visoke frekvencije mjenog Hyperlog antenom (od 1 do 3 GHz) uzorak plošnog nosača PP1 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 1,34 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -34,55 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 1,17 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -43,86 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -29,46 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 pokazuje pri frekvenciji 1,09 GHz i iznosi -29,62 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira u istom spektru javlja se pri frekvenciji 1 GHz i iznosi -23,76 dB. U spektru ultra visoke frekvencije prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i čelični mikrovalni rezonatori poboljšavaju svojstva zaštite na EM zračenje. U tablici 3.82 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru vrlo visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.82: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1 plus 2arm
PP1	-34,55 dB	1,34 GHz	PP2	PP2/1,27
PP2	-43,86 dB	1,17 GHz		-
PK1	-29,46 dB	1 GHz		PP2/1,49
PK2	-29,62 dB	1,09 GHz		PP2/1,48
prazno	-23,76 dB	1 GHz		PP2/1,85

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača PP1 najbolja svojstva transmisije ima pri frekvenciji 16,13 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -99,62 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 8,31 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -85,35 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru pokazuje najbolja svojstva transmisije EM zračenja pri frekvenciji 17,58 GHz i pri toj frekvenciji najniža vrijednost koeficijenta transmisije S21 iznosi -89,99 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najbolja svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 9,93 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -83,12 dB. Najmanji koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 17,58 GHz i iznosi -79,29 dB. U spektru super visoke frekvencije mjerenog Bicollog antenom prema usporedbi najnižih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja, dok čelični mikrovalni rezonatori vrlo dobro doprinose zaštiti od EM zračenja u odnosu na uzorke plošnih nosača bez mikrovalnih rezonatora s obzirom kako uzorci plošnih nosača s čeličnim mikrovalnim rezonatorima pokazuju bolju zaštitu od EM zračenja u odnosu na uzorke plošnih nosača bez mikrovalnih rezonatora. U tablici 3.83 prikazani su najniže vrijednosti koeficijenti transmisije S21 (najbolja zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicollog antenom.

Tablica 3.83: Tablični prikaz minimalnih vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na PK2
PP1	-99,62 dB	16,13 GHz	PP1	-
PP2	-85,35 dB	8,31 GHz		PP1/1,17
PK1	-89,99 dB	17,58 GHz		PP1/1,11
PK2	-83,12 dB	9,93 GHz		PP1/1,2
prazno	-79,29 dB	17,58 GHz		PP1/1,26

U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom (od 3 do 18 GHz) uzorak plošnog nosača PP1 najlošija svojstva transmisije ima pri frekvenciji 3,13 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -48,21 dB. U istom spektru uzorak plošnog nosača PP2 najlošija svojstva transmisije pokazuje pri frekvenciji 13,07 GHz i pri toj frekvenciji koeficijent transmisije S21 iznosi -58,51 dB. Uzorak plošnog nosača PK1 u istom spektru najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 EM zračenja pokazuje pri frekvenciji od 3,47 GHz i iznosi -47,8 dB, dok u istom spektru uzorak plošnog nosača PK2 najvišu vrijednost koeficijenta transmisije S21 pokazuje pri frekvenciji 3,47 GHz i iznosi -45,64 dB. Najviši koeficijent transmisije S21 praznog okvira javlja se pri frekvenciji 4,57 GHz i iznosi -35,93 dB. U spektru super visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom prema usporedbi najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzorci plošnih nosača imaju također pozitivan utjecaj na zaštitu od EM zračenja i čelični mikrovalni rezonatori također pozitivno utječu na zaštitu od EM zračenja. U tablici 3.84 prikazani su najviše vrijednosti koeficijenata transmisije S21 (najlošija zaštita od EM zračenja) navedenih uzoraka plošnih nosača u spektru ultra visoke frekvencije koje su mjerene Bicolog antenom.

Tablica 3.84: Tablični prikaz najviših vrijednosti koeficijenata transmisije S21 uzoraka plošnih nosača u spektru super visoke frekvencije

Uzorak	Koeficijent transmisije S21	Pripadna frekvencija	Najbolja svojstva transmisije	Za koliko se poveća S21 u odnosu na 1 plus 2arm
PP1	-48,21 dB	3,13 GHz	PP2	PP2/1,21
PP2	-58,51 dB	13,07 GHz		-
PK1	-47,8 dB	3,47 GHz		PP2/1,22
PK2	-45,64 dB	3,47 GHz		PP2/1,28
prazno	-35,93 dB	4,57 GHz		PP2/1,63

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja navedenih uzoraka plošnih nosača na zaštitu od EM zračenja pokazuju kako uzorci plošnih nosača pružaju zaštitu od EM zračenja i kako čelični mikrovalni rezonatori pozitivno utječu na zaštitu od EM zračenja s obzirom kako bolju zaštitu pružaju uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na uzorke plošnih nosača bez njih.

4. Ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata

4.1 Eksperimentalna ispitivanja na razini konstrukcijskih elemenata

S obzirom da su uzorci pojačani križnim mikrovalnim rezonatorima od čelika klase S235 pokazali najbolja svojstva zaštite od EM zračenja, izrađena su tri plošna nosača od betona klase C35/45 dimenzija 120x350 cm i debljine 15 cm armirana tim mikrovalnim rezonatorima i armaturom Q196 (mreža šipki promjera 5 mm i rastojanja 10 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u gornjoj i Q335 (mreža šipki promjera 8 mm i rastojanja 15 cm, mreža je nosiva u dva smjera, promjeri šipki i razmaci jednaki su u oba smjera) u donjoj zoni. Dimenzije plošnog nosača 350x120x15 cm izabrane su iz razloga jer su to standardne dimenzije za međukatne konstrukcije, i dimenzije 350x120 cm su prikladne za ispitivanje u laboratoriju. Debljina 15 cm je izabrana iz razloga jer je to standardna debljina za međukatne konstrukcije. U prethodnom poglavlju uzeti su debljina i armatura standardne za zidove, dokazano je kako debljina uzoraka plošnog nosača ne utječe na zaštitu od EM zračenja, pa su u ovom poglavlju ispitani plošni nosači koji predstavljaju međukatne konstrukcije. Armatura Q335 u donjoj zoni i Q196 u donjoj zoni izabrane su iz razloga jer je to uobičajena armatura za međukatne konstrukcije. Mikrovalni rezonatori su smješteni neposredno ispod gornje zone armature. Navedeni plošni nosači su se izrađivali na način da se u oplatu najprije postavila gornja zona armature (Q196), zatim su se nakon toga mikrovalni rezonatori slagali na gornju zonu. Nakon što su mikrovalni rezonatori složeni, postavila se donja zona armature (Q335). U plošni nosač je postavljeno 494 komada čeličnih križnih mikrovalnih rezonatora. Ukupni volumen koji zauzimaju mikrovalni rezonatori je 12661,22 cm³, što čini oko 2 % ukupnog volumena plošnog nosača. Ukupna masa mikrovalnih rezonatora ugrađenih u plošni nosač iznosi 99,39 kg, Pored tih uzoraka izrađena su također tri kontrolna uzorka armirana samo s armaturom Q196 u gornjoj i Q335 u donjoj zoni kako bi se zaključio utjecaj mikrovalnih rezonatora na savojnu čvrstoću armiranobetonskog plošnog nosača. U tablici 4.1 prikazani su izrađeni plošni nosači. Plošni nosači P-P-1, P-P-2 i P-P-3 armirane su mrežastom armaturom i čeličnim križnim mikrovalnim rezonatorima, dok su kontrolni

plošni nosači P-K-1, P-K-2 i P-K-3 armirane samo mrežastom armaturom. Plošni nosači P-P-1, P-P-2, P-K-1 i P-K-2 armirane su mrežastom armaturom u jednom komadu u obje zone, dok su plošni nosači P-P-3 i P-K-3 armirane dvostrukim preklopom u srednjoj trećini dužine (mreža Q335 se preklapa u srednjoj trećini dužine). Plošni nosači P-P-3 i P-K-3 nisu pravilno napravljeni prema propisima (preklop u srednjoj trećini raspona nije pravilan prema propisima armiranja), pa nije pravljen numerički ni analitički proračun tih plošnih nosača. Iz navedenog razloga rezultati tih plošnih nosača neće se analizirati krajem 4. poglavlja, niti u 5. poglavlju. Sastav mješavine betona od kojeg su se izrađivali plošni nosači naručen je od NEXEa prema recepturi prikazanoj u tablici 4.2. Zahtjevi za čvrstoću betona bili su minimalna klasa C20/25, razred rasprostiranja slijeganjem SF3 I razred viskoznosti VS1. Razlog ovih zahtjeva jest taj što se u plošnim nosačima nalazi gusta armatura, pogotovo kad se uzmu u obzir i čelični mikrovalni rezonatori. Navedeni razred rasprostiranja slijeganjem I razred viskoznosti prikladni su za gustu i složenu armaturu, a takav slučaj armature je kod ovih nosača. Raspored armature i čeličnih mikrovalnih rezonatora prije betoniranja prikazan je na slici 4.1, dok je nacrt armature u poprečnom presjeku plošnih nosača prikazan na slikama 4.2, 4.3, 4.4 i 4.5.

Tablica 4.1: Izrađeni plošni nosači

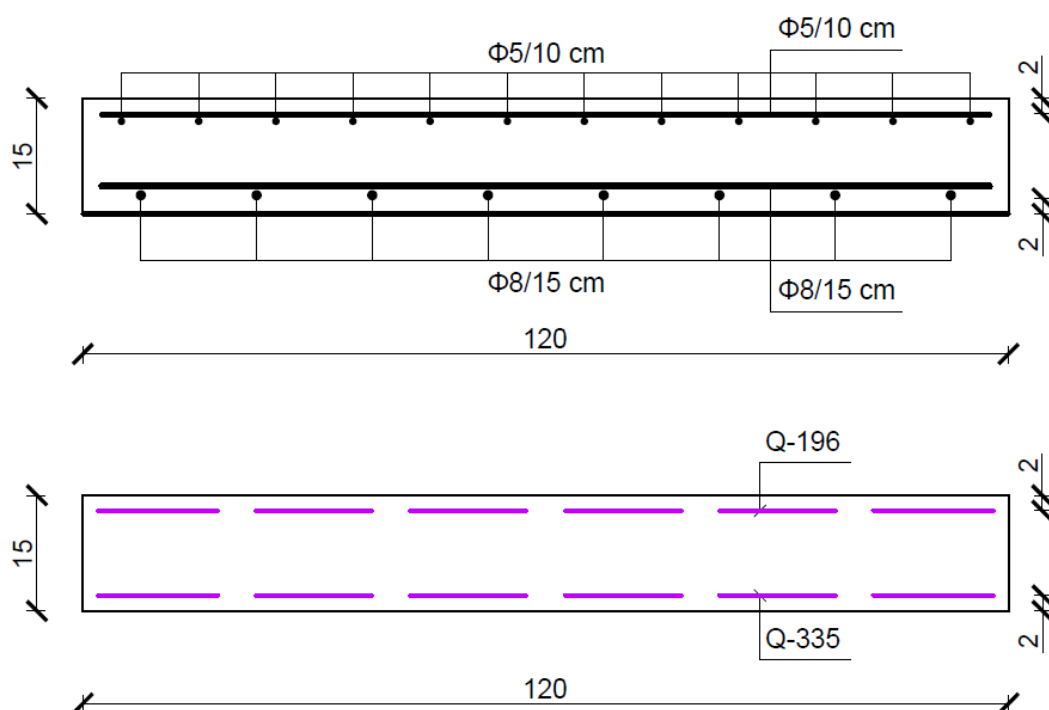
Naziv	Opis plošnih nosača	Postavljena mrežasta armatura
P-P-1	plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u gornjoj zoni	mreže u jednom komadu u obje zone
P-P-2		
P-P-3		mreža s dvostrukim preklopom u srednjoj trećini dužine
P-K-1	kontrolni plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q335 u donjoj zoni, a Q196 u gornjoj zoni	mreže u jednom komadu u obje zone
P-K-2		
P-K-3		mreža s dvostrukim preklopom u srednjoj trećini dužine

Tablica 4.2: Sastav mješavine betona od kojeg su izrađivani plošni nosači

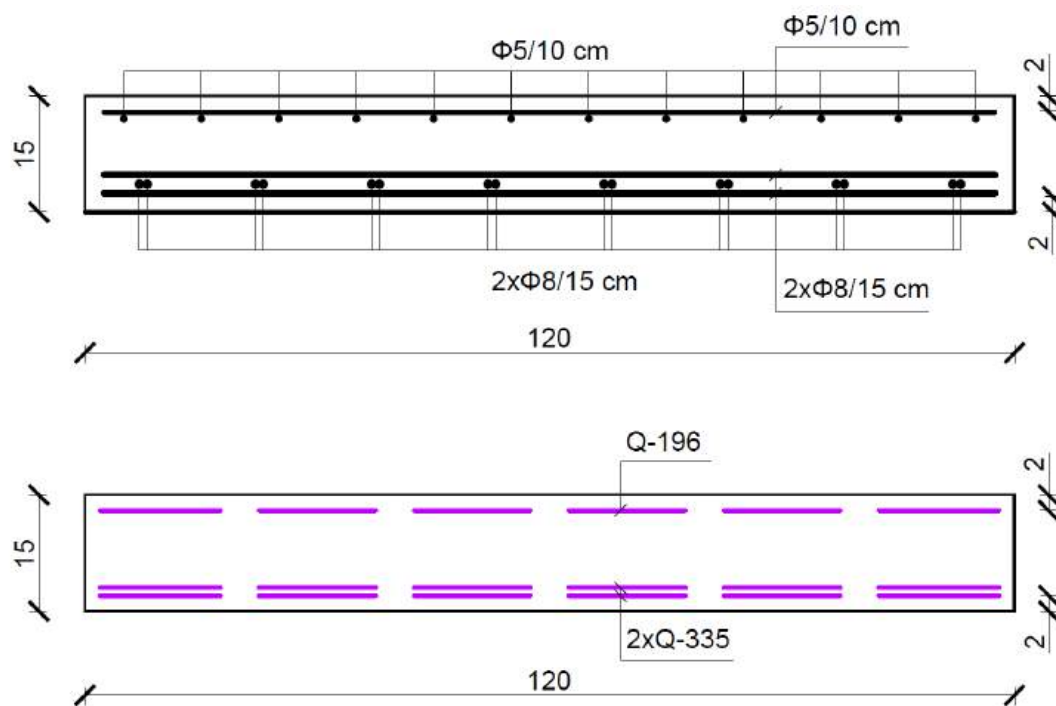
REFERENTNI BETON SC-0 (klasa izloženosti XF3, na otvorenom prostoru izložen smrzavanju/odmrzavanju i vodi bez morske soli)		Masa		Gustoća	Volumen
		%	(kg)	(kg / dm ³)	(dm ³)
Cement	CEM II/A-S 42,5R		400,00	3,17	126,18
Voda	voda iz slavine		160,00	1,00	160,00
v/c omjer	0,40				
Dodaci	Energy FM 500 (SP)	0,80%	3,20	1,08	2,96
	Premadd Stabilisator X (VMA)	0,25%	1,00	1,04	0,96
Sadržaj zraka		1,50%			15,00
Agregati	0-2 mm - dolomit	27,5%	493,03	2,58	191,10
	0-4 mm - dolomit	27,5%	533,16	2,79	191,10
	4-8 mm - dolomit	5%	100,06	2,88	34,74
	8-16 mm - dolomit	40%	800,52	2,88	277,96
		100%	1926,76		694,89
Ukupno			2490,96	2,49	1000



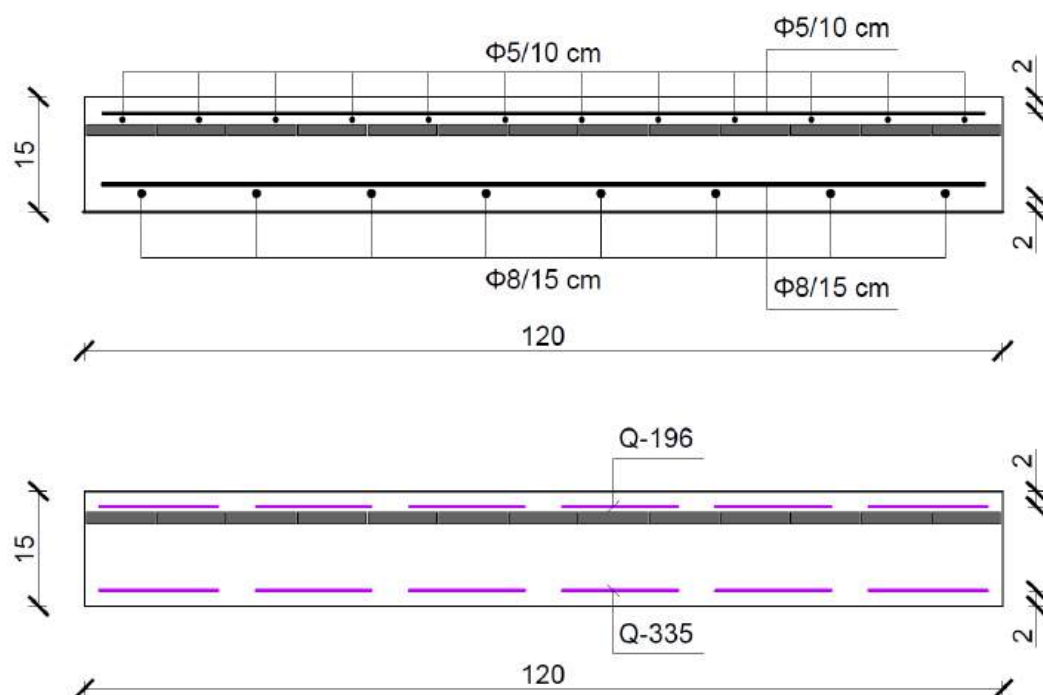
Slika 4.1: Raspored pojačanja plošnog nosača prije betoniranja



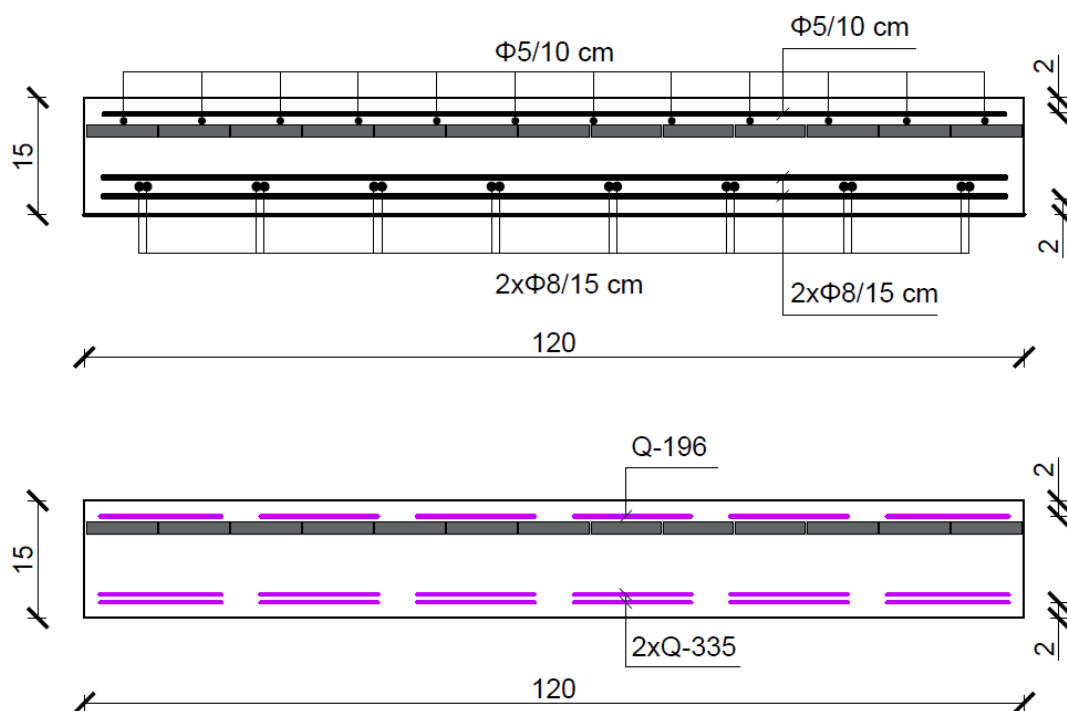
Slika 4.2: Poprečni presjek kontrolnog uzorka armiranobetonskog plošnih nosača (P-K-1 i P-K-2 i krajnje trećine dužine P-K-3)



Slika 4.3: Poprečni presjek srednje trećine dužine armiranobetonskog plošnog nosača P-K-3

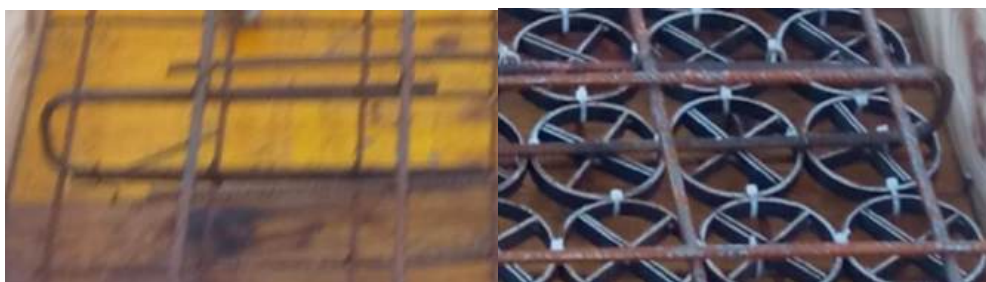


Slika 4.4: Poprečni presjek armiranobetonskog plošnog nosača pojačanog čeličnim mikrovalnim rezonatorima (P-P-1 i P-P-2 i krajnje trećine dužine P-P-3)



Slika 4.5: Poprečni presjek srednje trećine dužine armiranobetonskog plošnog nosača pojačanog čeličnim mikrovalnim rezonatorima P-P-3

Zaštitni sloj i veza između gornje i donje armature osigurani su distancerima, tj. rubnim vilicama većih profila s bočnih strana (slika 4.6), dok su s prednje i stražnje strane zaštitni sloj i veza između gornje i donje armature osigurani velikim profilima vilica koji ujedno služe i kao ručke za dizanje plošnog nosača. Osiguranje zaštitnog sloja i veze između gornje i donje armature na bočnim stranama prikazano je na slici 4.6, dok je osiguranje zaštitnog sloja i veze između gornje i donje armature na prednjoj i stražnjoj strani prikazano na slici 4.7.



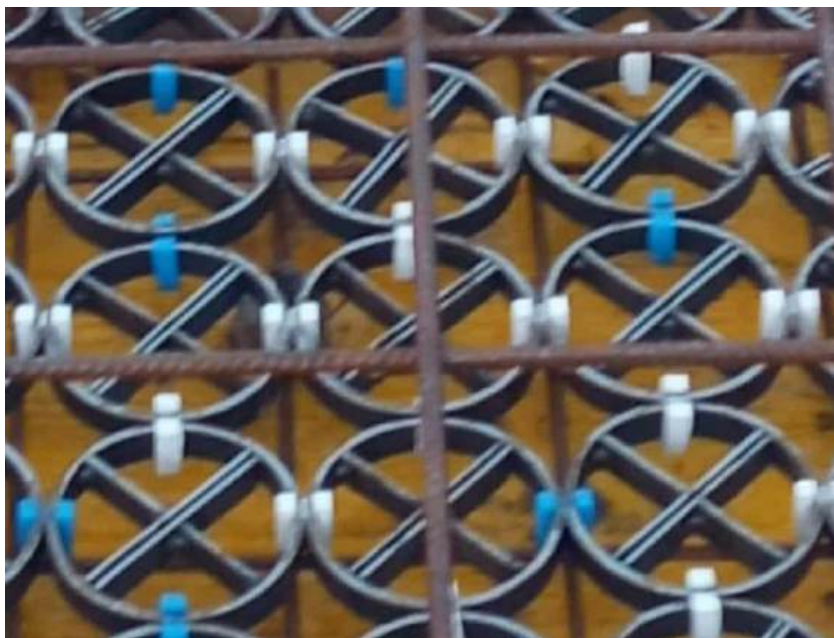
Slika 4.6: Osiguranje zaštitnog sloja i veze između gornje i donje armature na bočnim stranama



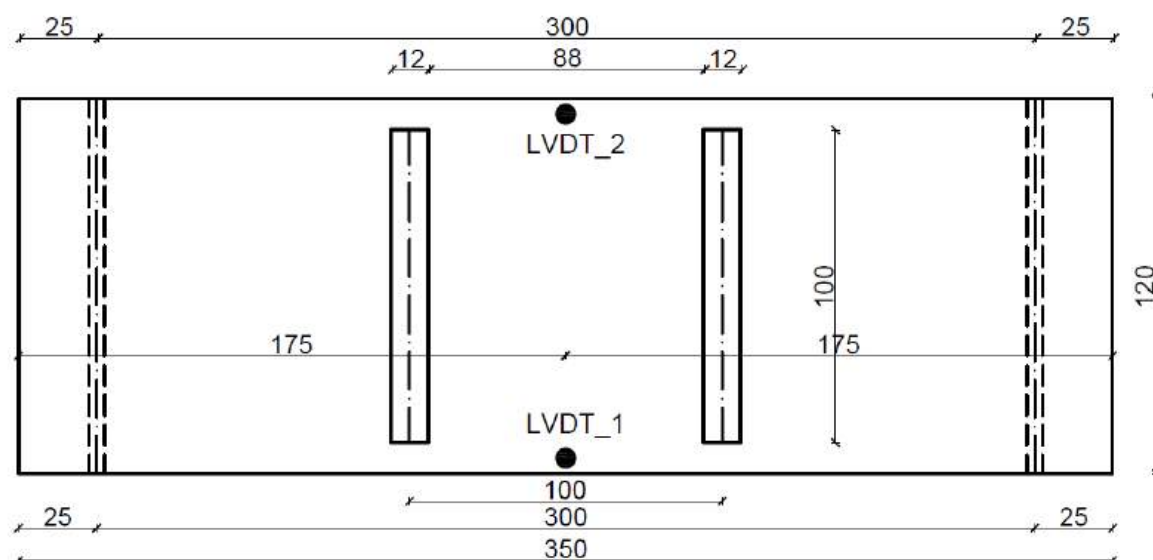
Slika 4.7: Osiguranje zaštitnog sloja i veze između gornje i donje armature na prednjoj i stražnjoj strani

Ovih šest uzoraka ispitalo se na savijanje metodom savijanja u četiri točke. Plošni je nosač bio slobodno oslonjen i opterećen kontrolirano s dvije sile na trećini raspona s obje strane. Kod ispitivanja na razini konstrukcijskog elementa pratio se odnos opterećenja i deformacija, pojava pukotina i krajnja nosivost (trenutak početka tečenja armature u vlačnoj zoni). Plošni nosač je oslonjen na dvije čelične cijevi promjera 4,9 cm. Takvo oslanjanje plošnog nosača na ovu cijev predstavlja slobodno

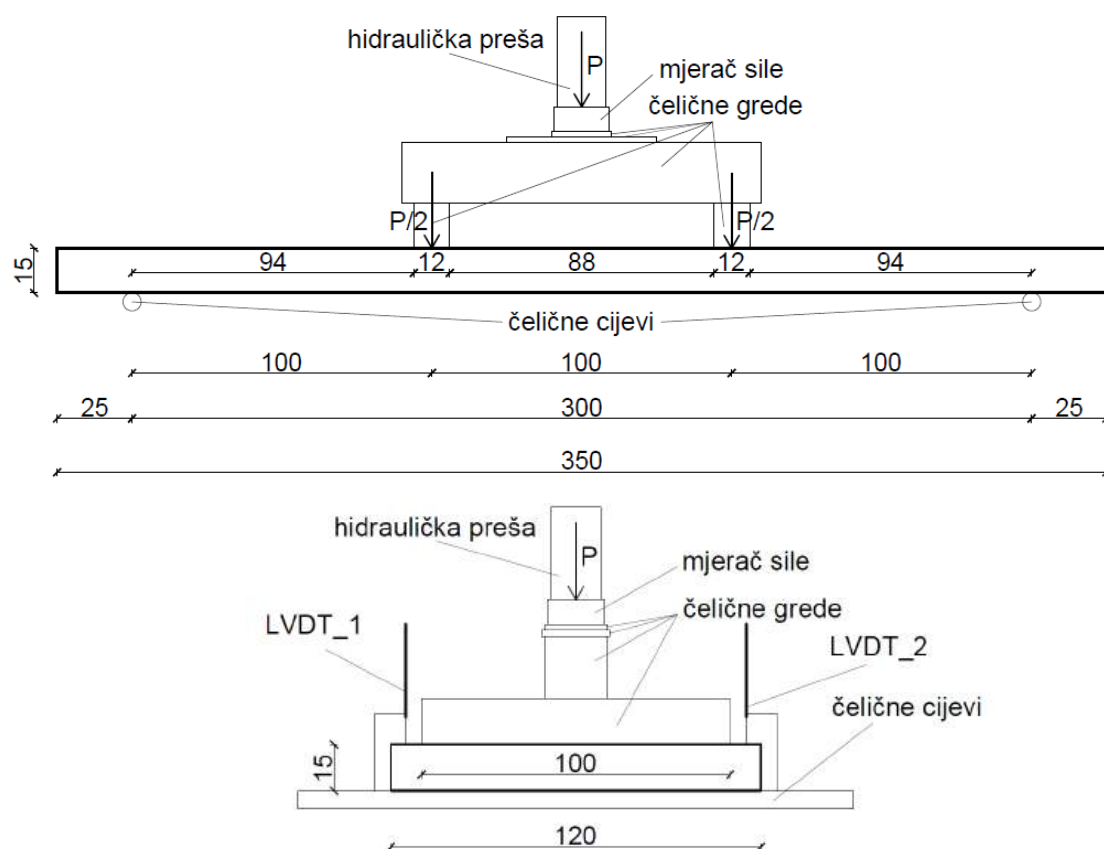
oslonjenu gredu. Osni razmak između čeličnih cijevi na koje je oslonjen plošni nosač je 3,0 m. Sile su se unosile preko hidrauličke preše (prikazana na slici 4.10), zatim preko dvije male čelične pločice, nakon toga preko čelične grede debljine 20 cm i dužine 120 cm i opterećenje se na plošne nosače nanosilo kontrolirano silom preko dvije čelične grede u trećinama raspona dužine 1,0 m i debljine 12 cm. Izmjere i volumen mikrovalnih rezonatora su jednake kao na slici 3.12. Oblik i način vezivanja križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazani su na slici 4.8. Primjeri ispitivanja plošnih nosača prikazani su na slikama 4.9, 4.10 i 4.11.



Slika 4.8: Oblik i način vezivanja križnih čeličnih mikrovalnih rezonatora koji su ugrađeni u ispitani plošni nosač



Slika 4.9: Tlocrtne dimenzije ispitivanog plošnog nosača



Slika 4.10: Nacrt bočnog pogleda ispitivanog plošnog nosača

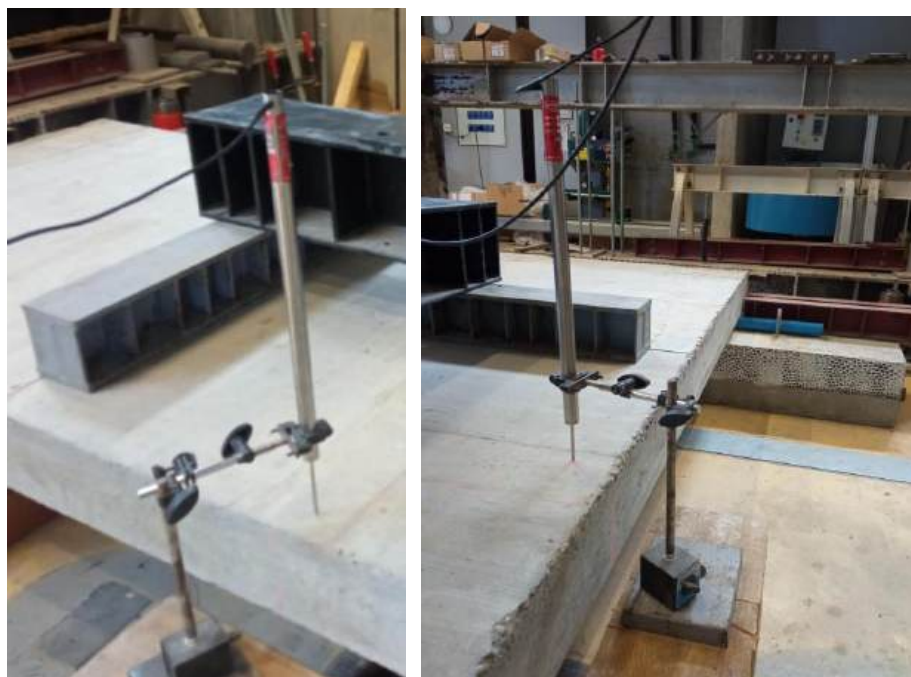


Slika 4.11: Ispitani plošni nosač

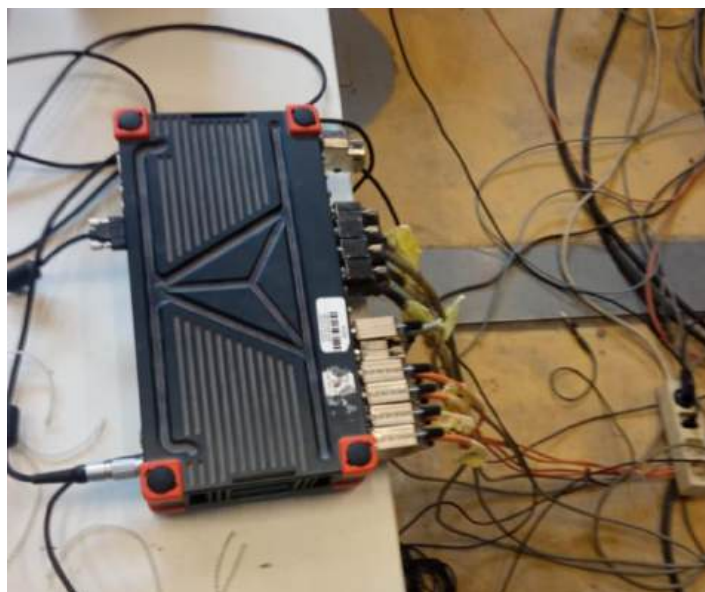
Mjerenje sila mjerilo se senzorom tipa Burster 8438-6200 kapaciteta 200 kN s maksimalnim odstupanjem $\pm 0,5 \%$ (prikazano na slici 4.12). Mjerna nesigurnost je tipa B i iznosi 0,28 %. Progibi su se mjerili s LVDT senzorima tipa DCTH3000A ± 75 mm s maksimalnim odstupanjem $\pm 0,5 \%$ (prikazano na slici 4.13). Mjerna nesigurnost je tipa B i iznosi 0,28 %. Za unos sile korištena je hidraulička preša kapaciteta 200 kN. Mjerni uređaji su spojeni na mjernu stanicu (prikazano na slici 4.14), a mjerna stanica je spojena na računalo (prikazano na slici 4.15). Opterećenje se nanosilo ručno, pomoću pumpe, i postojale su određene pauze na određenim iznosima kako bi se pregledao ima li pukotina na nosaču i kakve su. Tim ispitivanjem htjelo se vidjeti kakva je savojna čvrstoća betonskog plošnog nosača poboljšane otpornosti na prodor EM zračenja u odnosu na plošni nosač armiran samo mrežastom armaturom.



Slika 4.12: Hidraulička preša i ispod nje mjeri silu Burster 8438-6200 kapaciteta 200 kN



Slika 4.13: LVDT_1 senzor (lijevo) i LVDT_2 senzor (desno)

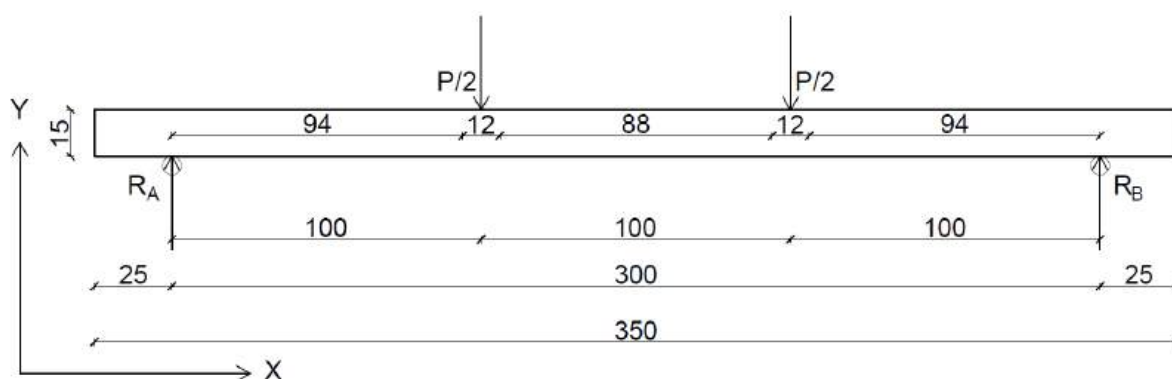


Slika 4.14: Mjerna stanica



Slika 4.15: Prikaz mjernog sustava

Za proračun momenata pri pojavi prve pukotine koristio se statički sustav sa slike 4.16 (koji je ujedno i statički sustav eksperimentalnih ispitivanja).



Slika 4.16: Statički sustav eksperimentalnih ispitivanja

Prvo se izračunaju reakcije u osloncima A i B. Pošto ne postoje horizontalne sile, samim time se ne računaju. U proračun ulaze samo vertikalne sile, tj. sile po Y osi. Pri proračunu reakcija u osloncima ovog statičkog sustava postavljaju se sljedeće statičke jednadžbe:

$$\sum Y = R_A + R_B - 2 \cdot \frac{P}{2} = 0 \quad (4.1)$$

$$\sum M_A = \frac{P}{2} \cdot 1 + \frac{P}{2} \cdot 2 - R_B \cdot 3 = 0 \quad (4.2)$$

gdje su:

$\sum Y$ - zbroj svih sila po Y komponenti (za statički sustav u stanju ravnoteže zbroj svih sila mora biti jednak nuli)

$\sum M_A$ - zbroj momenata oko točke A (za statički sustav u stanju ravnoteže zbroj svih momenata oko određene točke mora biti jednak nuli)

R_A - reakcija u osloncu A

R_B - reakcija u osloncu B

P - ukupna sila koja opterećuje plošni nosač

Pošto u jednadžbi 4.1 postoje dvije nepoznanice, najprije se rješava jednadžba 4.2. U jednadžbi 4.2 nepoznanica R_B računa se na sljedeći način:

$$\frac{P}{2} \cdot 1 + \frac{P}{2} \cdot 2 - R_B \cdot 3 = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{P}{2} \cdot 1 + \frac{P}{2} \cdot 2 = R_B \cdot 3 \quad (4.4)$$

$$R_B \cdot 3 = \frac{P}{2} \cdot 1 + \frac{P}{2} \cdot 2 \quad (4.5)$$

$$3R_B = 3 \cdot \frac{P}{2} \quad (4.6)$$

$$R_B = \frac{P}{2} \quad (4.7)$$

Nakon što se izračunala reakcija u osloncu B, rezultat se uvrštava u jednadžbu 4.1 i izračuna se reakcija u osloncu A na sljedeći način:

$$R_A + \frac{P}{2} \cdot 2 - \frac{P}{2} = 0 \quad (4.8)$$

$$R_A - \frac{P}{2} = 0 \quad (4.9)$$

$$R_A = \frac{P}{2} \quad (4.10)$$

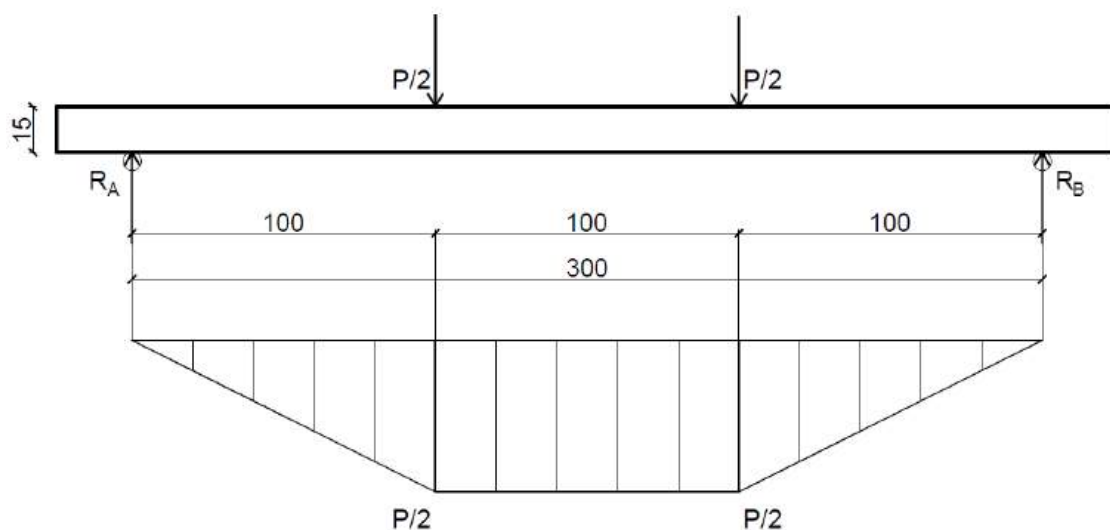
Nakon proračuna reakcija u osloncima mjere se vrijednosti momenta savijanja po dužini plošnog nosača i crta se dijagram momenata savijanja. Moment savijanja u osloncima jednak je nuli iz razloga jer nema nijedne sile od rubova do oslonaca. Moment na prvoj trećini raspona računa se prema sljedećem izrazu:

$$M_{L/3} = R_A \cdot 1 = \frac{P}{2} \quad (4.11)$$

Moment na drugoj trećini promatra se s desne strane iz razloga jer je svejedno s koje se strane promatra statički sustav pri proračunu momenata savijanja u određenim točkama i dobije se jednak rezultat, a jednostavnije je računati s desne strane:

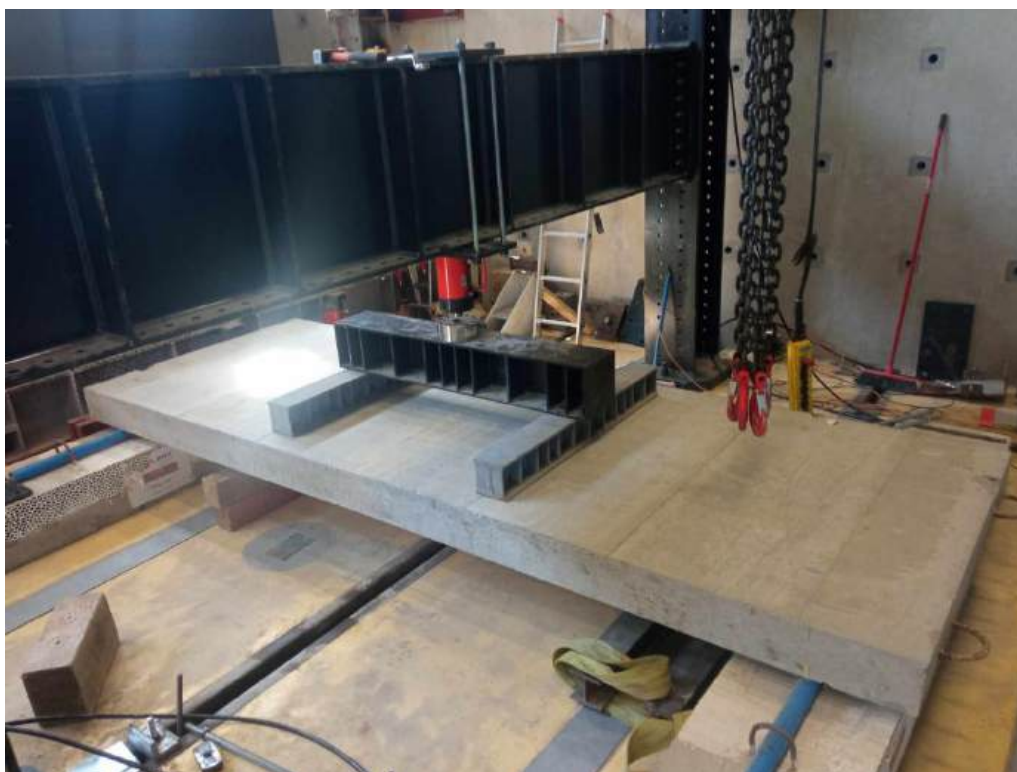
$$M_{2L/3} = R_B \cdot 1 = \frac{P}{2} \quad (4.12)$$

S obzirom kako su izračunati momenti savijanja u svim karakterističnim točkama, može se nacrtati dijagram momenata savijanja koji je prikazan na slici 4.17. Sa slike se vidi kako je maksimalni moment savijanja dvostruko manji u odnosu na ukupnu silu kojom se opterećuje plošni nosač.



Slika 4.17: Dijagram momenata savijanja plošnog nosača

Na slikama od 4.18 do 4.23 prikazani su plošni nosači pripremljeni za eksperimentalno ispitivanje. Plošni nosač P-P-1 označen je s brojem 1, plošni nosač P-P-2 s brojem 2, plošni nosač P-P-3 s brojem 3, plošni nosač P-K-1 s brojem 4, plošni nosač P-K-2 s brojem 5, a plošni nosač P-K-3 s brojem 6.



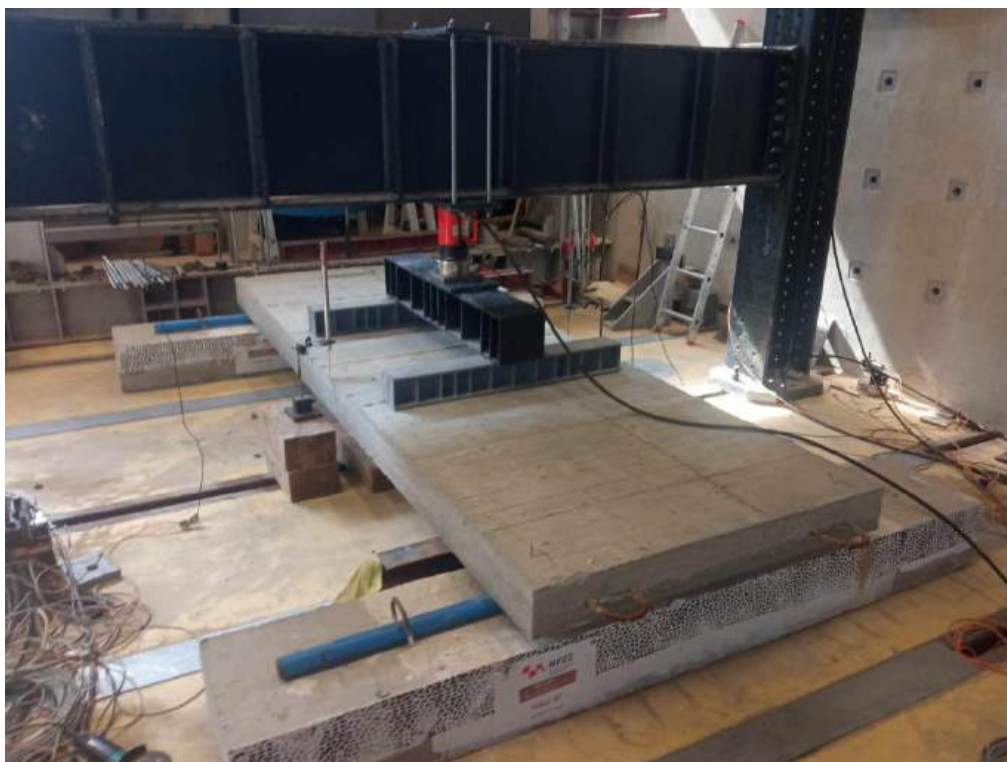
Slika 4.18: Plošni nosač P-P-1



Slika 4.19: Plošni nosač P-P-2



Slika 4.20: Plošni nosač P-P-3



Slika 4.21: Plošni nosač P-K-1



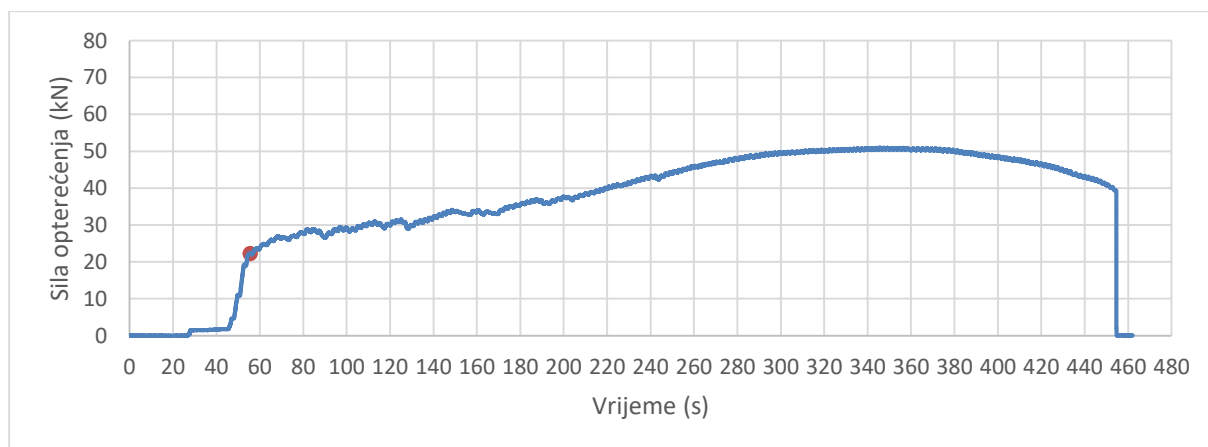
Slika 4.22: Plošni nosač P-K-2



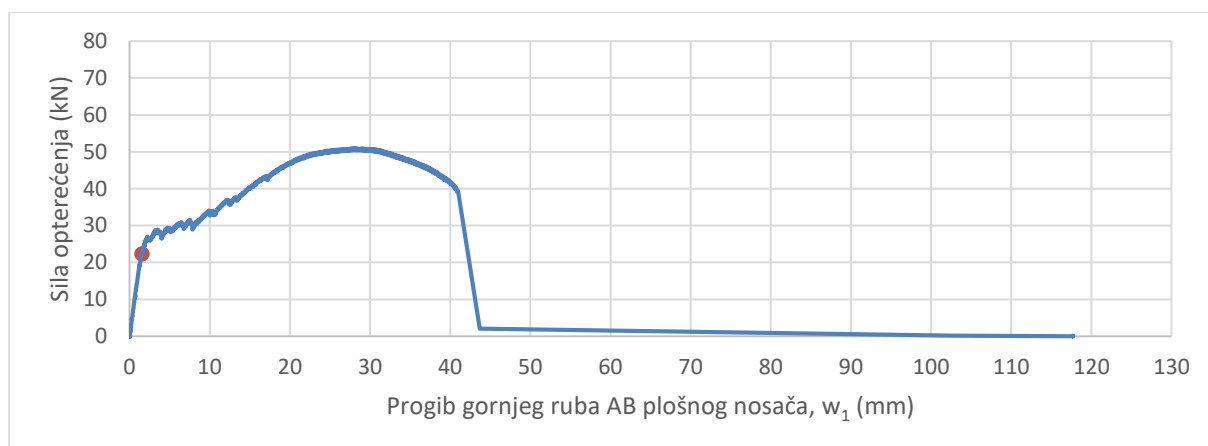
Slika 4.23: Plošni nosač P-K-3

Pojava prve pukotine kod P-P-1 javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,31 kN nakon 55,5 sekundi. Pojava prve pukotine se iščitava u trenutku kada povećanjem nanošenja opterećenja mjerač sile pokazuje u blagom kontinuitetu manju silu. Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-1 prikazana je na slici 4.24. Trenutak pojave prve pukotine prikazan je crvenom točnom na svim dijagramima. Pojava prve pukotine je bitna zato jer to signalizira da je plošni nosač ušao u granično stanje nosivosti, odnosno u stanje uporabnog opterećenja. Pri pojavi prve pukotine lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 1,52 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 1,56 mm. Na slici 4.25 prikazan je dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w_1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom, dok je na slici 4.26 prikazan dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w_2 očitani LVDT_2 senzorom. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-1 pri pojavi prve pukotine, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitanih LVDT_1 senzorom i očitanih LVDT_2 senzorom, iznosi 1,54 mm. Na slici 4.27 prikazan je dijagram sila

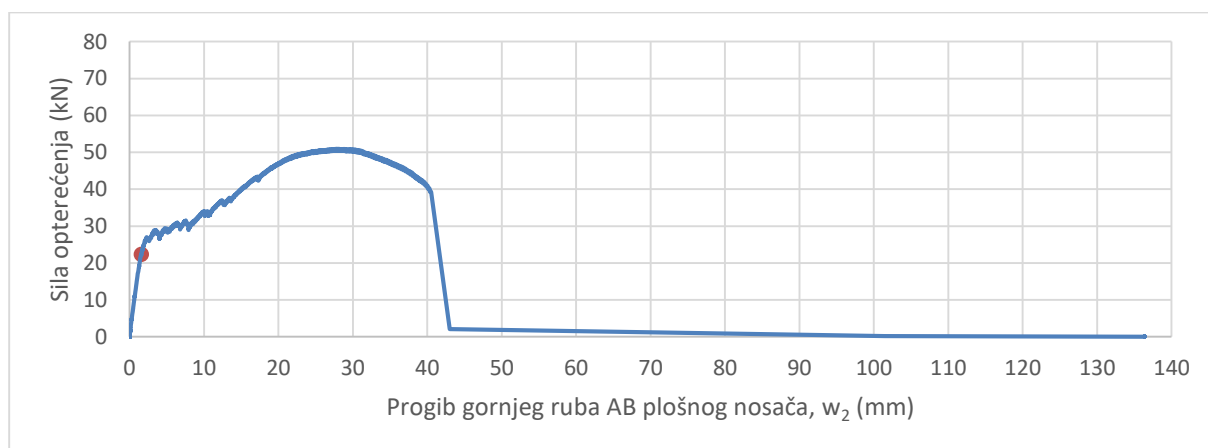
opterećenja – srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitano LVDT_1 senzorom i w_2 očitano LVDT_2 senzorom, $w = (w_1 + w_2)/2$. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-P-1 iznosi 11,15 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-P-1 dosegnuta je pri opterećenju od 50,87 kN nakon 358,3 sekunde. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-1 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 29,23 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 29,01 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-1, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 29,12 mm. Otkazivanje nosivosti javlja se pri opterećenju od 39,18 kN nakon 454,5 sekundi. Pri otkazivanju nosivosti plošnog nosača P-P-1 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 41 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 40,52 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-1, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 40,76 mm. Slom je nastupio u srednjoj trećini plošnog nosača. Prikaz oštećenja plošnog nosača P-P-1 nakon opterećenja prikazan je na slici 4.28. Pretpostavka je kako ne bi bilo razlike u rezultatima da se progib mjerio u neutralnoj osi ili na donjem rubu AB plošnog nosača, iz razloga što plošni nosač nije elastičan, pa je pretpostavka kako je progib u neutralnoj osi ili na donjem rubu plošnog nosača otprilike jednak.



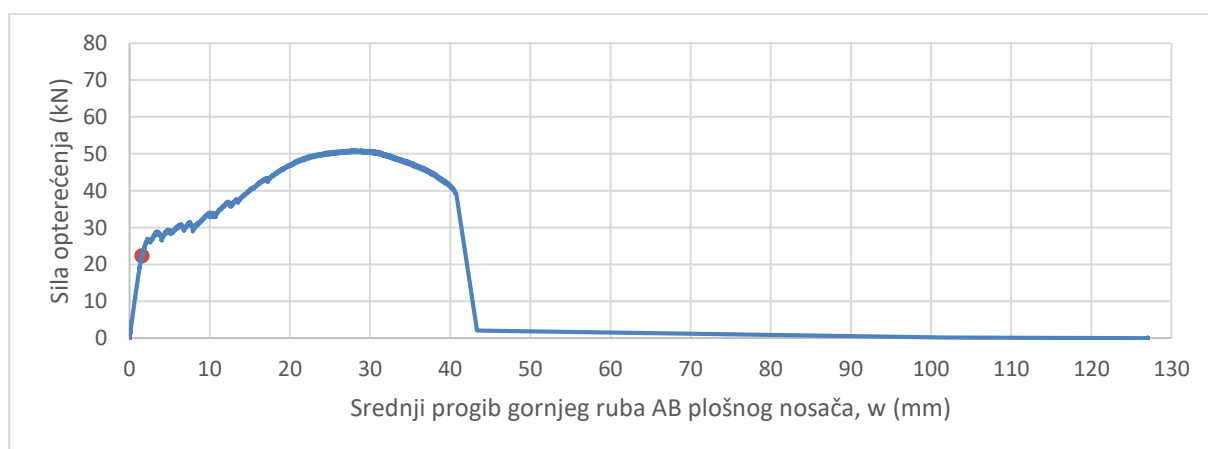
Slika 4.24: Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-1



Slika 4.25: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w_1 (mm) očitani LVDT_1 senzorom



Slika 4.26: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w_2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom



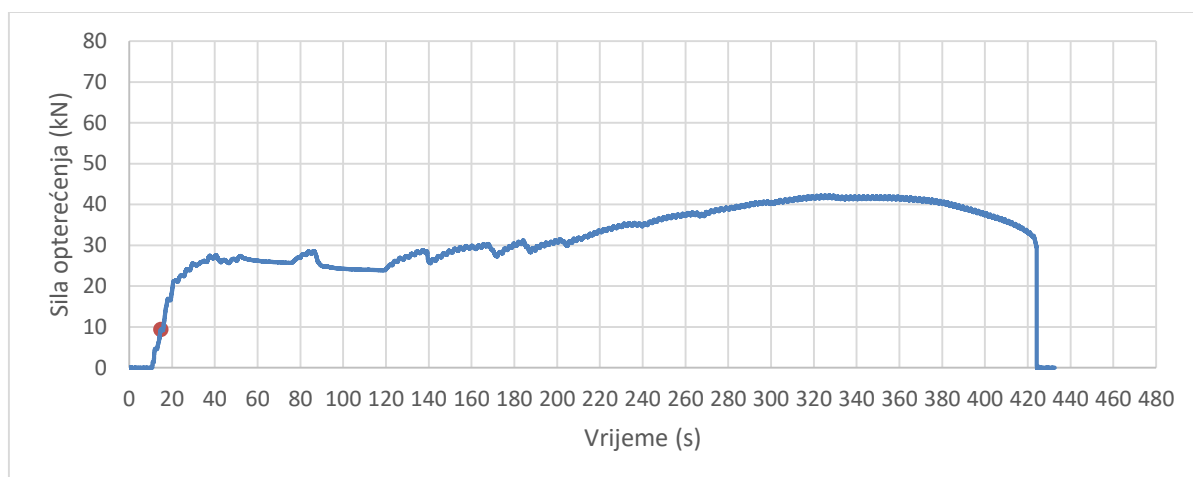
Slika 4.27: Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-1 w (mm)



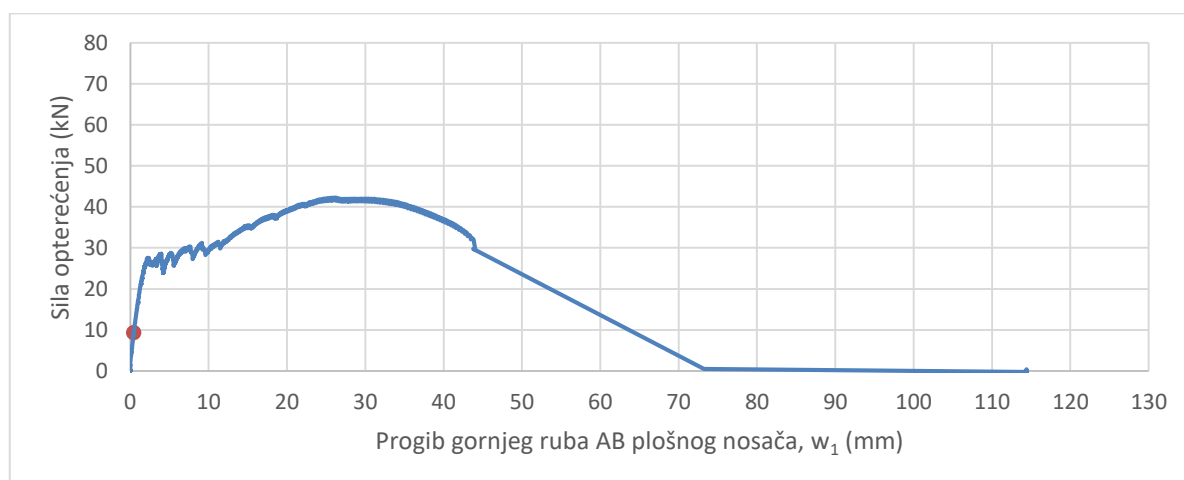


Slika 4.28: Oštećenje plošnog nosača P-P-1 tijekom opterećenja

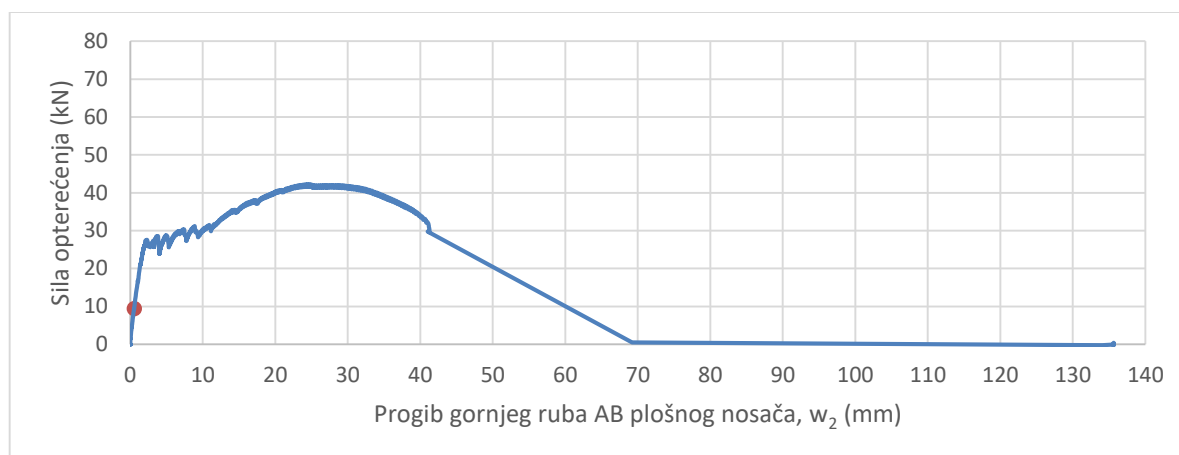
Kod plošnog nosača P-P-2 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,38 kN nakon 14,8 sekundi. Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-2 prikazana je na slici 4.29. Pri pojavi prve pukotine lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 0,43 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 0,52 mm. Na slici 4.30 prikazan je dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w_1 (mm) očitano LVDT_1 senzorom, dok je na slici 4.31 prikazan dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w_2 očitano LVDT_2 senzorom. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-2 pri pojavi prve pukotine, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 0,48 mm. Na slici 4.32 prikazan je dijagram sila opterećenja – srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitano LVDT_1 senzorom i w_2 očitano LVDT_2 senzorom, $w = (w_1 + w_2)/2$. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-P-2 iznosi 4,69 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-P-2 dosegnuta je pri opterećenju od 42,28 kN nakon 327,2 sekunde. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-2 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 26,24 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 24,72 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-2, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 25,48 mm. Otkazivanje nosivosti javlja se pri opterećenju od 29,75 kN nakon 424,1 sekunde. Pri otkazivanju nosivosti plošnog nosača P-P-2 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 43,77 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 41,01 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-1, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 42,39 mm. Slom je nastupio u srednjoj trećini plošnog nosača. Prikaz oštećenja plošnog nosača P-P-2 nakon opterećenja prikazan je na slici 4.33.



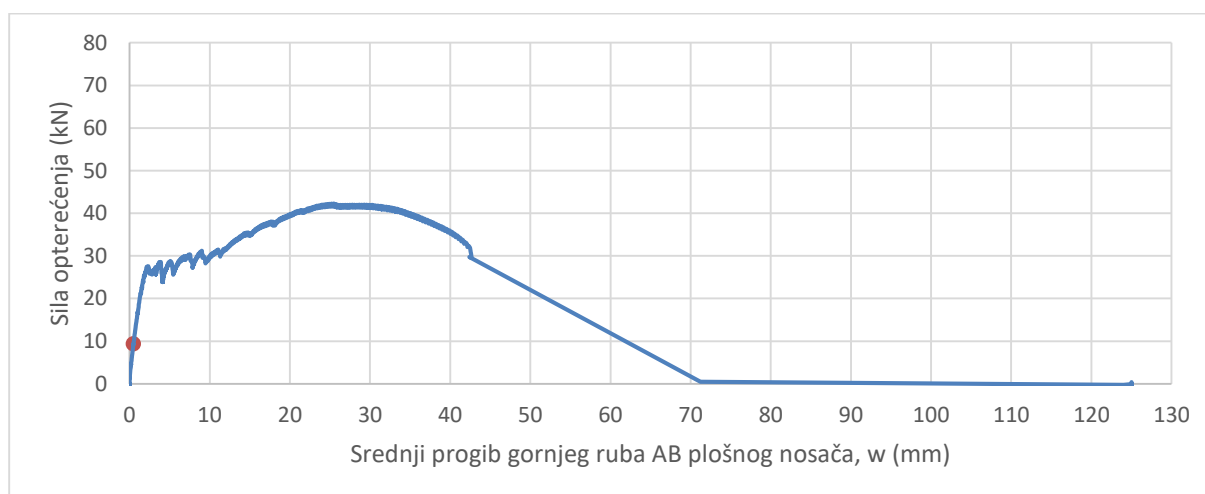
Slika 4.29: Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-2



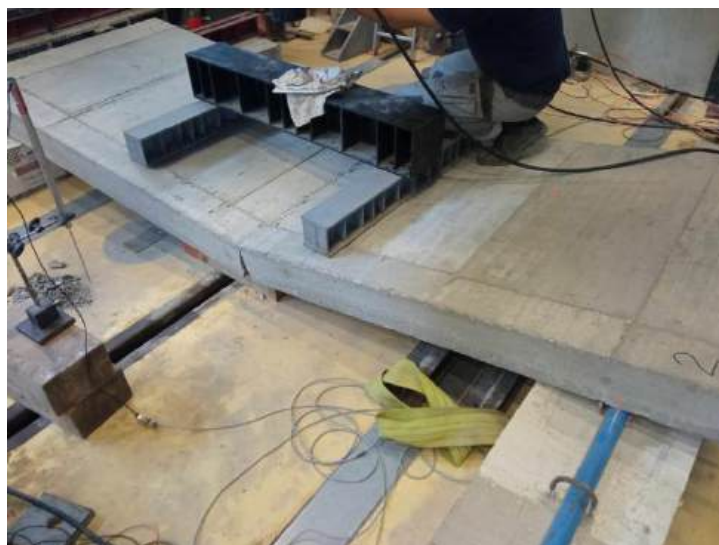
Slika 4.30: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2
 w_1 (mm) očitán LVDT_1 senzorom

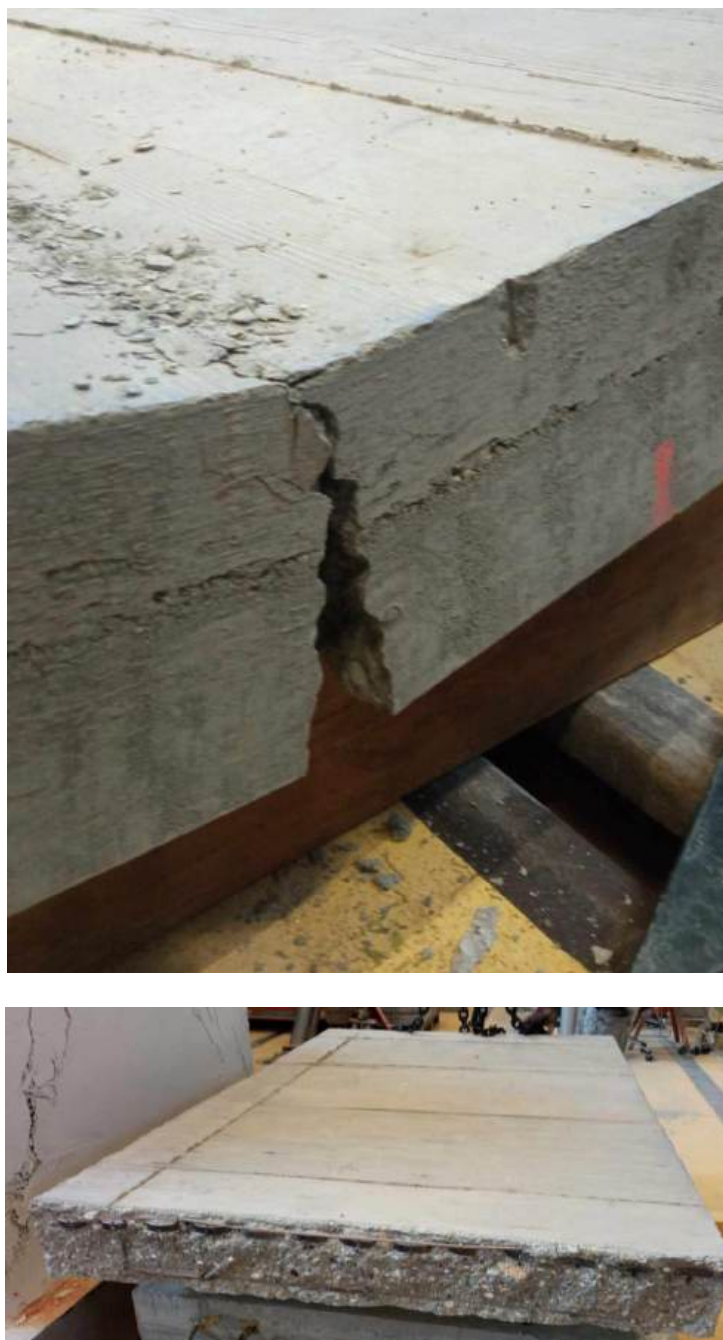


Slika 4.31: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w_2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom



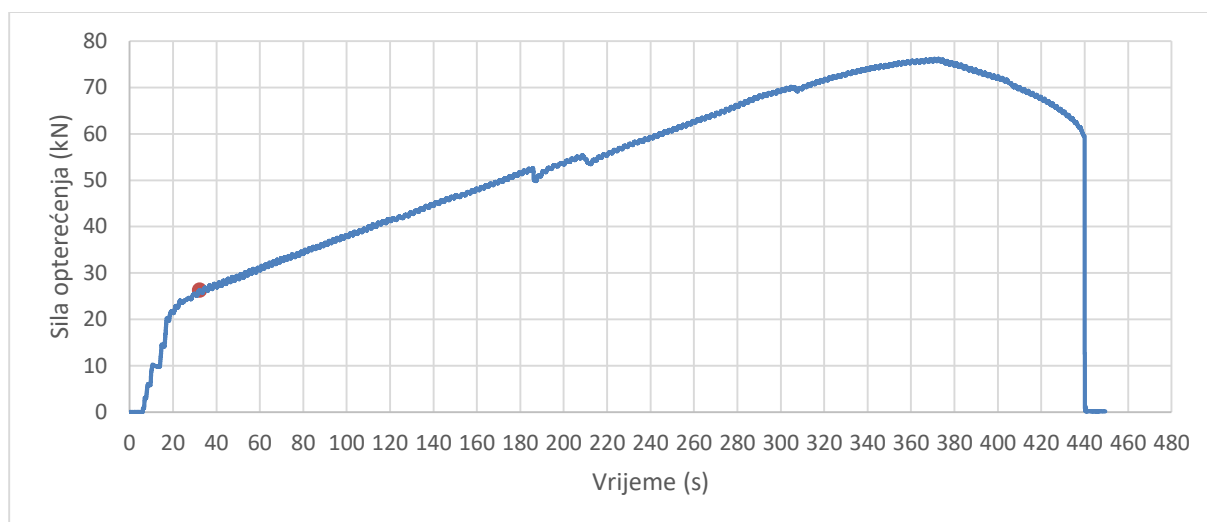
Slika 4.32: Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-2 w (mm)



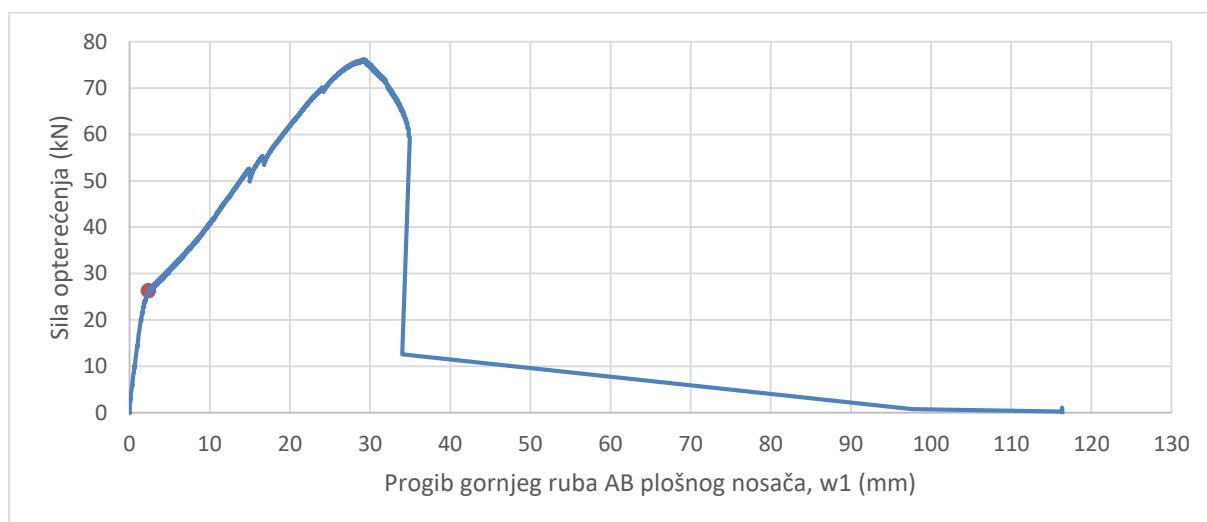


Slika 4.33: Oštećenje plošnog nosača P-P-2 tijekom opterećenja

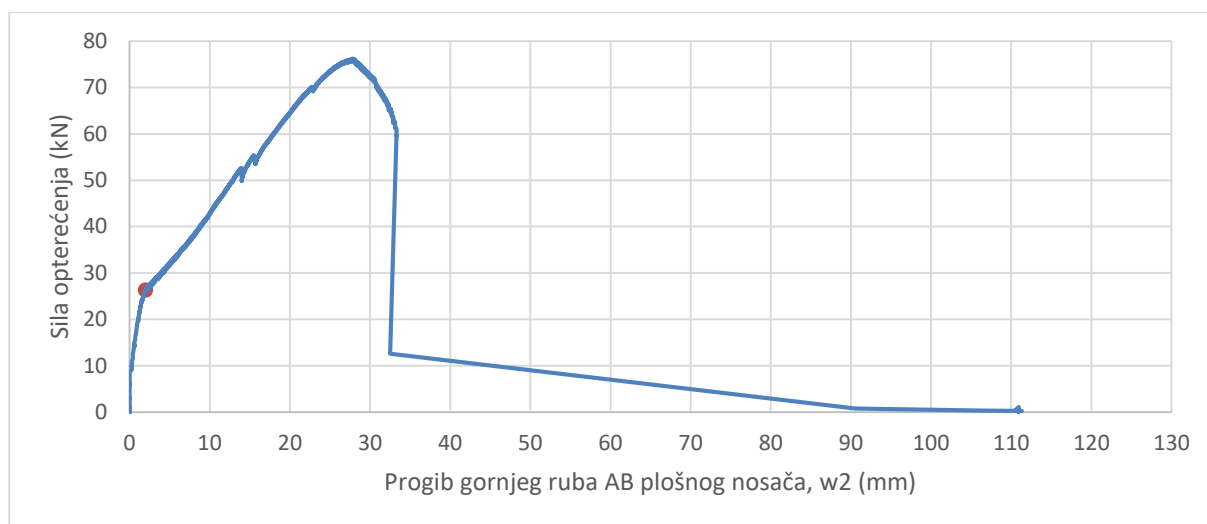
Što se ploče P-P-3 tiče, pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 26,30 kN nakon 32,3 sekunde. Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-3 prikazana je na slici 4.34. Pri pojavi prve pukotine lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,36 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 1,97 mm. Na slici 4.35 prikazan je dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w_1 (mm) očitano LVDT_1 senzorom, dok je na slici 4.36 prikazan dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w_2 očitano LVDT_2 senzorom. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-3 pri pojavi prve pukotine, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 2,17 mm. Na slici 4.37 prikazan je dijagram sila opterećenja – srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitano LVDT_1 senzorom i w_2 očitano LVDT_2 senzorom, $w = (w_1 + w_2)/2$. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-P-3 iznosi 13,15 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-P-3 dosegnuta je pri opterećenju od 76,22 kN nakon 370,8 sekunde. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-3 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 29,19 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 27,82 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-3, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 28,51 mm. Otkazivanje nosivosti javlja se pri opterećenju od 59,33 kN nakon 439,9 sekunde. Pri otkazivanju nosivosti plošnog nosača P-P-3 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 34,96 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 33,30 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-P-3, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 34,13 mm. Slom je nastupio u desnoj trećini plošnog nosača. Prikaz oštećenja plošnog nosača P-P-3 nakon opterećenja prikazan je na slici 4.38.



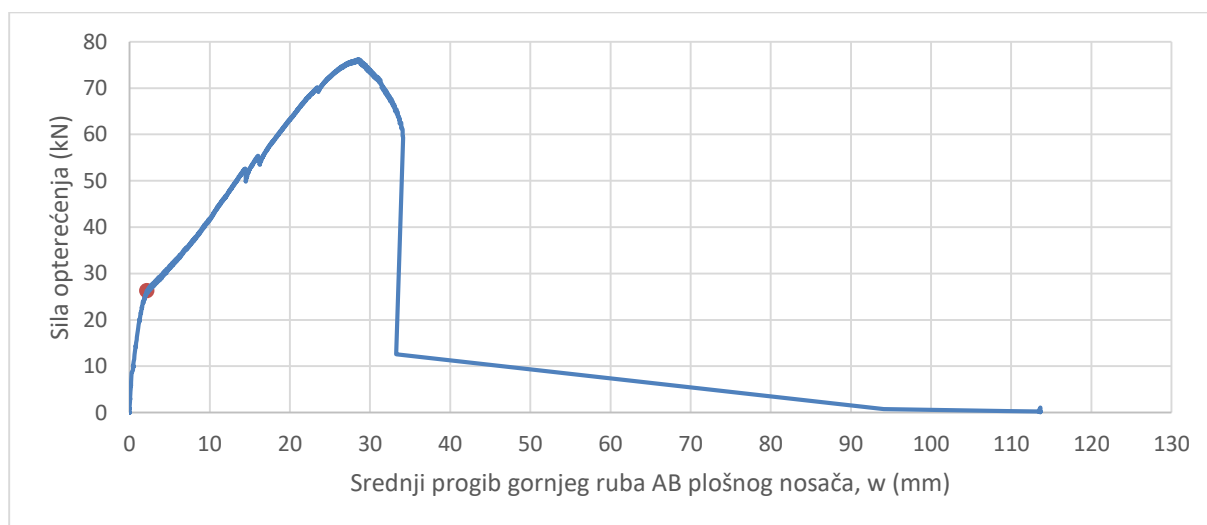
Slika 4.34: Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-P-3



Slika 4.35: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3
 w_1 (mm) očitao LVDT_1 senzorom



Slika 4.36: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w_2 (mm) očitao LVDT_2 senzorom



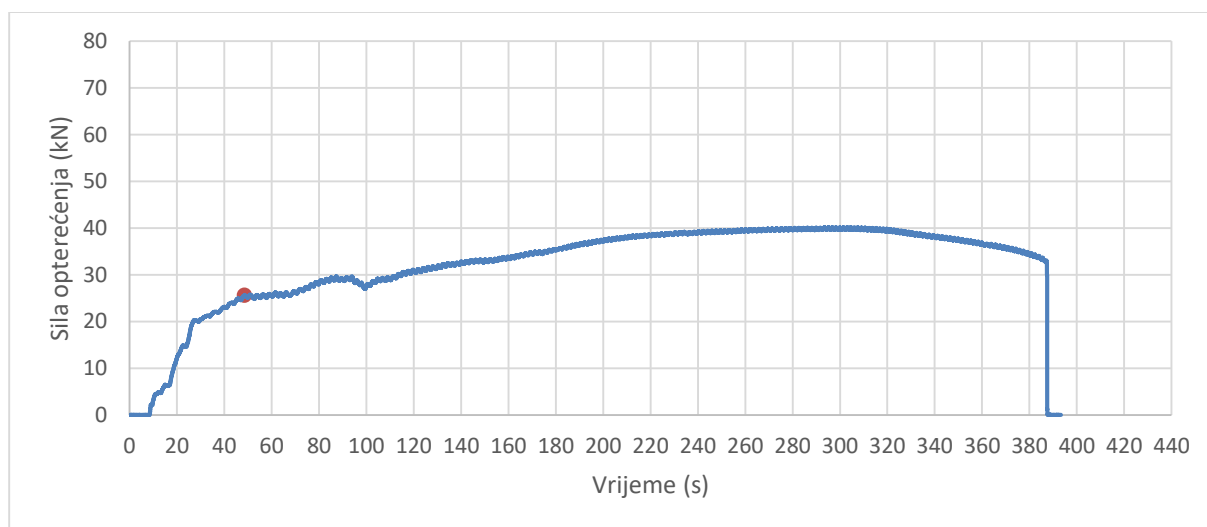
Slika 4.37: Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-P-3 w (mm)



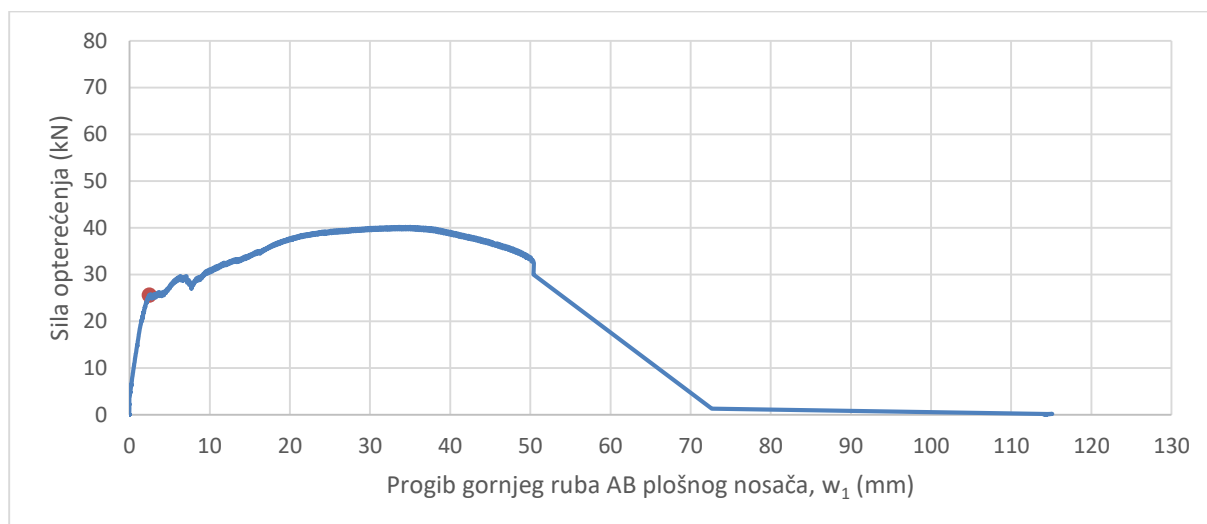


Slika 4.38: Oštećenje plošnog nosača P-P-3 tijekom opterećenja

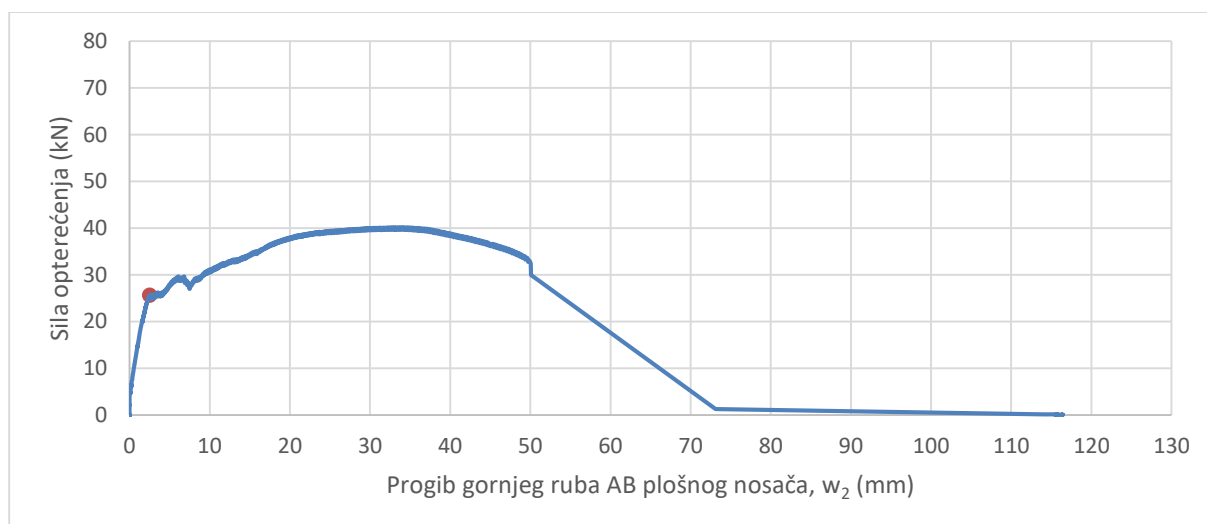
Pojava prve pukotine kod ploče P-K-1 javlja se pri ukupnom opterećenju od 25,63 kN nakon 48,5 sekundi. Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-1 prikazana je na slici 4.39. Pri pojavi prve pukotine lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,47 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,49 mm. Na slici 4.40 prikazan je dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w_1 (mm) očitano LVDT_1 senzorom, dok je na slici 4.41 prikazan dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w_2 očitano LVDT_2 senzorom. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-1 pri pojavi prve pukotine, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 2,48 mm. Na slici 4.42 prikazan je dijagram sila opterećenja – srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitano LVDT_1 senzorom i w_2 očitano LVDT_2 senzorom, $w = (w_1 + w_2)/2$. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-K-1 iznosi 12,81 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-K-1 dosegnuta je pri opterećenju od 40,20 kN nakon 304,5 sekundi. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-1 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 34,97 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 34,15 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-1, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 34,56 mm. Otkazivanje nosivosti javlja se pri opterećenju od 29,98 kN nakon 387,4 sekunde. Pri otkazivanju nosivosti plošnog nosača P-K-1 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 50,39 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 50,09 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-1, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 50,24 mm. Slom je nastupio u srednjoj trećini plošnog nosača. Prikaz oštećenja plošnog nosača P-K-1 nakon opterećenja prikazan je na slici 4.43.



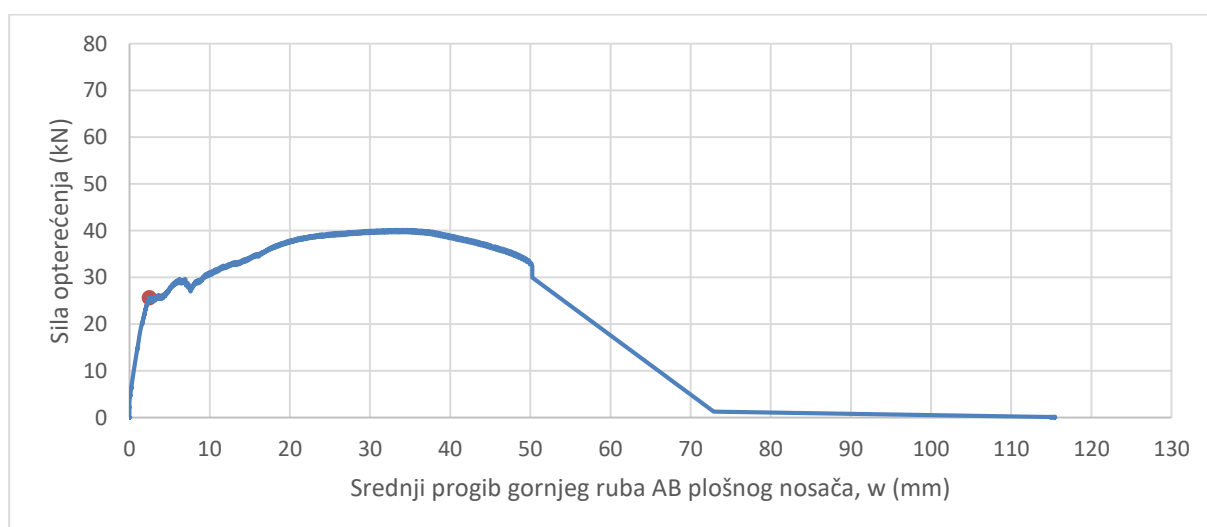
Slika 4.39: Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-1



Slika 4.40: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1
 w_1 (mm) očitán LVDT_1 senzorom



Slika 4.41: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w_2 (mm) očitán LVDT_2 senzorom



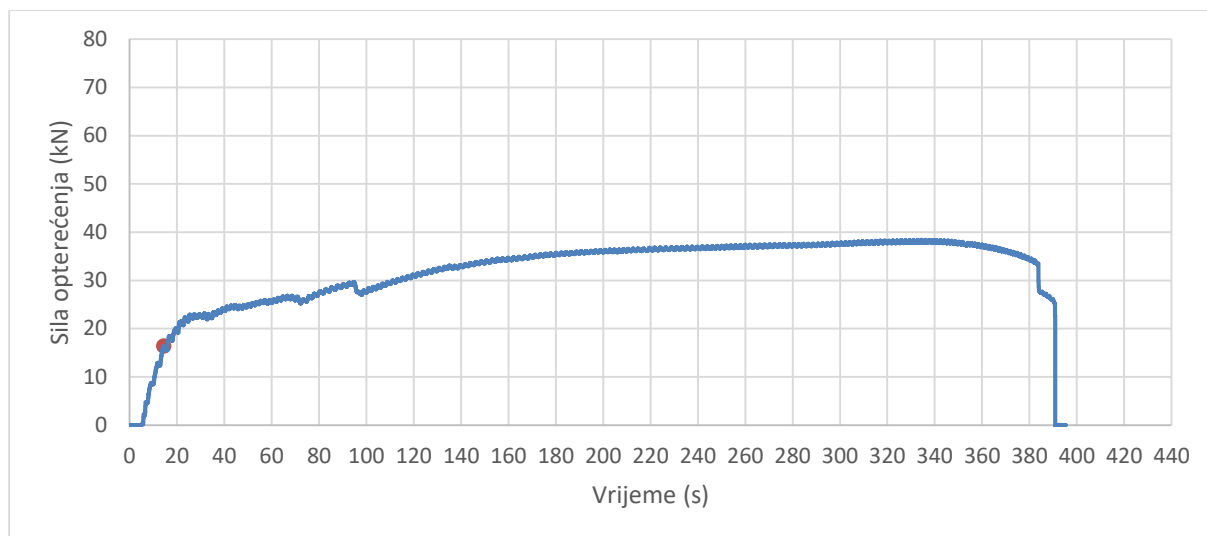
Slika 4.42: Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-1 w (mm)



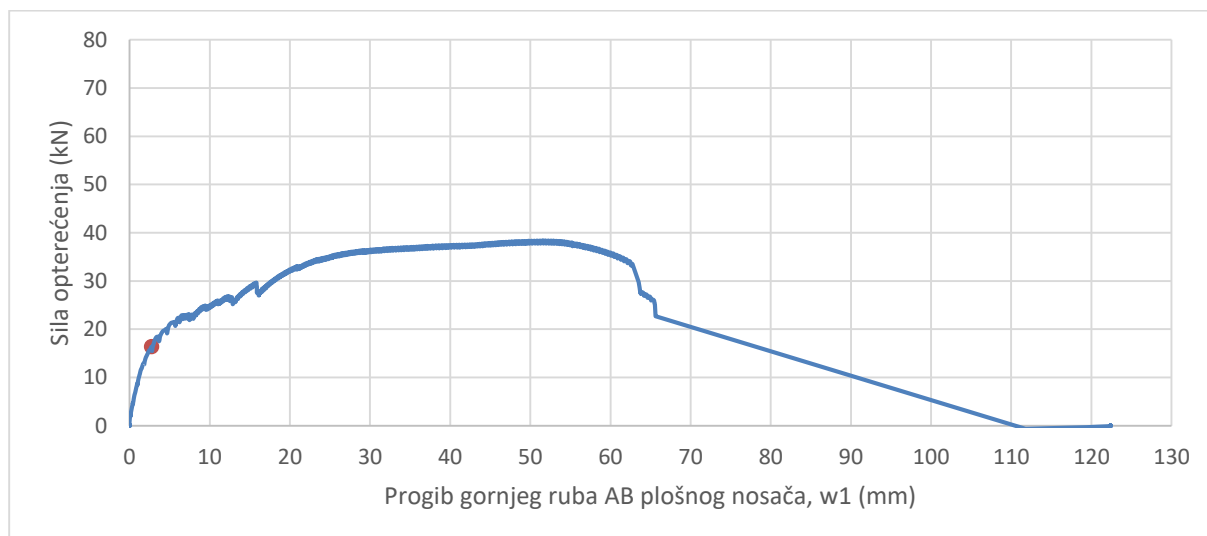


Slika 4.43: Oštećenje plošnog nosača P-K-1 tijekom opterećenja

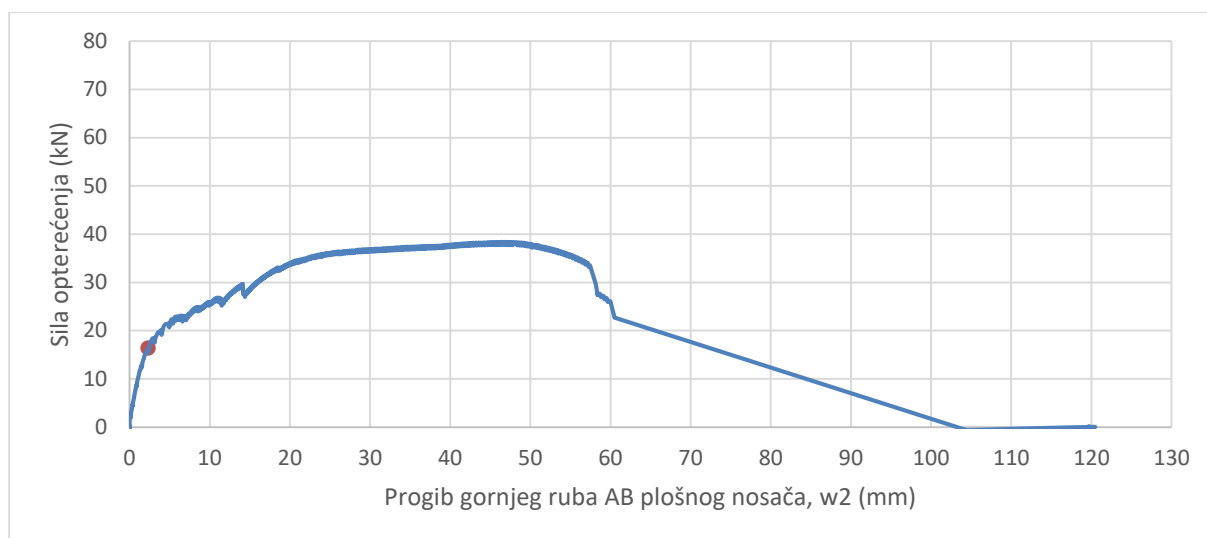
Kod ploče P-K-2 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 15,63 kN nakon 15,3 sekunde. Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-2 prikazana je na slici 4.44. Pri pojavi prve pukotine lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,79 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,33 mm. Na slici 4.45 prikazan je dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w_1 (mm) očitano LVDT_1 senzorom, dok je na slici 4.46 prikazan dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w_2 očitano LVDT_2 senzorom. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-2 pri pojavi prve pukotine, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 2,56 mm. Na slici 4.47 prikazan je dijagram sila opterećenja – srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitano LVDT_1 senzorom i w_2 očitano LVDT_2 senzorom, $w = (w_1 + w_2)/2$. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-K-2 iznosi 7,82 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-K-2 dosegnuta je pri opterećenju od 38,42 kN nakon 334,4 sekundi. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-2 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 51,58 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 46,46 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-2, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 49,02 mm. Otkazivanje nosivosti javlja se pri opterećenju od 33,47 kN nakon 383,6 sekunde. Pri otkazivanju nosivosti plošnog nosača P-K-2 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 62,63 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 57,34 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-2, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 59,99 mm. Slom je nastupio u srednjoj trećini plošnog nosača. Prikaz oštećenja plošnog nosača P-K-2 nakon opterećenja prikazan je na slici 4.48.



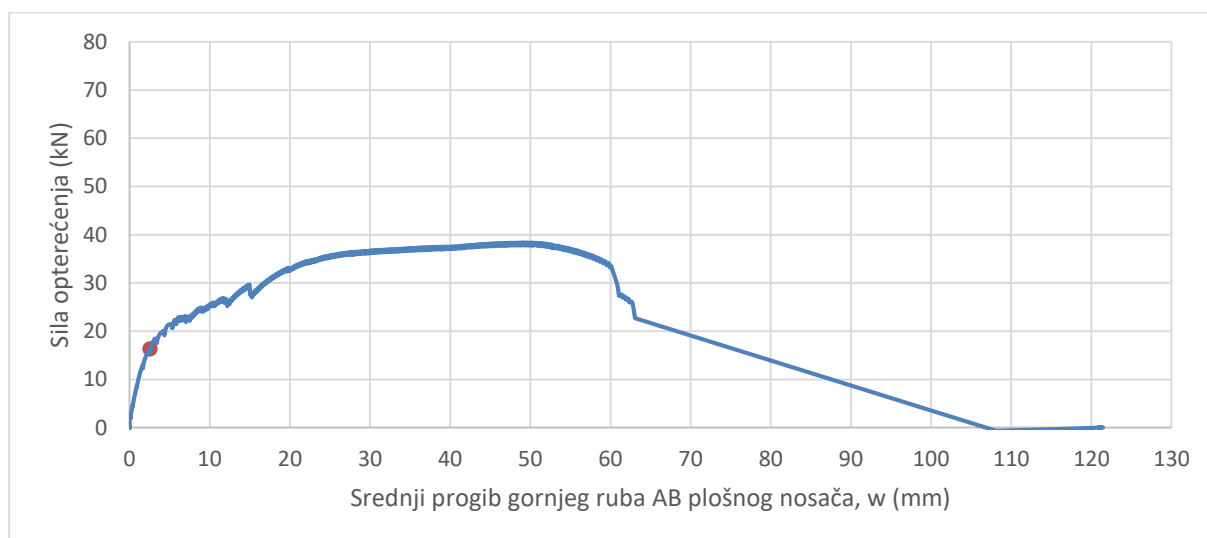
Slika 4.44: Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-2



Slika 4.45: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2
 w_1 (mm) očitao LVDT_1 senzorom



Slika 4.46: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w_2 (mm) očitao LVDT_2 senzorom



Slika 4.47: Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-2 w (mm)

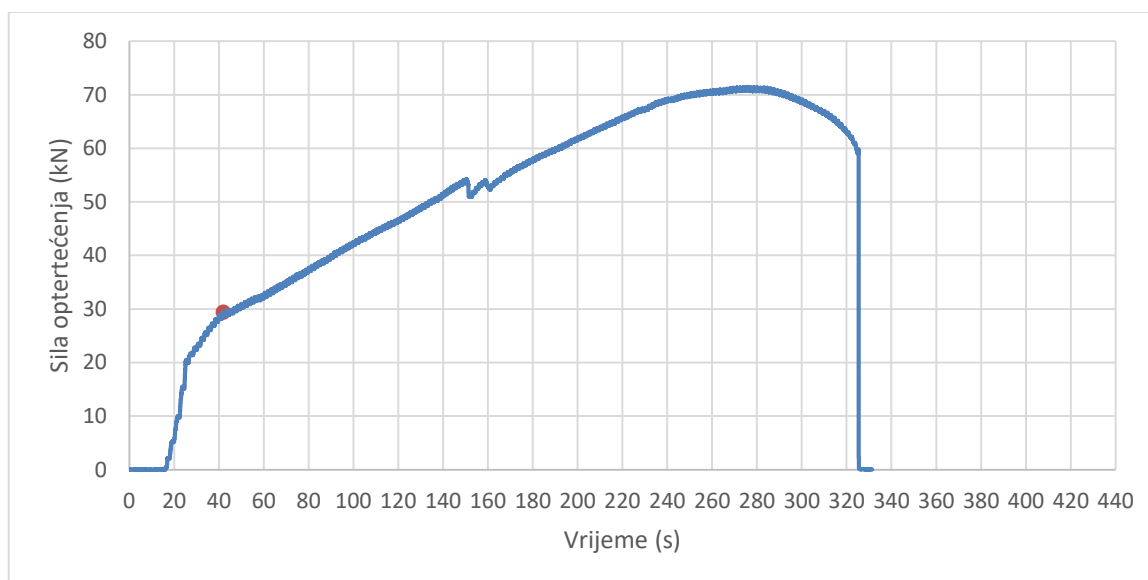




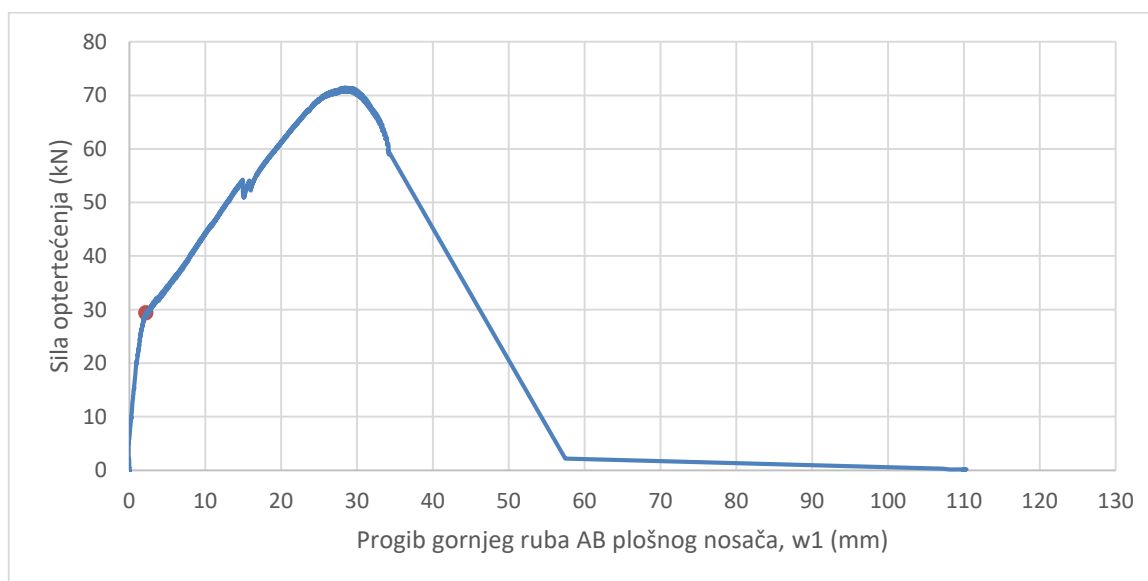
Slika 4.48: Oštećenje plošnog nosača P-K-2 tijekom opterećenja

Što se plošnog nosača P-K-3 tiče, pojava prve pukotine se javlja pri ukupnom opterećenju od 29,40 kN nakon 41,9 sekundi. Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-3 prikazana je na slici 4.49. Pri pojavi prve pukotine lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,16 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 2,76 mm. Na slici 4.50 prikazan je dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w_1 (mm) očitao LVDT_1 senzorom, dok je na slici 4.51 prikazan dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w_2 očitao LVDT_2 senzorom. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-3 pri pojavi prve pukotine, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 2,46 mm. Na slici 4.52 prikazan je dijagram sila opterećenja – srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w koji se dobiva

kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba w_1 očitano LVDT_1 senzorom i w_2 očitano LVDT_2 senzorom, $w = (w_1 + w_2)/2$. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-K-3 iznosi 14,70 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-K-3 dosegnuta je pri opterećenju od 71,47 kN nakon 275,6 sekundi. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-3 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 28,52 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 28,08 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-3, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 28,30 mm. Otkazivanje nosivosti javlja se pri opterećenju od 59,85 kN nakon 325,4 sekunde. Pri otkazivanju nosivosti plošnog nosača P-K-3 lijevi LVDT_1 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 34,06 mm, dok desni LVDT_2 senzor pokazuje progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 33,42 mm. Srednji progib gornjeg ruba plošnog nosača P-K-3, koji se dobiva kao srednja vrijednost progiba gornjeg ruba očitano LVDT_1 senzorom i očitano LVDT_2 senzorom, iznosi 33,74 mm. Slom je nastupio u lijevoj trećini plošnog nosača. Prikaz oštećenja plošnog nosača P-K-3 nakon opterećenja prikazan je na slici 4.53.



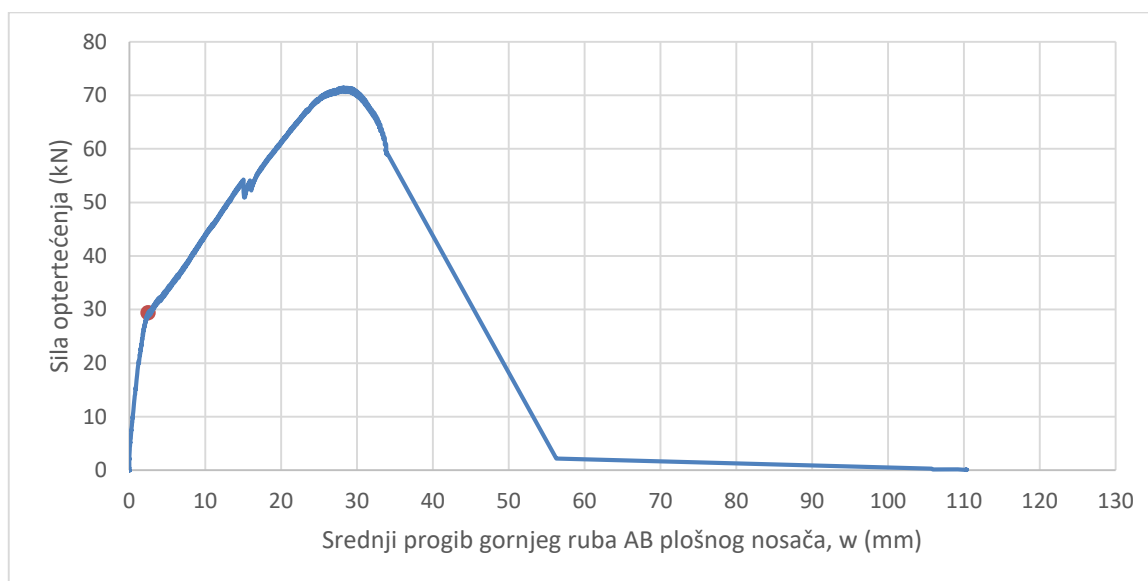
Slika 4.49: Procedura nanošenja opterećenja plošnog nosača P-K-3



Slika 4.50: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3
 w_1 (mm) očitao LVDT_1 senzorom



Slika 4.51: Dijagram sila opterećenja - progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w_2 (mm) očitani LVDT_2 senzorom



Slika 4.52: Dijagram sila opterećenja - srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača P-K-3 w (mm)





Slika 4.53: Oštećenje plošnog nosača P-K-3 tijekom opterećenja

Kod svih plošnih nosača do sloma je došlo preko armature. Nakon pojave prve pukotine daljnjim povećanjem opterećenja pojavile su se i druge pukotine što pokazuje kako je nastupio duktilni slom.

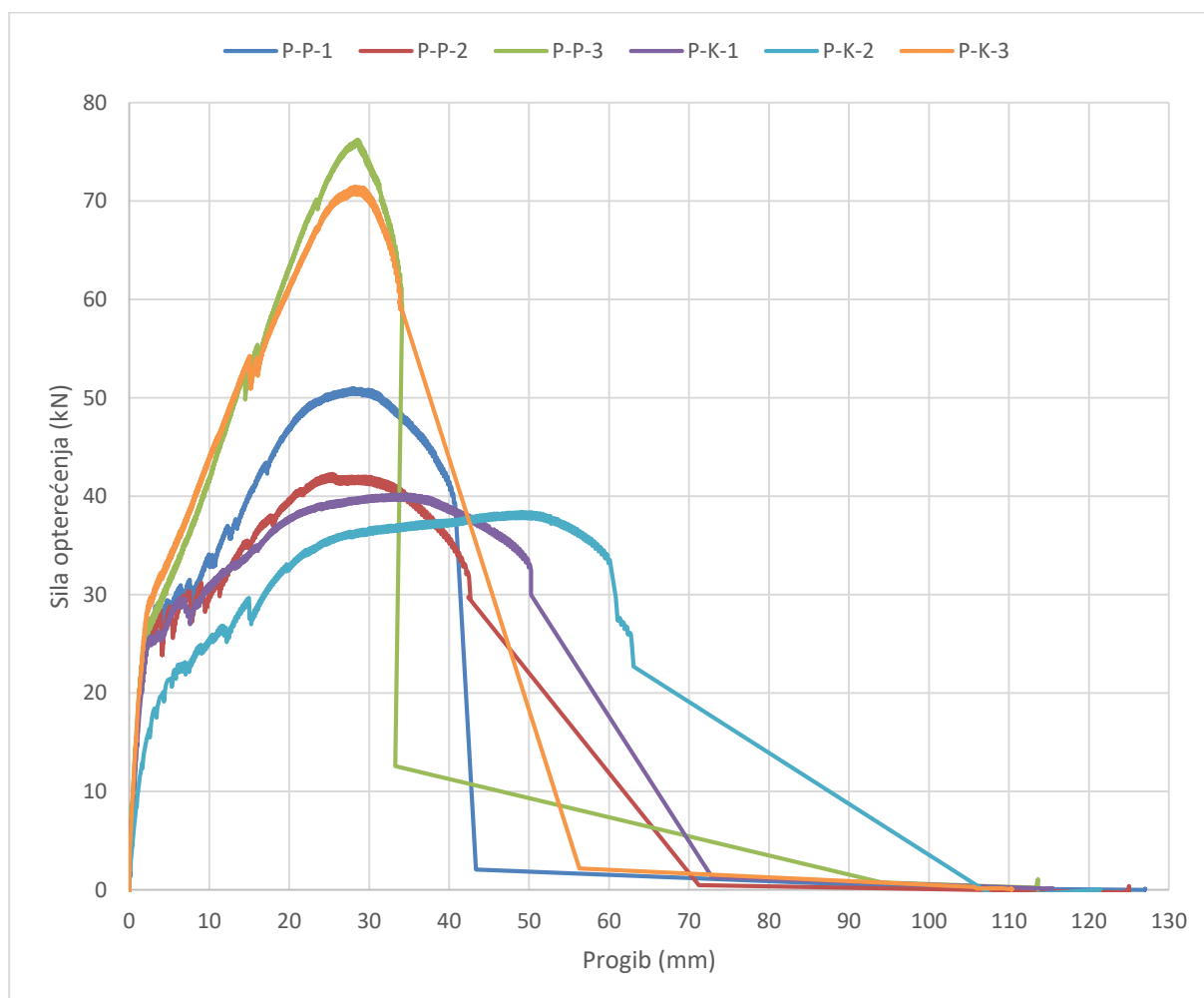
Armiranobetonski plošni nosači s mikrovalnim rezonatorima pokazali su veću nosivost na savijanje u odnosu na armiranobetonske plošne nosače bez njih, što znači kako mikrovalni rezonatori pozitivno djeluju na čvrstoću armiranobetonskih plošnih nosača na savijanje. Rezultati ispitivanja na razini konstrukcijskog elementa pokazuju kako dodatak čeličnih mikrovalnih rezonatora ne umanjuje čvrstoću plošnog nosača sa savijanje, odnosno djeluje pozitivno i na savijanje. Rezultati su prikazani u tablici 4.3.

Tablica 4.3: Rezultati ispitivanja plošnog nosača na razini konstrukcijskih elemenata

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine	Progib pri pojavi prve pukotine	Maksimalna nosivost	Progib pri maksimalnoj nosivosti
P-P-1	11,15 kNm	1,54 mm	50,87 kN	29,12 mm
P-P-2	4,69 kNm	0,48 mm	42,28 kN	25,48 mm
P-P-3	13,15 kNm	2,17 mm	76,22 kN	28,51 mm
P-K-1	12,81 kNm	2,48 mm	40,20 kN	34,56 mm
P-K-2	7,82 kNm	2,56 mm	38,42 kN	49,02 mm
P-K-3	14,70 kNm	2,46 mm	71,47 kN	28,30 mm

Iz tablice 4.3 vidi se kako plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i armirani mrežastom armaturom imaju veću nosivost i manji progib pri maksimalnoj nosivosti i pri otkazivanju nosivosti u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom bez mikrovalnih rezonatora. S druge strane plošni nosači armirani mrežastom armaturom bez mikrovalnih rezonatora mogu podnijeti veće opterećenje do pojave prve pukotine u odnosu na plošni nosač s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i armiran mrežastom armaturom. Također progib pri pojavi prve pukotine je veći kod plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom bez mikrovalnih rezonatora u odnosu na plošne nosače s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i armiranih mrežastom armaturom. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti kako čelični mikrovalni rezonatori doprinose većoj nosivosti plošnog nosača na savijanje, ali manjoj elastičnosti, tj. doprinose manjem progibu pri otkazivanju nosivosti. Čelični mikrovalni rezonatori dodatno učvršćuju betonski plošni nosač, odupiru se vanjskim opterećenjima, i samim time plošni nosači s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima imaju i bolju nosivost, tako da se može zaključiti kako su ti plošni nosači za primjenu bolji

od plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom bez mikrovalnih rezonatora. Također se može zaključiti kako čelični mikrovalni rezonatori doprinose ranijoj i lakšoj pojavi pukotina. Plošni nosači P-P-3 i P-K-3 pokazuju bolja svojstva nosivosti iz razloga što su te dvije ploče pojačane s dvostrukom mrežom u srednjoj trećini raspona u donjoj zoni što uvelike utječe na poboljšanje nosivosti, i iz tog razloga se lom kod tih plošnih nosača ne događa u srednjoj trećini nego u krajnjoj. Iz navedenih rezultata zaključuje se kako su plošni nosači armirani mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima bolji od kontrolnih uzoraka armiranih samo mrežastom armaturom jer čelični mikrovalni rezonatori dokazano povećavaju nosivost plošnog nosača na savijanje. Na slici 4.54 prikazana je usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača na savijanje.

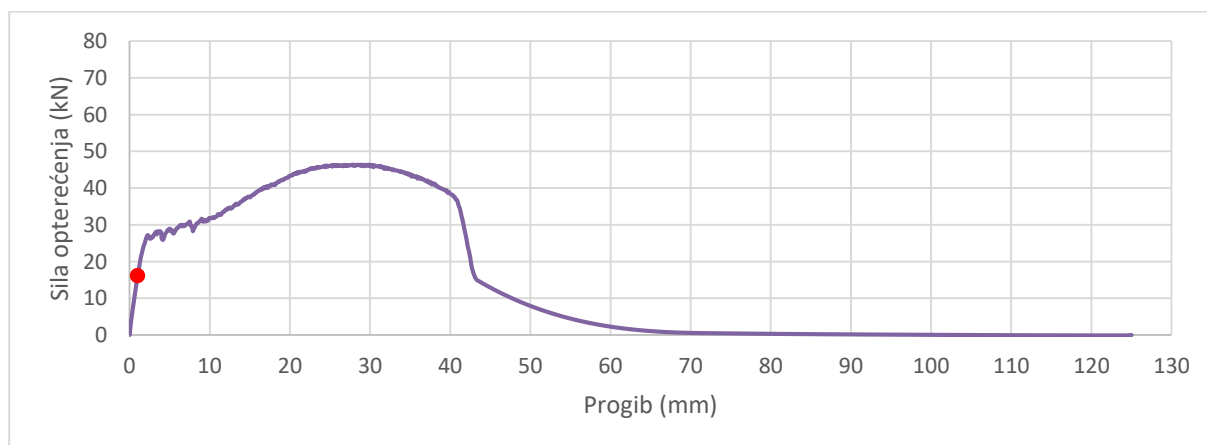


Slika 4.54: Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača na savijanje

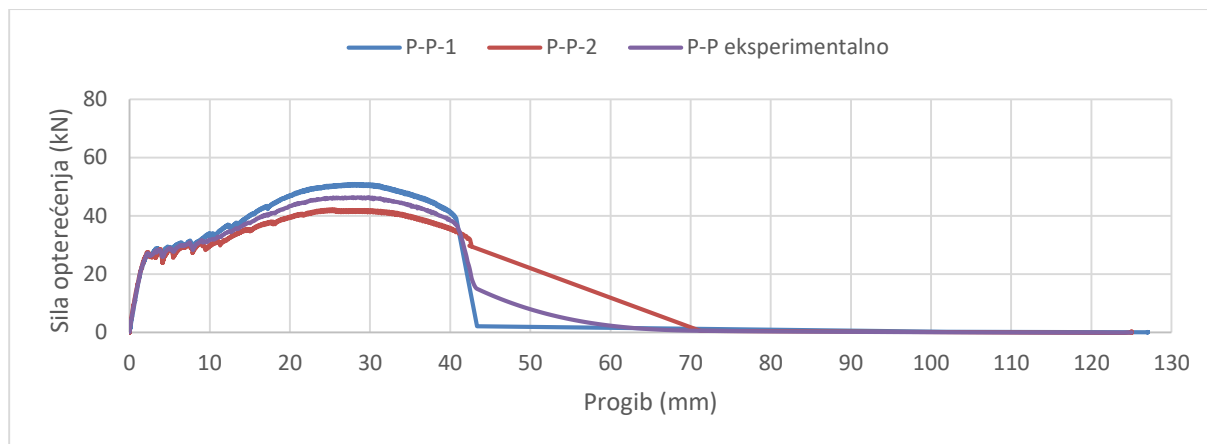
4.2 Optimizacija eksperimentalnih rezultata

Eksperimentalno ispitani plošni nosači optimizirani su u programu Matlab. Pošto su plošni nosači P-P-1 i P-P-2 jednaki, napravljena je pomoću programa Matlab optimizirana krivulja ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima pri opterećenju i označena je kao P-P eksperimentalno. Također pošto su plošni nosači P-K-1 i P-K-2 jednaki, napravljena je pomoću programa Matlab i optimizirana krivulja ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni pri opterećenju i označena je kao P-K eksperimentalno.

Kod optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 16,18 kN i pri tom opterećenju srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača iznosi 1 mm. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-P eksperimentalno iznosi 8,09 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-P-2 dosegnuta je pri opterećenju od 46,4 kN. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P eksperimentalno srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 28,91 mm. Na slici 4.55 prikazan je dijagram ponašanja (sila opterećenja – progib) optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno, dok je na slici 4.56 prikazana usporedba dijagrama ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno s plošnim nosačima P-P-1 i P-P-2.

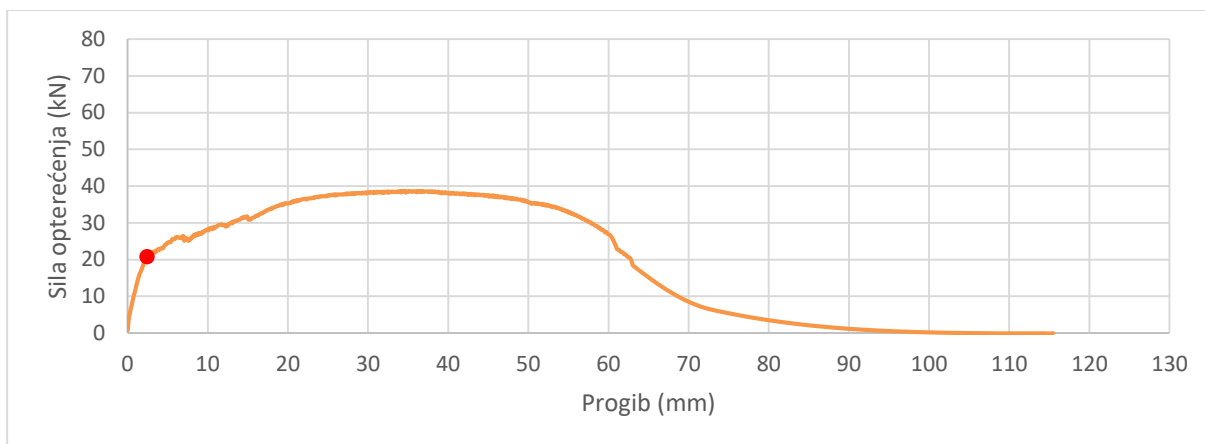


Slika 4.55: Dijagram ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno

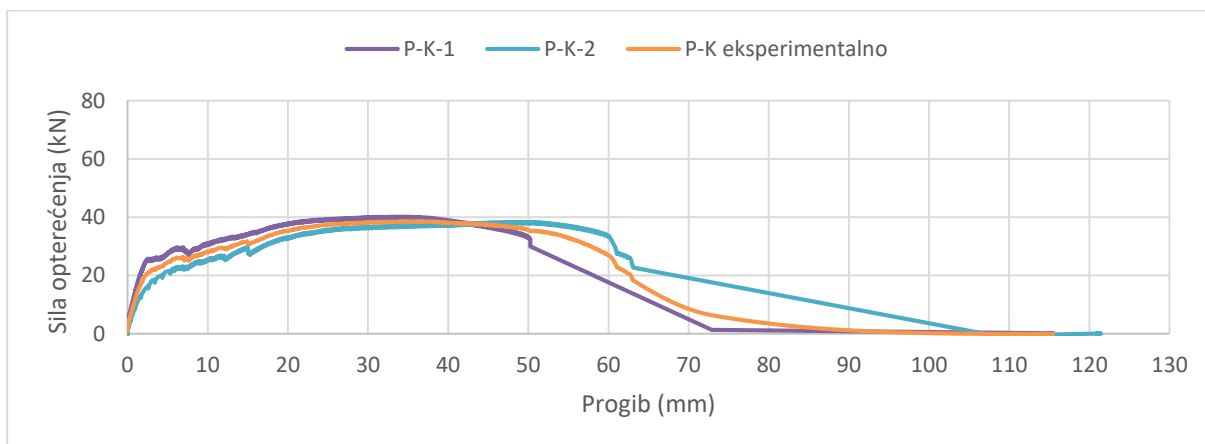


Slika 4.56: Usporedba dijagrama ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno s plošnim nosačima P-P-1 i P-P-2

Kod optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 20,73 kN i pri tom opterećenju srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača iznosi 2,52 mm. Moment pri pojavi prve pukotine kod plošnog nosača P-K eksperimentalno iznosi 10,37 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-K eksperimentalno dosegnuta je pri opterećenju od 38,68 kN. Pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K eksperimentalno srednji progib gornjeg ruba AB plošnog nosača 34,56 mm. Na slici 4.57 prikazan je dijagram ponašanja (sila opterećenja – progib) optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno, dok je na slici 4.58 prikazana usporedba dijagrama ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno s plošnim nosačima P-K-1 i P-K-2.

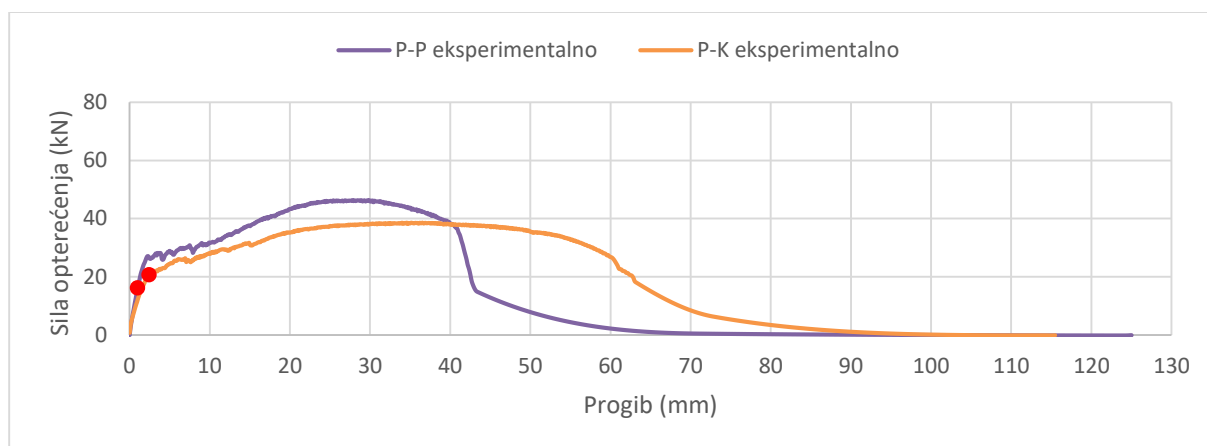


Slika 4.57: Dijagram ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno

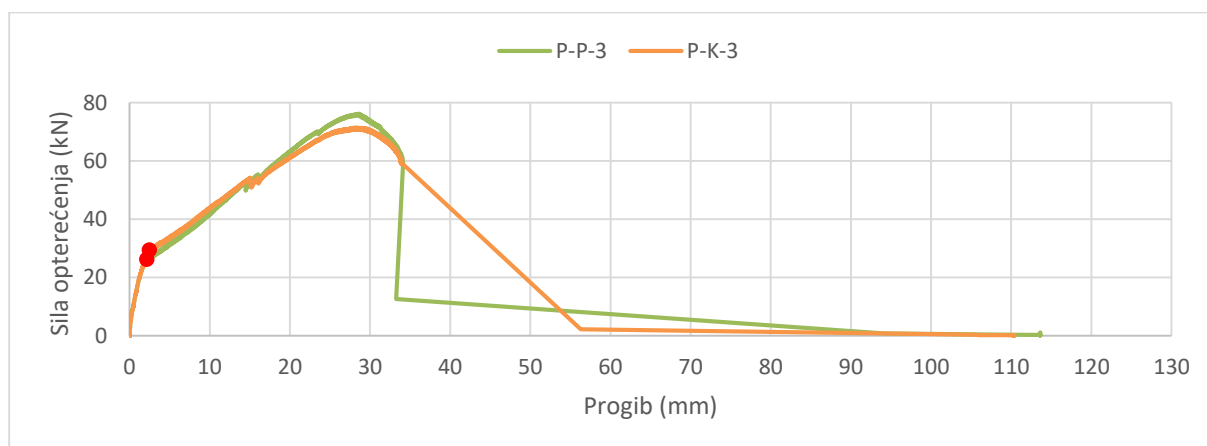


Slika 4.58: Usporedba dijagrama ponašanja optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno s plošnim nosačima P-K-1 i P-K-2

Nakon optimizacije dijagrama ponašanja plošnih nosača također se može zaključiti kako armiranobetonski plošni nosači s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima pokazuju su veću nosivost na savijanje u odnosu na armiranobetonske plošne nosače bez njih, što znači kako mikrovalni rezonatori pozitivno djeluju na čvrstoću armiranobetonskih plošnih nosača na savijanje. Na slici 4.59 prikazana je usporedba optimiziranih dijagrama ponašanja plošnih nosača, na slici 4.60 prikazana usporedba dijagrama ponašanja plošnih nosača P-P-3 i P-K-3, dok su u tablici 4.4 prikazani rezultati ispitivanja plošnih nosača s optimiziranim rezultatima P-P eksperimentalno i P-K eksperimentalno.



Slika 4.59: Usporedba optimiziranih dijagrama ponašanja plošnih nosača



Slika 4.60: Usporedba dijagrama ponašanja plošnih nosača P-P-3 i P-K-3

Tablica 4.4: Rezultati ispitivanja plošnih nosača s optimiziranim rezultatima P-P eksperimentalno i P-K eksperimentalno

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P eksperimentalno	8,09	1	46,4	28,91
P-P-3	13,15	2,17	76,22	28,51
P-K eksperimentalno	10,37	2,52	38,68	34,56
P-K-3	14,70	2,46	71,47	28,30

Ovi rezultati potvrđuju zaključke za eksperimentalno dobivene rezultate kako čelični mikrovalni rezonatori doprinose većoj nosivosti plošnog nosača na savijanje, ali manjoj elastičnosti, kao i da plošni nosači armirani mrežastom armaturom bez mikrovalnih rezonatora mogu podnijeti veće opterećenje do pojave prve pukotine u odnosu na plošne nosače s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i armiranih mrežastom armaturom.

4.3 Numerički model plošnih uzoraka

Uzorci plošnih nosača koji su izrađeni i ispitani eksperimentalno također su proračunani u računalnom programu Ansys [6]. Softver Ansys Mechanical za analizu konačnih elemenata koristi se za simulaciju kompleksnih oblika konstrukcija, elektronike ili komponenti stroja za analizu čvrstoće, žilavosti, elastičnosti, raspodjele temperature, elektromagnetizma, protoka tekućine i drugih atributa. Većina simulacija Ansys izvodi pomoću sustava Ansys Workbench, koji je jedan od glavnih proizvoda tvrtke. Korisnici Ansysa obično rastavljaju veće konstrukcije na pojedinačne komponente od kojih se svaka zasebno modelira i testira. Korisnik može započeti definiranjem dimenzija konstrukcije, a zatim dodati težinu, tlak, temperaturu i druga fizička svojstva.

U okviru statičke strukturalne linearne i nelinearne analize, softver Ansys omogućuje definiranje različitih modela ponašanja materijala, definiranje više vrsta kontaktnih spojeva između različitih djelova sklopa, primjenu različitih opterećenja i graničnih uvjeta. Proračunski model plošnih nosača je pripremljen u Ansysovom 3D CAD softveru SpaceClaim. Plošni nosači, oslonci i elementi unosa opterećenja su modelirani kao solid elementi. Armatura i mikrovalni rezonatori su modelirani kao linijski elementi s odgovarajućim poprečnim presjekom. U analizi su korišteni solid elementi SOLID185 i linijski elementi BEAM188. Armatura i rezonatori su povezani s betonom uz korištenje naredbe "CPINTF" za definiranje povezanih stupnjeva slobode između odgovarajućih čvorova linijskih i čvrstih elemenata (unutar tolerancije). Za odabir elementa koji se povezuju i korištenje same naredbe pri tome je korišten programski jezik Ansys APDL (Ansys Parametric Design Language), tj. strukturirani skriptni jezik koji se koristi za interakciju s Ansys Mechanical rješavačem. Opterećenje na ploču je aplicirano putem vertikalnog pomicanja elemenata za opterećenje. Ploča je oslonjena na fiksirane osovine. Kontakt između elemenata za unos opterećenja, osovina i ploče je "frictional"

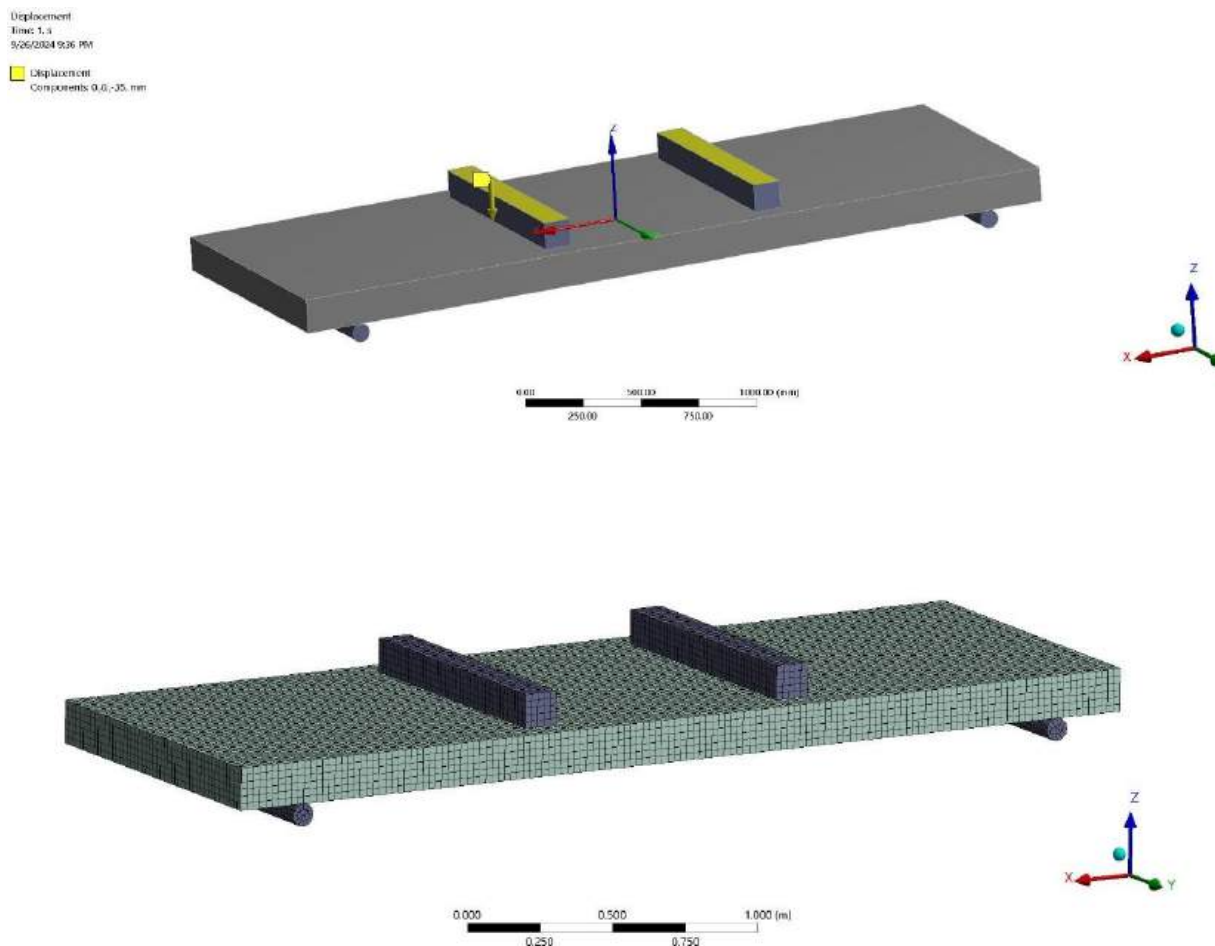
s koeficijentom trenja 0,2. U analizi je primjenjena i vlastita težina ploče. Oslonci i elementi za unos opterećenja su definirani kao deformabilna tijela s punim profilom od konstrukcijskog čelika i s linearnim modelom ponašanja materijala. Izmjerama odgovaraju korištenim elementima iz laboratorijskog ispitivanja. Deformabilnost ovih tijela je odabrana zbog izbjegavanja koncentracije naprezanja na kontaktnim površinama betona.

Proračuni u ovome radu provedeni su u sustavu Ansys Workbench u dijelu Static structural. Izrađena su dva modela armiranobetonskih plošnih nosača dimenzija 3,5x1,2 m i debljine 15 cm. Prvi je pojačan u donjoj zoni mrežom Q335, u gornjoj mrežom Q196 i križnim čeličnim mikrovalnim rezonatorima neposredno ispod gornje zone, dok je drugi model pojačan u donjoj zoni mrežom Q335, u gornjoj mrežom Q196 bez ikakvih dodataka. Ploča armirana mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima označena je s P-P-Ansys, dok je kontrolna ploča armirana samo mrežastom armaturom označena s P-K-Ansys.

Tijekom betoniranja plošnih nosača od iste mješavine betona korištene za izradu plošnih nosača izbetoniralo se pet betonskih kocki standardnih dimenzija i kasnije ispitalo na tlak. Prosječna tlačna čvrstoća tih kocki bila je 45 MPa. Iz tog razloga modelirani plošni nosač je od betona klase C35/45. Zadana tlačna čvrstoća betona je 35 MPa, vlačna čvrstoća je 3,21 MPa, dok je modul elastičnosti 33282 MPa. Zadana je armatura B500B s granicom razvlačenja od 500 MPa, dok je modul elastičnosti 200 000 MPa.

Čelični mikrovalni rezonatori su klase S235 granice popuštanja 235 MPa, a modula elastičnosti 200 000 MPa. Model opterećenog plošnog nosača u programu Ansys prikazan je na slici 4.61. Veličina konačnog elementa je 25 mm. Ova veličina izabrana je na temelju rasporeda armature i mikrovalnih rezonatora unutar betonskog plošnog nosača te njihove različite geometrije i presjeke. Za beton korišten je element SOLID185, dok je za armaturu korišten element BEAM188. Prvotno je korišten beton s elementima SOLID65 koji nude mogućnost prikaza pukotina u rezultatima, tj. pucanje u zatezanju i drobljenje pri pritisku. Model s ovim elementima se pokazao dosta nestabilan zbog konvergencije i rezultati su bili s mnogo većom maksimalnom silom i mnogo manjim pomakom pri otkazivanju nosivosti u odnosu na eksperimentalna

ispitivanja. Zbog toga se za beton uzeo element SOLID185, koji prema karakteristikama također odgovara betonu, ali bez mogućnosti za jasni prikaz pukotina. Elementi unosa opterećenja i oslonci u obliku cijevi modelirani su kao apsolutno kruti.



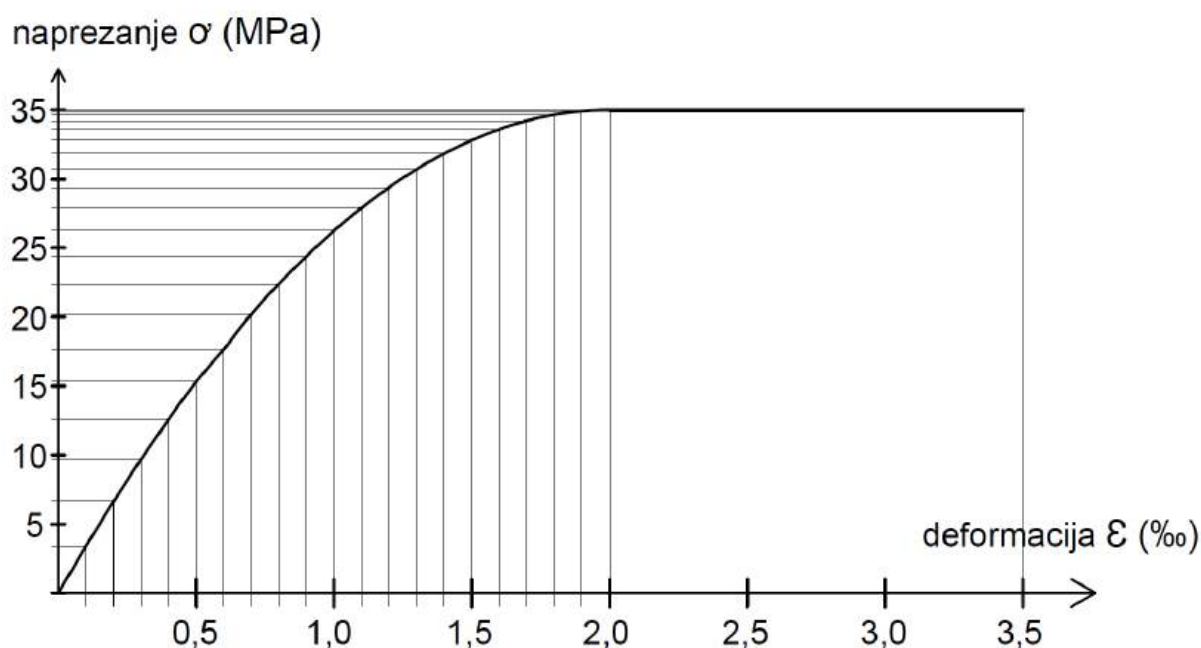
Slika 4.61: Model plošnog nosača u programu Ansys

Materijalni model betona korišten u analizi baziran je na multilinearnom izotropnom očvršćavanju. Modeliranje materijala kao multilinearnog, odnosno utvrđivanje njegovih svojstava kao i krivulja naprezanja i deformacije izvodi se na osnovu proračuna dobivenih podataka prema klasi betona C35/45. Model je temeljen na Drucker-Pragerovom modelu proračuna. Ovaj model sposoban je simulirati elastičnost, plastičnost, velike pomake i deformacije. Prvotno je korišten model temeljen na Menetrey-Willamovoj površini popuštanja koji se pokazao neprikladan model iz razloga jer prema tom modelu se malo nakon pojave prve pukotine u trenutku kad sva naprezanja u potpunosti počne preuzimati armatura prekida analiza.

Iz tog razloga je izabran model Drucker Prager. U tablici 4.5 prikazana su mehanička svojstva betona prema kojem je izmodeliran model u Ansysu, dok je na slici 4.62 grafički prikazano računsko ponašanje betona klase C35/45.

Tablica 4.5: Mehanička svojstva betona

Gustoća (kg/m ³)	2400
Modul elastičnosti (MPa)	33282
Poissonov koeficijent	0,2
Vlačna čvrstoća (MPa)	3,21
Tlačna čvrstoća na kocki (MPa)	45
Tlačna čvrstoća na valjku (MPa)	35



Slika 4.62: Dijagram računskog ponašanje betona klase C35/45 zadan u programu Ansys

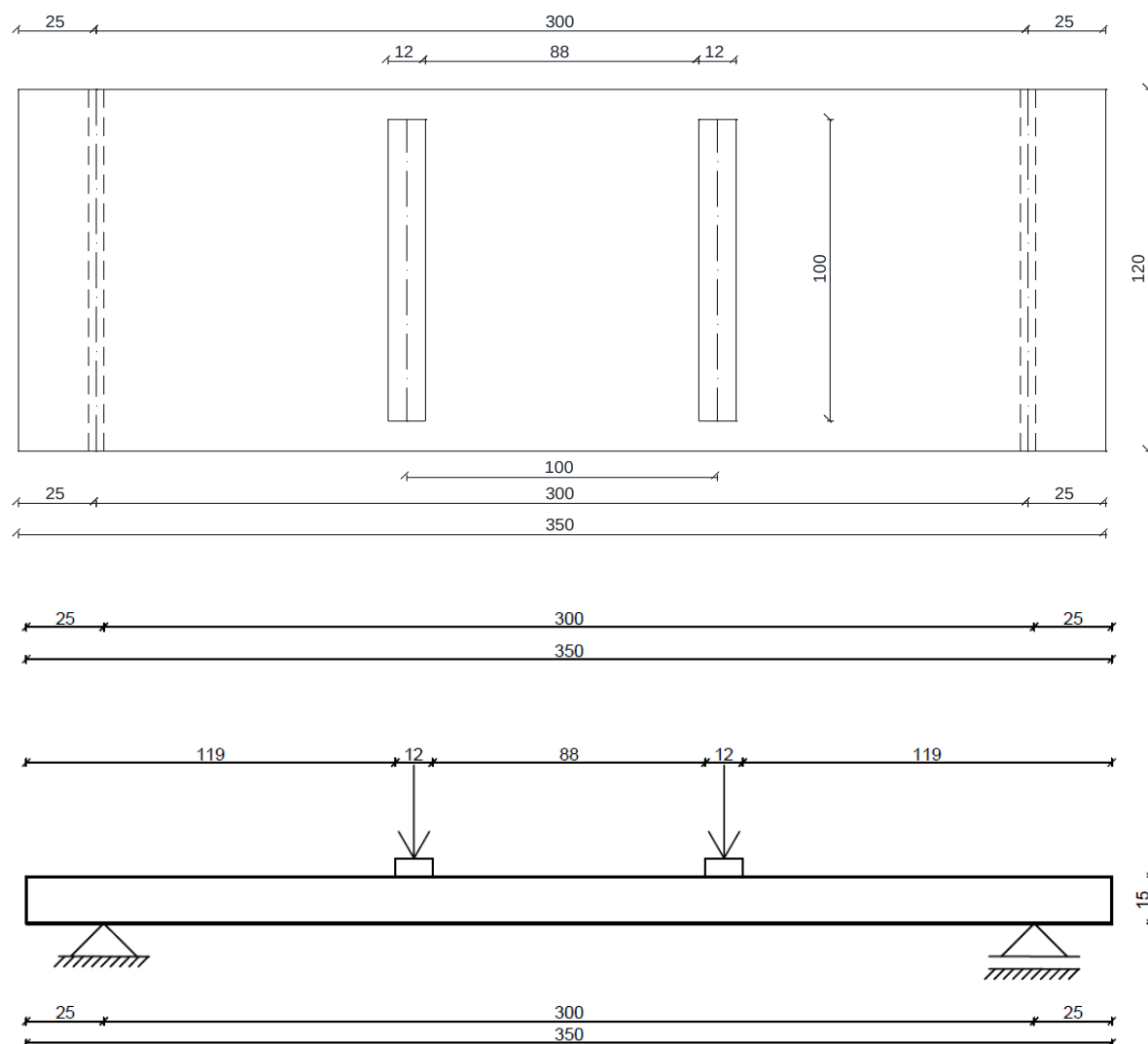
Za model armature i rezonatora korišten je materijalni model s bilinearnim izotropnim očvršćavanjem. Do granice razvlačenja materijal je elastičan, dok je nakon dotizanja vrijednosti granice razvlačenja materijal plastičan. U tablici 4.6 prikazana su mehanička svojstva armature, dok su u tablici 4.7 prikazana mehanička svojstva čeličnih mikrovalnih rezonatora u programu Ansys. Dimenzije, oblik i opterećenje ispitivanog modela plošnog nosača prikazani su na slici 4.63.

Tablica 4.6: Mehanička svojstva armature

Gustoća (kg/m ³)	7850
Modul elastičnosti (MPa)	200000
Poissonov koeficijent	0,3
Granica razvlačenja (MPa)	500

Tablica 4.7: Mehanička svojstva mikrovalnih rezonatora

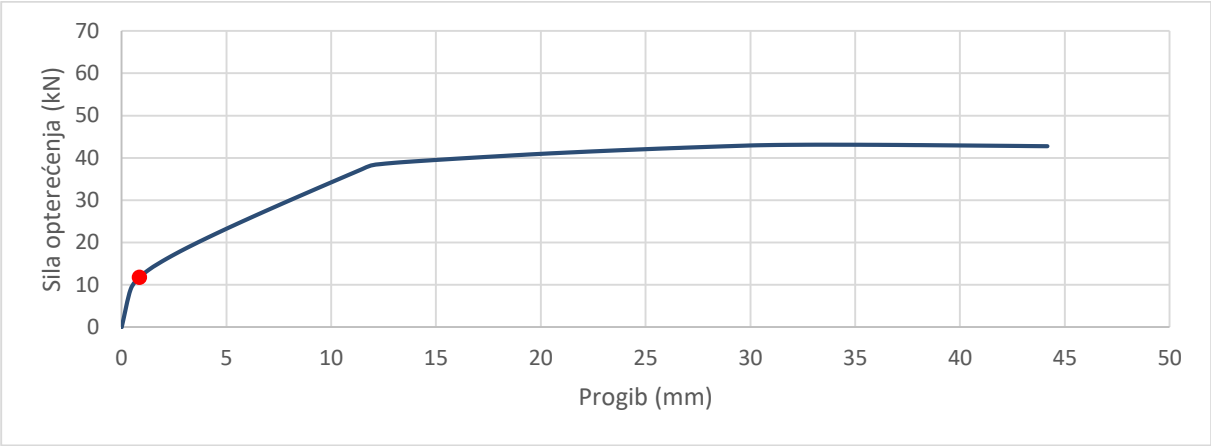
Gustoća (kg/m ³)	7850
Modul elastičnosti (MPa)	200000
Poissonov koeficijent	0,3
Granica razvlačenja (MPa)	235



Slika 4.63: Dimenzije, oblik i opterećenje ispitivanog modela plošnog nosača

S obzirom da element SOLID185 nema mogućnost prikaza pukotina i kako nema točne naredbe za prikaz pukotina niti trenutka njihove pojave, pojava prve pukotine je procijenjena u trenutku kada dijagram ponašanja plošnog nosača izgubi svoju linearnost, tj. u trenutku kad se ravna linija zakrivljuje. Pojava prve pukotine kod plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys) javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,74 kN i pri tom opterećenju srednji progib ploče je 0,85 mm. Moment pri pojavi prve pukotine kod tog plošnog nosača je 5,87 kNm. Maksimalna nosivost plošnog nosača događa se pri opterećenju od 43,12 kN i pri tom je progib ploče 33,34 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili

od 42,76 kN I pri tom je progib ploče 44,17 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača tijekom opterećenja prikazan je na slici 4.64, dok je u tablici 4.8 brojčano prikazano ponašanje plošnog nosača tijekom opterećenja. Na slici 4.65 prikazana je simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 4.65 vidi se kako se najveći progib dodada na sredini plošnog nosača.



Slika 4.64: Dijagram ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys)

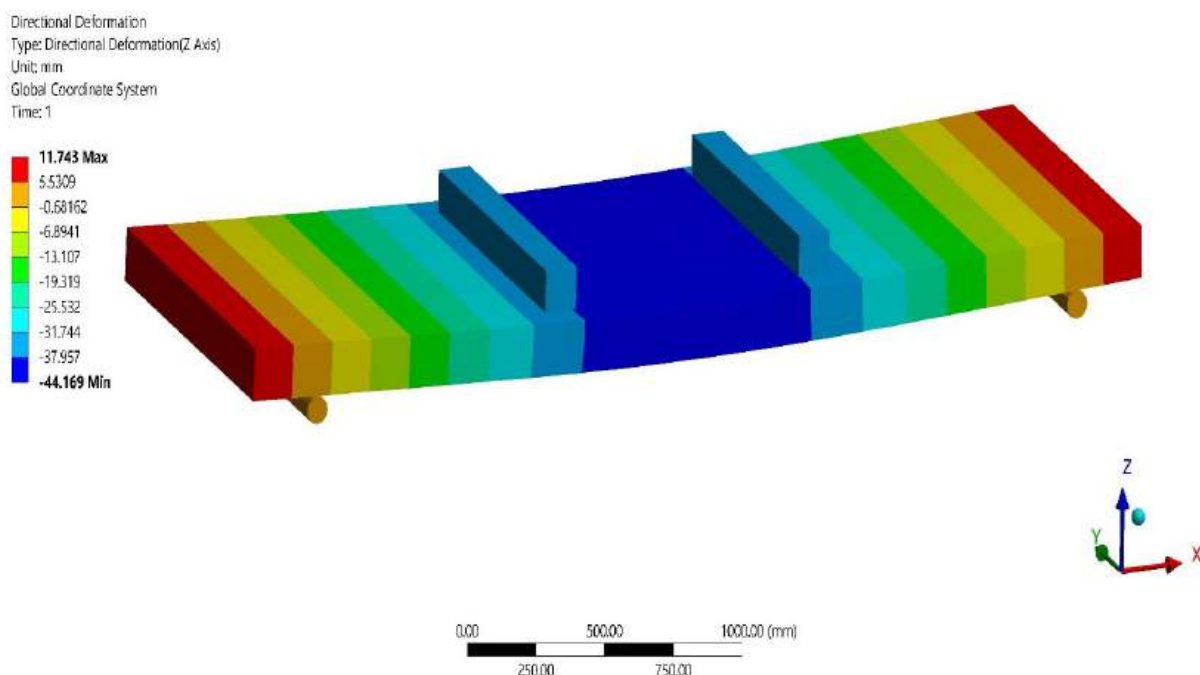
Tablica 4.8: Tablični prikaz ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys)

Korak	Vrijeme (s)	Ukupna sila (kN)	Progib (mm)
1	0,01	8,8912	0,42433
2	0,02	11,741	0,8532
3	0,03	13,527	1,2857
4	0,04	14,92	1,7176
5	0,05	16,173	2,1476
6	0,06	17,35	2,5764
7	0,07	18,462	3,004
8	0,08	19,532	3,4309

9	0,09	20,57	3,8571
10	0,1	21,585	4,2827
11	0,11	22,581	4,7077
12	0,12	23,561	5,1323
13	0,13	24,527	5,5564
14	0,14	25,482	5,9802
15	0,15	26,427	6,4037
16	0,16	27,363	6,8269
17	0,17	28,293	7,2498
18	0,18	29,217	7,6725
19	0,19	30,135	8,095
20	0,2	31,048	8,5173
21	0,21	31,957	8,9395
22	0,22	32,862	9,3614
23	0,23	33,763	9,7832
24	0,24	34,661	10,205
25	0,25	35,556	10,626
26	0,26	36,448	11,048
27	0,27	37,337	11,469
28	0,28	38,203	11,893
29	0,29	38,538	12,359
30	0,3	38,757	12,822
31	0,31	38,944	13,281
32	0,32	39,105	13,735
33	0,33	39,256	14,187
34	0,34	39,402	14,639
35	0,35	39,544	15,09
36	0,36	39,683	15,541
37	0,37	39,82	15,992
38	0,38	39,954	16,442
39	0,39	40,087	16,892
40	0,4	40,217	17,342

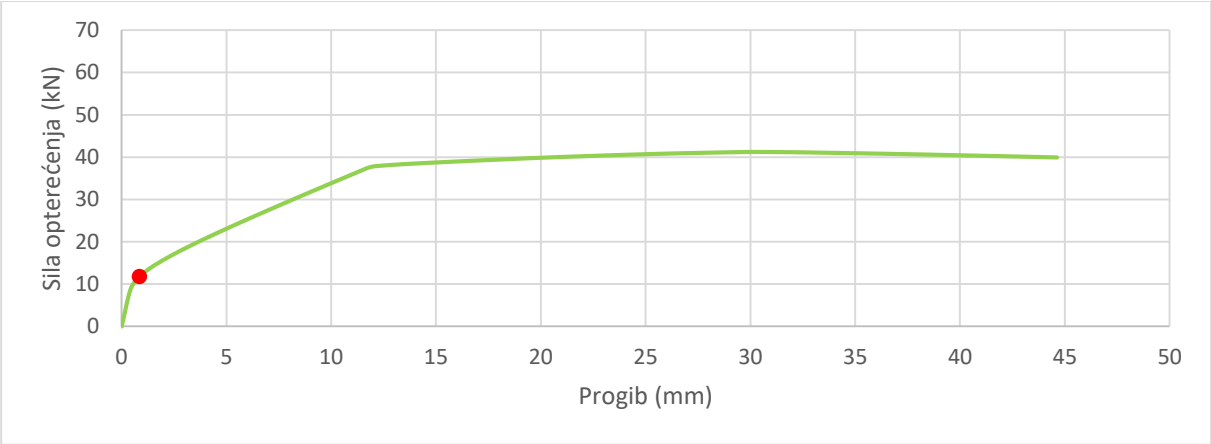
41	0,41	40,346	17,791
42	0,42	40,474	18,241
43	0,43	40,601	18,69
44	0,44	40,726	19,139
45	0,45	40,849	19,587
46	0,46	40,965	20,034
47	0,47	41,074	20,478
48	0,48	41,179	20,92
49	0,49	41,282	21,363
50	0,5	41,383	21,804
51	0,51	41,483	22,246
52	0,52	41,58	22,686
53	0,53	41,675	23,127
54	0,54	41,768	23,567
55	0,55	41,86	24,006
56	0,56	41,949	24,446
57	0,57	42,037	24,885
58	0,58	42,123	25,325
59	0,59	42,208	25,764
60	0,6	42,29	26,203
61	0,61	42,371	26,642
62	0,62	42,45	27,08
63	0,63	42,527	27,519
64	0,64	42,603	27,958
65	0,65	42,677	28,397
66	0,66	42,75	28,836
67	0,67	42,822	29,275
68	0,68	42,892	29,714
69	0,69	42,959	30,154
70	0,7	43,006	30,601
71	0,71	43,043	31,052
72	0,72	43,069	31,507

73	0,73	43,085	31,965
74	0,74	43,1	32,423
75	0,75	43,114	32,882
76	0,76	43,118	33,34
77	0,77	43,117	33,797
78	0,78	43,114	34,253
79	0,79	43,11	34,709
80	0,8	43,104	35,165
81	0,81	43,096	35,619
82	0,82	43,085	36,072
83	0,83	43,073	36,525
84	0,84	43,059	36,977
85	0,85	43,043	37,428
86	0,86	43,027	37,878
87	0,87	43,01	38,328
88	0,88	42,993	38,778
89	0,89	42,975	39,228
90	0,9	42,957	39,678
91	0,91	42,938	40,128
92	0,92	42,919	40,577
93	0,93	42,9	41,027
94	0,94	42,88	41,476
95	0,95	42,86	41,925
96	0,96	42,84	42,374
97	0,97	42,82	42,823
98	0,98	42,799	43,272
99	0,99	42,778	43,72
100	1	42,757	44,169



Slika 4.65: Simulacija ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima (P-P-Ansys)

Kod plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom bez ugradnje mikrovalnih rezonatora (P-K-Ansys) pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,71 kN i pri tom opterećenju srednji progib ploče je 0,85 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,86 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 41,19 kN i pri tom opterećenju progib ploče je 30,29 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 39,89 kN i pri tom je progib ploče 44,63 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača tijekom opterećenja prikazan je na slici 4.66, dok je u tablici 4.9 brojčano prikazano ponašanje plošnog nosača tijekom opterećenja. Na slici 4.67 prikazana je simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 4.67 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



Slika 4.66: Dijagram ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom (P-K-Ansys)

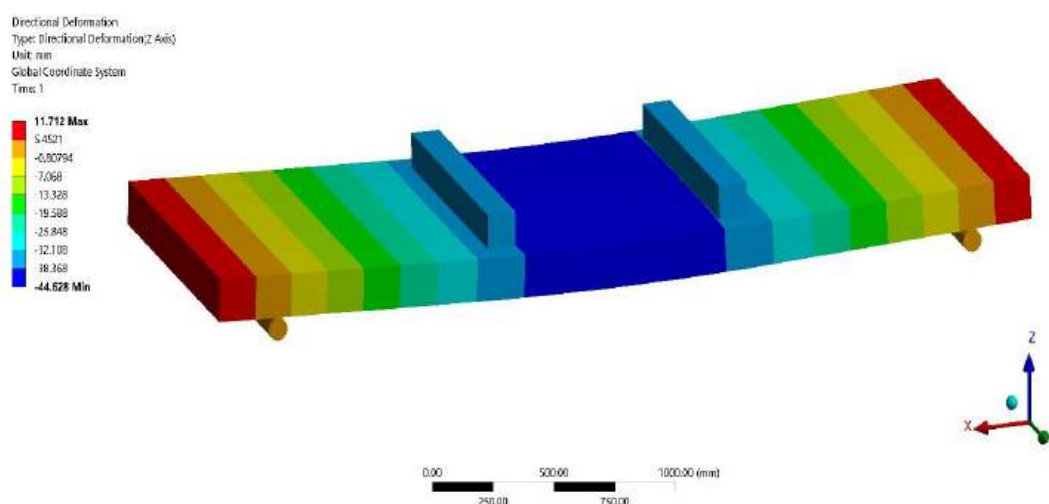
Tablica 4.9: Tablični prikaz ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom (P-K-Ansys)

Korak	Vrijeme (s)	Ukupna sila (kN)	Progib (mm)
1	0,01	8,7857	0,42506
2	0,02	11,709	0,85263
3	0,03	13,507	1,2862
4	0,04	14,899	1,7192
5	0,05	16,137	2,1506
6	0,06	17,302	2,5803
7	0,07	18,392	3,0091
8	0,08	19,44	3,4369
9	0,09	20,455	3,864
10	0,1	21,449	4,2905
11	0,11	22,423	4,7162
12	0,12	23,382	5,1415
13	0,13	24,329	5,5663
14	0,14	25,266	5,9906
15	0,15	26,193	6,4146
16	0,16	27,111	6,8382
17	0,17	28,023	7,2615

18	0,18	28,928	7,6846
19	0,19	29,829	8,1074
20	0,2	30,725	8,53
21	0,21	31,616	8,9523
22	0,22	32,505	9,3745
23	0,23	33,39	9,7965
24	0,24	34,272	10,218
25	0,25	35,151	10,64
26	0,26	36,027	11,062
27	0,27	36,901	11,483
28	0,28	37,688	11,913
29	0,29	37,942	12,38
30	0,3	38,115	12,843
31	0,31	38,265	13,303
32	0,32	38,391	13,759
33	0,33	38,509	14,214
34	0,34	38,623	14,668
35	0,35	38,734	15,122
36	0,36	38,842	15,575
37	0,37	38,948	16,028
38	0,38	39,053	16,48
39	0,39	39,155	16,933
40	0,4	39,257	17,385
41	0,41	39,358	17,836
42	0,42	39,457	18,288
43	0,43	39,555	18,739
44	0,44	39,653	19,19
45	0,45	39,748	19,641
46	0,46	39,838	20,089
47	0,47	39,921	20,535
48	0,48	40,002	20,98
49	0,49	40,081	21,425

50	0,5	40,158	21,868
51	0,51	40,234	22,311
52	0,52	40,308	22,754
53	0,53	40,38	23,196
54	0,54	40,451	23,638
55	0,55	40,519	24,08
56	0,56	40,586	24,521
57	0,57	40,651	24,962
58	0,58	40,713	25,404
59	0,59	40,771	25,845
60	0,6	40,827	26,287
61	0,61	40,879	26,729
62	0,62	40,928	27,172
63	0,63	40,974	27,614
64	0,64	41,018	28,057
65	0,65	41,06	28,5
66	0,66	41,1	28,942
67	0,67	41,14	29,385
68	0,68	41,174	29,83
69	0,69	41,188	30,285
70	0,7	41,18	30,749
71	0,71	41,159	31,216
72	0,72	41,137	31,685
73	0,73	41,114	32,154
74	0,74	41,079	32,621
75	0,75	41,042	33,088
76	0,76	41,004	33,555
77	0,77	40,966	34,022
78	0,78	40,927	34,489
79	0,79	40,888	34,955
80	0,8	40,847	35,421
81	0,81	40,806	35,887

82	0,82	40,764	36,352
83	0,83	40,721	36,816
84	0,84	40,677	37,28
85	0,85	40,633	37,743
86	0,86	40,588	38,206
87	0,87	40,542	38,668
88	0,88	40,493	39,128
89	0,89	40,445	39,588
90	0,9	40,396	40,047
91	0,91	40,347	40,507
92	0,92	40,297	40,965
93	0,93	40,247	41,424
94	0,94	40,198	41,882
95	0,95	40,147	42,34
96	0,96	40,097	42,798
97	0,97	40,047	43,256
98	0,98	39,996	43,714
99	0,99	39,945	44,171
100	1	39,894	44,628

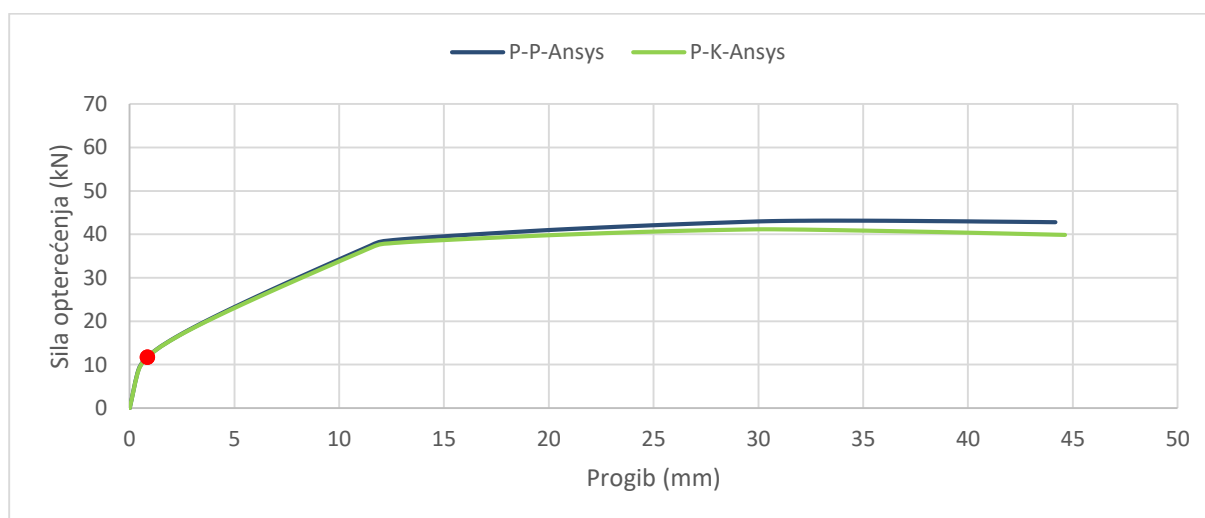


Slika 4.67: Simulacija ponašanja plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom (P-K-Ansys)

Prema rezultatima iz programa Ansys također se vidi da čelični mikrovalni rezonatori djeluju pozitivno na nosivost plošnog nosača na savijanje. Prema rezultatima u programu Ansys moment pri pojavi prve pukotine je približno jednak kod plošnog nosača P-P-Ansys kao kod plošnog nosača P-K-Ansys, dok je progib pri pojavi prve pukotine jednak za oba modela plošnog nosača. Iz rezultata u programu Ansys može se također zaključiti kako čelični mikrovalni rezonatori doprinose većoj čvrstoći plošnog nosača na savijanje. U programu Ansys plošni nosač P-P-Ansys pokazuje vrlo sličnu elastičnost kao plošni nosač P-K-Ansys. Može se zaključiti kako prema rezultatima iz programa Ansys čelični mikrovalni rezonatori ni u čemu ne utječu negativno na nosivost ni elastičnost plošnog nosača, dok pozitivno doprinose čvrstoći plošnog nosača na savijanje. Rezultati proračuna modela u programu Ansys prikazani su u tablici 4.10, dok je grafička usporedba rezultata proračuna modela u programu Ansys prikazana na slici 4.68.

Tablica 4.10: Rezultati proračuna modela

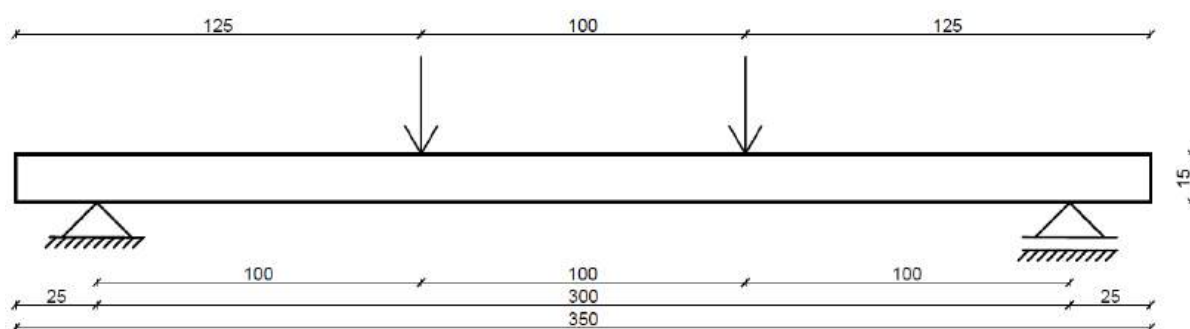
Ploča	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-Ansys	5,87	0,85	43,12	33,34
P-K-Ansys	5,86	0,85	41,19	30,29



Slika 4.68: Grafički prikaz rezultata proračuna modela u programu Ansys

4.4 Proračun uzoraka plošnih nosača prema EC2 (HRN EN 1992-1-1:2013)

Pored eksperimentalnog i softverskog proračuna, izvršen je i analitički proračun. Proračun graničnog momenta pri otkazivanju nosivosti izvršen je prema EC2 (HRN EN 1992-1-1:2013) [7], ručno pomoću μ_{sd} postupka i pomoću AB kalkulatora. Beton od kojega su izrađeni uzorci ispitanih plošnih nosača ispitan je na uzorcima kocke i srednja tlačna čvrstoća na uzorcima kocke je 45 MPa. Prema HRN EN 1992-1-1 ukoliko je tlačna čvrstoća betona na uzorku kocke 45 MPa, čvrstoća istog betona na uzorku valjka iznosi 35 MPa, što znači kako se radi o klasi betona C35/45. Računski model plošnog nosača je jednoosno nosiva ploča, čiji je uzdužni model prikazan je na slici 4.69. Za proračun ploča prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7] širina poprečnog presjeka se uzima 100 cm (računa se po m²).



Slika 4.69: Uzdužni računski model plošnog nosača

Moment pojave prve pukotine prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7] računa se prema sljedećem izrazu:

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_0 \quad (4.13)$$

gdje su:

M_{cr} – moment pri pojavi prve pukotine

f_{ctm} – srednja vlačna čvrstoća betona

W_0 – otporni moment poprečnog presjeka plošnog nosača

Srednja vlačna čvrstoća betona računa se prema sljedećem izrazu:

$$f_{ctm}=0,3\cdot\sqrt[3]{f_{ck}^2}=0,3\cdot\sqrt[3]{35^2}=3,21 \text{ MPa}=0,321 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (4.14)$$

gdje je:

$f_{ck}=35 \text{ MPa}$ - karakteristična tlačna čvrstoća betona na uzorku valjka (promjera 15 cm i visine 30 cm)

Otporni moment presjeka dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$W_0=\frac{b\cdot h^2}{6}=\frac{100\cdot 15^2}{6}=3750 \text{ cm}^3 \quad (4.15)$$

gdje su:

$b=100 \text{ cm}$ - računaska širina plošnog nosača

$h=15 \text{ cm}$ - visina plošnog nosača

Sad se može izračunati moment pri pojavi prve pukotine koji iznosi:

$$M_{cr}=0,321\cdot 3750=1203,7 \text{ kNcm/m}'=12,037 \text{ kNm/m}' \quad (4.16)$$

Za statički sustav prikazan na slici 4.24, ukupna sila je dvostruko veća od maksimalnog momenta savijanja, pa se iz toga dobiva da je ukupna sila pri pojavi prve pukotine jednaka:

$$P=2\cdot M_{cr}=24,07 \text{ kN/m}' \quad (4.17)$$

Ukupni progib prema HRN EN 1992-1-1 [7] računa se prema sljedećem izrazu:

$$v_{tot}=k\cdot L^2\cdot \frac{1}{r_{tot}} \quad (4.18)$$

gdje su:

k - koeficijent koji ovisi o obliku statičkog sustava i načinu opterećenja

$L=300 \text{ cm}$ - raspon plošnog nosača

$\frac{1}{r_{tot}}$ - ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka plošnog nosača

Za slučaj statičkog sustava plošnog nosača kao na slici 4.24 koeficijent k računa se prema sljedećem izrazu:

$$k=0,125-\frac{\left(\frac{a}{l}\right)^2}{6}=0,125-\frac{\left(\frac{100}{300}\right)^2}{6}=0,106 \quad (4.19)$$

gdje su:

$a=100$ cm - udaljenost od sile do oslonca

$L=300$ cm - raspon plošnog nosača

Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka računa se prema sljedećem izrazu:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{\text{csm}}} \quad (4.20)$$

gdje su:

$\frac{1}{r_m}$ - srednja zakrivljenost uzrokovana opterećenjem i puzanjem betona

$\frac{1}{r_{\text{csm}}}$ - srednja zakrivljenost uzrokovana skupljanjem betona

U ovom primjeru se plošni nosač dimenzionira samo na kratkotrajno opterećenje, pa je ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka jednaka srednjoj zakrivljenosti uzrokovanoj opterećenjem i puzanjem betona:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_m} \quad (4.21)$$

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka računa se prema sljedećem izrazu:

$$\frac{1}{r_m} = (1-\zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} \quad (4.22)$$

gdje su:

ζ - koeficijent raspodjele zakrivljenosti (za stadij I jednak je 0)

$\frac{1}{r_I}$ - zakrivljenost poprečnog presjeka uzrokovana opterećenjem i puzanjem u stadiju I (prije pojave prve pukotine)

$\frac{1}{r_{II}}$ - zakrivljenost poprečnog presjeka u stadiju II (nakon pojave prve pukotine)

Koeficijent raspodjele zakrivljenosti dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) \quad (4.23)$$

gdje su:

β_1 - koeficijent prionjivosti armature (za rebrastu armaturu kao u ovom primjeru $\beta_1 = 1,0$)

β_2 - koeficijent opterećenja (za kratkotrajno opterećenje kao u ovom primjeru $\beta_2 = 1,0$)

σ_{sr} - naprezanje u armaturi pri pojavi prve pukotine

σ_s - naprezanje u armaturi u stadiju II

Zakrivljenost poprečnog presjeka uzrokovana opterećenjem i puzanjem u stadiju I (prije pojave prve pukotine) dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{sd}}{E_{cm} \cdot I_I} \quad (4.24)$$

M_{sd} - računski moment savijanja

E_{cm} - modul elastičnosti betona

I_I - moment tromosti presjeka u stadiju I

Zakrivljenost poprečnog presjeka uzrokovana opterećenjem i puzanjem u stadiju II (nakon pojave prve pukotine) dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{sI}}{d \cdot y_{IIg}} \quad (4.25)$$

gdje su:

ε_{sI} - relativna deformacija vlačne armature

d - statička visina presjeka

y_{IIg} - udaljenost od neutralne osi do tlačnog ruba u stadiju II

Za proračun progiba pri pojavi prve pukotine srednja zakrivljenost poprečnog presjeka jednaka je zakrivljenosti poprečnog presjeka u stadiju I:

$$\frac{1}{r_m} = \frac{1}{r_I} = \frac{M_{cr}}{E_{cm} \cdot I_I} \quad (4.26)$$

Modul elastičnosti betona dobije se prema sljedećem izrazu:

$$E_{cm}=9500\cdot\sqrt[3]{f_{ck}+8}=9500\cdot\sqrt[3]{35+8}=33282,28 \text{ MPa}=3328,228 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (4.27)$$

Statička visina presjeka jednaka je:

$$d=15-2,0\cdot\frac{0,8}{2}=12,6 \text{ cm} \quad (4.28)$$

Udaljenost od vlačnog ruba do težišta armature jednaka je:

$$d_1=h-d=15-12,6=2,4 \text{ cm} \quad (4.29)$$

Kako bi izračunali moment tromosti presjeka u stadiju I, najprije se treba izračunati položaj neutralne osi u stadiju I. Za proračun položaja neutralne osi potreban nam je omjer modula elastičnosti armature (200000 MPa) i betona:

$$\alpha_e=\frac{E_s}{E_{cm}}=\frac{200000}{33282,28}=6,01 \quad (4.30)$$

Položaj neutralne osi računa se poput proračuna težišta presjeka. Potrebno je uključiti površinu cijelog računskog presjeka i površinu armature vlačnoj zoni (3,35 cm²). U sljedećem izrazu izračunata je udaljenost od vlačnog ruba do neutralne osi:

$$y_{ld}=\frac{100\cdot15\cdot7,5+6,01\cdot3,35\cdot2,4}{100\cdot15+6,01\cdot3,35}=7,43 \text{ cm} \quad (4.31)$$

Nakon što je izračunat položaj neutralne osi, moment tromosti računskog presjeka računa se prema sljedećem izrazu:

$$I_I=\frac{100\cdot15^3}{12}+100\cdot15\cdot(7,5-7,43)^2+6,01\cdot3,35\cdot(7,43-2,4)^2=28641,75 \text{ cm}^4 \quad (4.32)$$

Sada se može izračunati ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka koja je jednaka srednjoj zakrivljenosti, odnosno zakrivljenosti poprečnog presjeka u stadiju I:

$$\frac{1}{r_{tot}}=\frac{1}{r_m}=\frac{1}{r_I}=\frac{M_{cr}}{E_{cm}\cdot I_I}=\frac{1203,7}{3328,228\cdot28641,75}=1,26\cdot10^{-5} \left(\frac{1}{\text{cm}}\right) \quad (4.33)$$

Nakon što je zakrivljenost poprečnog presjeka pri pojavi prve pukotine izračunata, može se izračunati ukupan progib plošnog nosača pri pojavi prve pukotine:

$$v_{tot}=0,106\cdot300^2\cdot1,26\cdot10^{-5}=0,121 \text{ cm}=1,21 \text{ mm} \quad (4.34)$$

Nakon podataka pri pojavi prve pukotine izračunat će se granična nosivost plošnog nosača proračunom pomoću μ_{sd} postupka. Najprije je potrebno izračunati koeficijent ω_1 prema sljedećem izrazu:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot d \cdot b = 3,35 \text{ cm}^2 \rightarrow \omega_1 = 0,05 \quad (4.35)$$

gdje su:

A_{s1} - površina armature u vlačnoj zoni

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1,5} = 23,33 \text{ MPa}$ - računski tlačni čvrstoća betona (C35/45)

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$ - računski granica razvlačenja armature (B500B)

Nakon toga se iz tablice za dimenzioniranje pravokutnih presjeka prema graničnim stanjima nosivosti [7] iščitava bezdimenzijski koeficijent momenta savijanja μ_{sd} :

$$\omega_1 = 0,05 \rightarrow \mu_{sd} = 0,048 \quad (4.36)$$

Nakon toga se iz sljedećeg izraza izračuna granični moment savijanja kojeg može izdržati plošni nosač (granična savojna nosivost):

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Rd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \rightarrow M_{Rd} = 1784 \text{ kNcm} = 17,84 \text{ kNm/m} \quad (4.37)$$

Prema ovom statičkom sustavu ukupna sila ima dvostruko veću brojčanu vrijednost u odnosu na moment savijanja, pa je granična sila opterećenja na plošni nosač jednaka:

$$P = 2 \cdot M_{Rd} = 35,68 \text{ kN/m} \quad (4.38)$$

Za proračun progiba pri maksimalnoj nosivosti potrebno je u proračun zakrivljenosti poprečnog presjeka uključiti zakrivljenost u stadiju I i stadiju II:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} \quad (4.39)$$

Prema izrazu (4.12) proračuna se zakrivljenost poprečnog presjeka u stadiju I:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Rd}}{E_{cm} \cdot I} = \frac{1784}{3328,228 \cdot 28641,75} = 1,87 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{\text{cm}} \right) \quad (4.40)$$

Za proračun zakrivljenosti poprečnog presjeka u stadiju II potrebno je izračunati relativnu deformaciju vlačne armature i udaljenost od neutralne osi do tlačnog ruba.

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (4.41)$$

gdje su:

σ_s – naprezanje u armaturi u stadiju II

$E_s = 200000 \text{ MPa}$ - modul elastičnosti armature

Naprezanje u armaturi u stadiju II računa se prema sljedećem izrazu:

$$\sigma_s = \frac{M_{Rd}}{A_{s1} \cdot z} \quad (4.42)$$

gdje je:

z - krak unutrašnjih sila.

Krak unutrašnjih sila se računa prema sljedećem izrazu:

$$z = d - \frac{y_{llg}}{3} \quad (4.43)$$

Prije proračuna kraka unutarnjih sila potrebno je najprije izračunati udaljenost od neutralne osi do tlačnog ruba u stadiju II prema sljedećem izrazu:

$$y_{llg}^2 + 2 \cdot r \cdot y_{llg} + s = 0 \quad (4.44)$$

$$y_{llg} = -r + \sqrt{r^2 + s} \quad (4.45)$$

gdje su r i s koeficijenti koji ovise o statičkom momentu plošnog nosača u stadiju II i računaju se prema sljedećim izrazima:

$$r = \frac{a_e}{b} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = \frac{6,01}{100} \cdot (3,35 + 1,96) = 0,31 \quad (4.46)$$

$$s = \frac{2 \cdot a_e}{b} \cdot (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2) = \frac{2 \cdot 6,01}{100} \cdot (3,35 \cdot 12,6 + 1,96 \cdot 2,75) = 5,57 \quad (4.47)$$

$$d_2 = 2 + 0,5 + \frac{0,5}{2} = 2,75 \text{ cm} \quad (4.48)$$

gdje su:

a_e - omjer modula elastičnosti armature i betona

A_{s1} - površina armature u vlačnoj zoni

A_{s2} - površina armature u tlačnoj zoni

d - statička visina (udaljenost od težišta vlačne armature do tlačnog ruba)

d_2 - udaljenost od težišta tlačne armature do tlačnog ruba

Kad se sve izračuna i uvrsti u jednadžbu (4.45), udaljenost od neutralne osi do tlačnog ruba jednaka je:

$$y_{lg} = -0,31 + \sqrt{0,31^2 + 5,57} = 2,07 \text{ cm} \quad (4.49)$$

Nakon što se taj rezultat uvrsti u jednadžbu (4.43), krak unutarnjih sila jednak je:

$$z = 12,6 - \frac{2,07}{3} = 11,91 \text{ cm} \quad (4.50)$$

Nakon proračuna kraka unutarnjih sila može se izračunati naprezanje u armaturi u stadiju II i relativnu deformaciju vlačne armature:

$$\sigma_s = \frac{1784}{3,35 \cdot 11,91} = 44,713 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 447,13 \text{ MPa} \quad (4.51)$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{447,13}{200000} = 2,224 \cdot 10^{-3} \quad (4.52)$$

Sada se može izračunati zakrivljenost poprečnog presjeka pri stadiju II:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{2,224 \cdot 10^{-3}}{12,6 - 2,07} = 2,123 \cdot 10^{-4} \left(\frac{1}{\text{cm}} \right) \quad (4.53)$$

Naprezanje u armaturi pri pojavi prve pokotine jednako je:

$$\sigma_{sr} = \frac{1203,7}{3,35 \cdot 11,91} = 30,17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 301,7 \text{ MPa} \quad (4.54)$$

Nakon ovog proračuna može se iz jednadžbe (4.23) izračunati koeficijent raspodjele zakrivljenosti:

$$\zeta = 1 - 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{301,7}{447,13} \right) = 0,545 \quad (4.55)$$

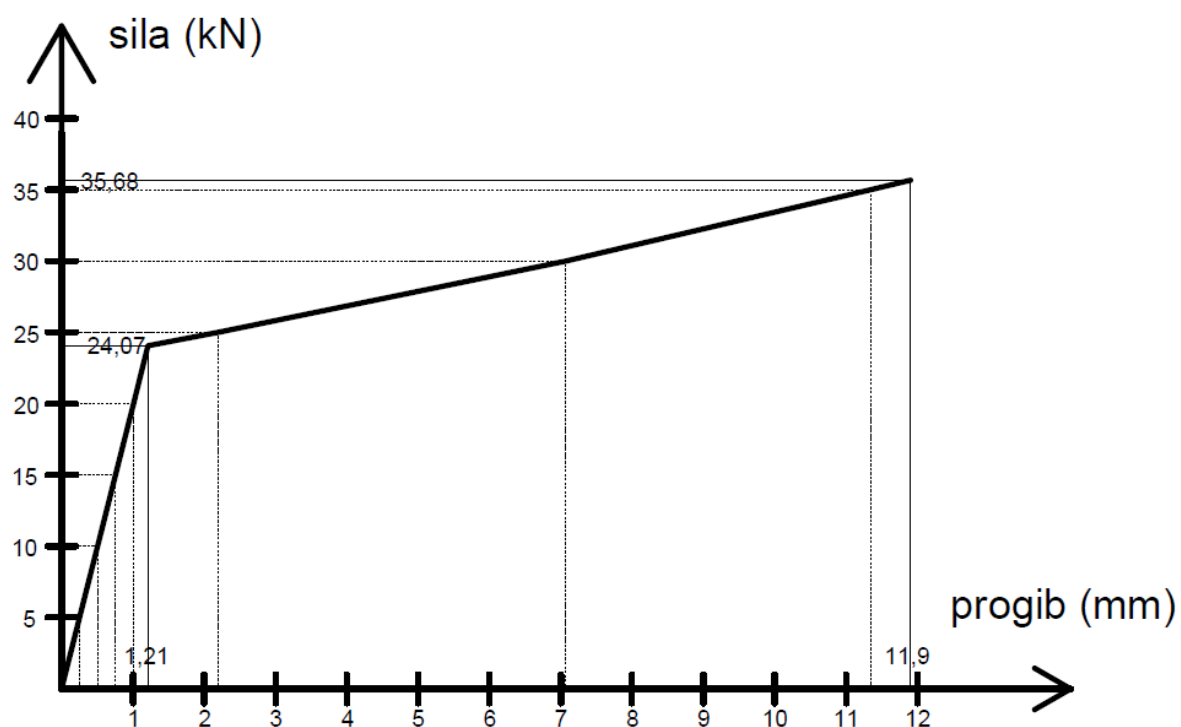
Sada se može izračunati ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_m} = (1 - 0,545) \cdot 1,87 \cdot 10^{-5} + 0,545 \cdot 2,123 \cdot 10^{-4} = 1,242 \cdot 10^{-4} \left(\frac{1}{\text{cm}} \right) \quad (4.56)$$

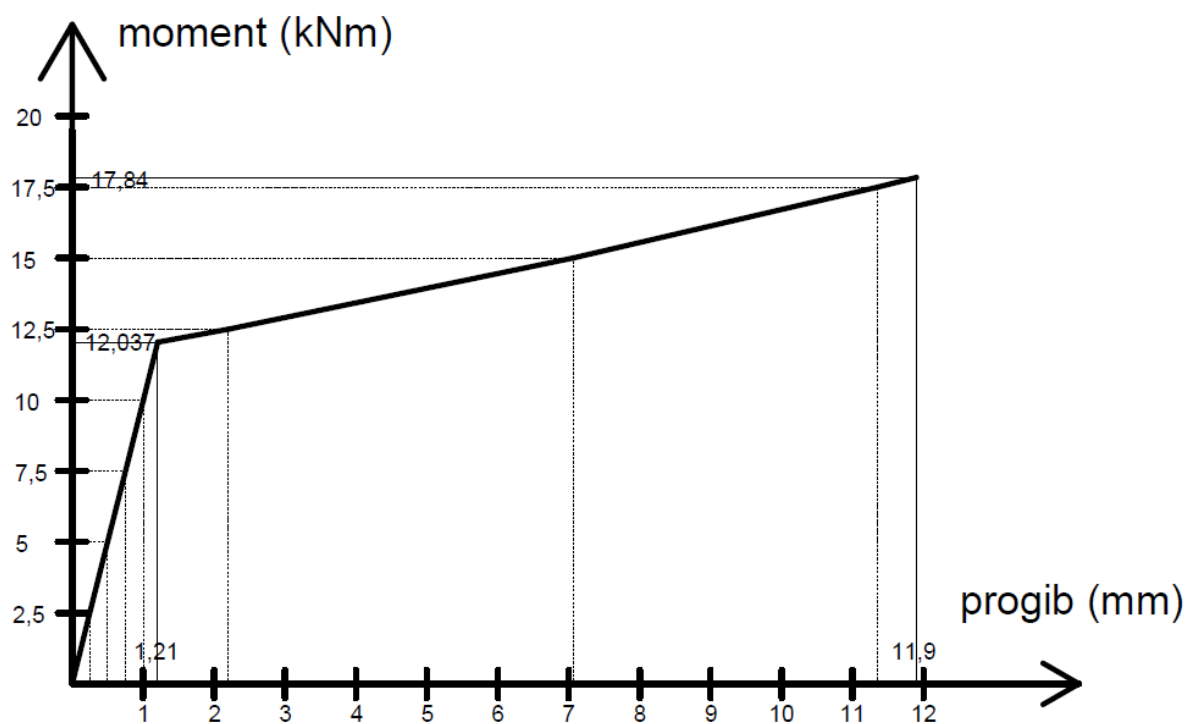
Nakon proračuna ukupne zakrivljenosti poprečnog presjeka može se izračunati ukupni progib plošnog nosača:

$$v_{\text{tot}} = 0,106 \cdot 300^2 \cdot 1,242 \cdot 10^{-4} = 1,19 \text{ cm} \quad (4.57)$$

Proračunom pomoću μ_{sd} postupka dobiveni granični moment pri otkazivanju nosivosti dobiven je 17,84 kNm/m'. Nakon dobivenih graničnih momenata savijanja pri otkazivanju nosivosti proračunata je ručno ukupna sila kojom je opterećena ploča za rezultat graničnog momenta savijanja dobivenog μ_{sd} postupkom. Za granični moment savijanja dobiven μ_{sd} postupkom odgovarajuća ukupna sila iznosi 35,68 kN/m'. Zatim je prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7] proračunat moment savijanja pri pojavi prve pukotine i iznosi 12,037 kNm/m' i nakon toga statičkim proračunom je dobivena odgovarajuća ukupna sila opterećenja pri pojavi prve pukotine i iznosi 24,07 kN/m'. Nakon kompletnog proračuna momenta savijanja i ukupne sile opterećenja proračunat je odgovarajući progib plošnog nosača za navedene slučajeve prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7]. Za moment savijanja pri pojavi prve pukotine odgovarajući progib plošnog nosača iznosi 0,121 cm. Za granični moment savijanja dobiven μ_{sd} postupkom odgovarajući progib iznosi 1,19 cm. Istim postupkom izračunati su progibi za još nekoliko sila odnosno momenata savijanja kako bi se mogli definirati dijagrami ponašanja plošnog nosača koji su prikazani na slikama 4.70 i 4.71. S obzirom da su vrijednosti ukupne sile i momenta savijanja u kN/m' odnosno u kNm/m', a dužina čelične ploče postavljene po širini je 1 m, zaključuje se kako su jednake vrijednosti ukupne sile i momenta savijanja u kN odnosno u kNm.



Slika 4.70: Dijagram sila-progib plošnog nosača



Slika 4.71: Dijagram moment savijanja-progib plošnog nosača

Na kraju su proračunati odgovarajući progibi za još nekoliko momenata savijanja odnosno ukupnih sila opterećenja kako bi se dobili dijagrami sila-progib i moment savijanja-progib koji opisuju ponašanje plošnog nosača prema analitičkom proračunu. Na slikama 4.70 i 4.71 prikazani su navedeni dijagrami.

Analiza rezultata ispitivanja nosača na razini konstrukcijskih elemenata, usporedba rezultata eksperimentalnih ispitivanja, numeričkog i analitičkog proračuna opisani su u sljedećem poglavlju.

5. Parametarska analiza

5.1 Uvod

U ovom poglavlju nakon uvoda najprije je opisana analiza rezultata ispitivanja nosača na razini konstrukcijskih elemenata i uspoređeni su grafički i tablično rezultati eksperimentalnih ispitivanja, numeričkih i analitičkih proračuna plošnih nosača. Nakon toga provedena je parametarska analiza dobivenih rezultata. Napravljeni su i analizirani modeli plošnih nosača u programu Ansys debljina 15, 20 i 25 cm. Napravljeni su također modeli plošnih nosača armirani s različitim mrežastim armaturama, jedni modeli su armirani mrežastom armaturom Q335 (šipke promjera 8 mm na razmaku 15 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u donjoj zoni i mrežastom armaturom Q196 (šipke promjera 5 mm na razmaku 10 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u gornjoj zoni, drugi modeli su armirani mrežastom armaturom Q503 (šipke promjera 8 mm na razmaku 10 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u donjoj zoni i mrežastom armaturom Q335 u gornjoj zoni, dok su treći modeli armirani mrežastom armaturom Q785 (šipke promjera 10 mm na razmaku 10 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u donjoj zoni i mrežastom armaturom Q503 u gornjoj zoni. Za sve navedene primjere u programu Ansys napravljeni su modeli plošnog nosača od različite klase betona (izmodelirani su plošni nosači klase betona C25/30, C30/37 i C35/45). Modeli plošnih nosača izmodelirani su prema istom postupku kao u prethodnom poglavlju.

5.2 Analiza rezultata ispitivanja nosača na razini konstrukcijskih elemenata

U tablici 5.1 prikazana je usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača eksperimentalno, numerički prema programu Ansys i analitički prema EC2 (HRN EN 1992-1-1:2013) [7]. Na slici 5.1 grafički je prikazana usporedba eksperimentalnih rezultata i rezultata numeričkog proračuna plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima, na slici 5.2 prikazana je usporedba eksperimentalnih rezultata i rezultata numeričkog i analitičkog proračuna plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom bez ugradnje mikrovalnih rezonatora,

dok je na slici 5.3 grafički prikazana usporedba rezultata eksperimentalnih, numeričkih i analitičkih ispitivanja svih plošnih nosača.

P-P eksperimentalno predstavlja optimiziranu vrijednosti eksperimentalnih ispitivanja plošnih nosača pojačanih čeličnim mikrovalnim rezonatorima i armaturom (uzete su ploče P-P-1 i P-P-2, ploča P-P-3 nije uzeta u obzir iz razloga što je pojačana s dvostrukom mrežom u srednjoj trećini raspona u donjoj zoni dok kod ostalih modela nema dvostruke mreže).

P-K eksperimentalno predstavlja optimiziranu vrijednosti eksperimentalnih ispitivanja plošnih nosača pojačanih samo armaturom (uzete su P-K-1 i P-K-2, ploča P-K-3 nije uzeta u obzir iz razloga što je pojačana s dvostrukom mrežom u srednjoj trećini raspona u donjoj zoni dok kod ostalih modela nema dvostruke mreže).

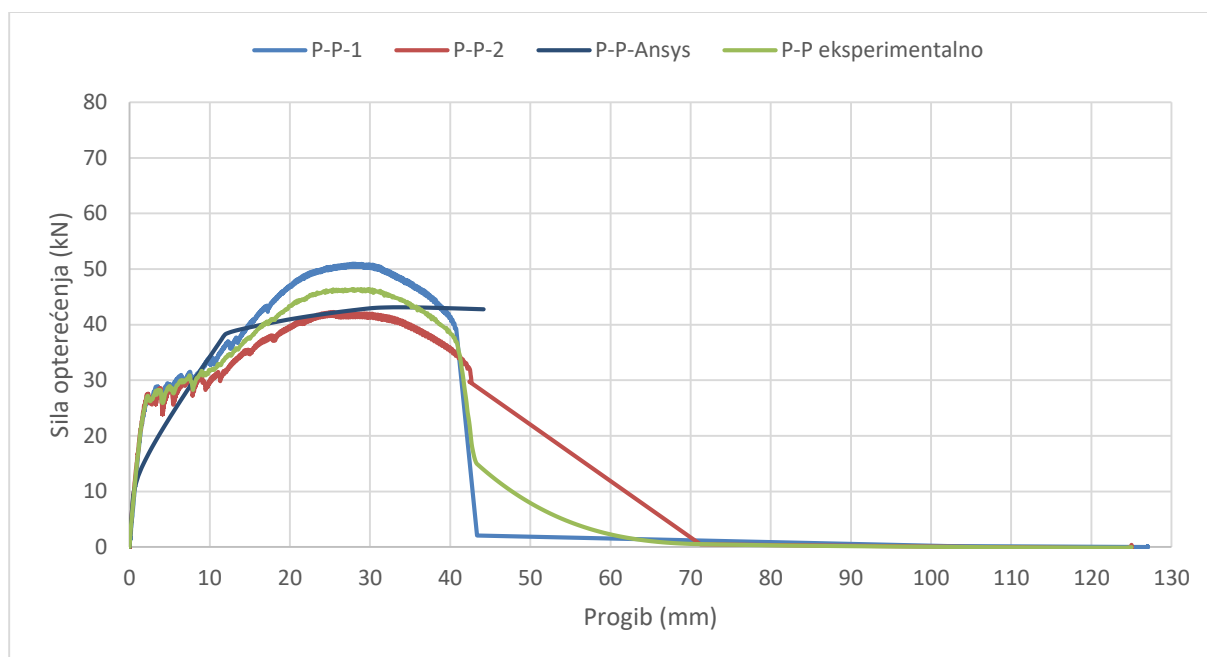
P-P-Ansys predstavlja vrijednosti numeričkog proračuna plošnih nosača pojačanih čeličnim mikrovalnim rezonatorima i armaturom u programu Ansys.

P-K-Ansys predstavlja vrijednosti numeričnog proračuna plošnih nosača pojačanih samo armaturom u programu Ansys.

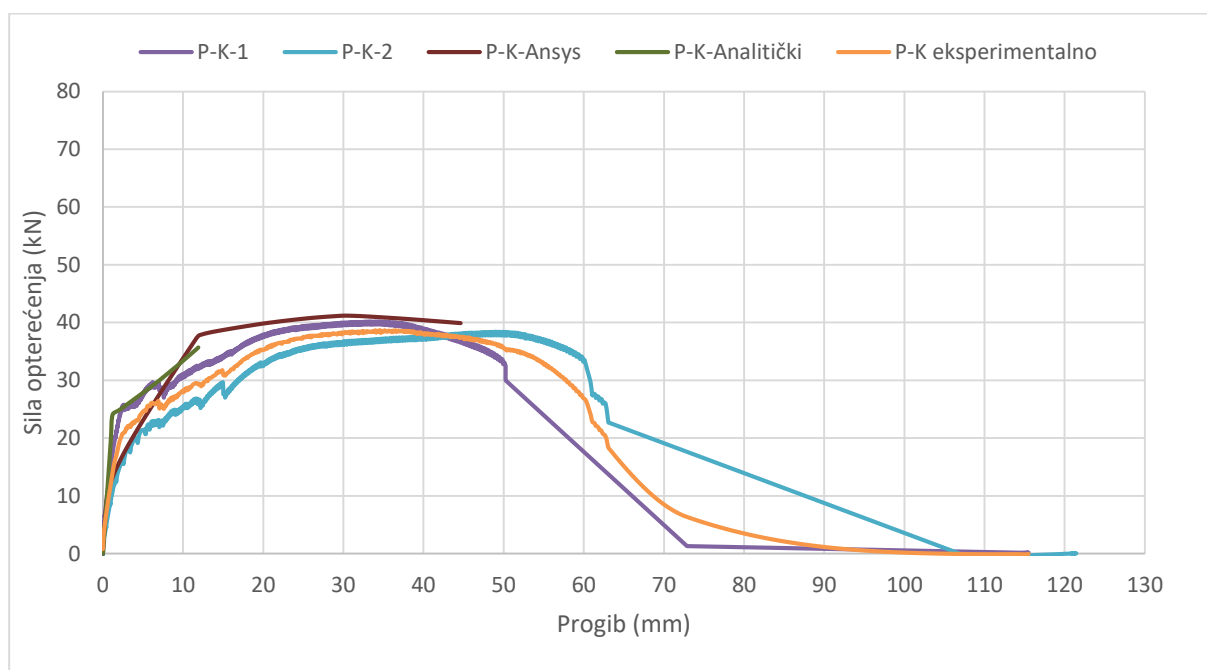
P-K-Analitički predstavlja vrijednosti analitičnog proračuna plošnog nosača pojačanog samo mrežastom armaturom prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7].

Tablica 5.1: Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača eksperimentalnom metodom, u programu Ansys i analitičkom metodom

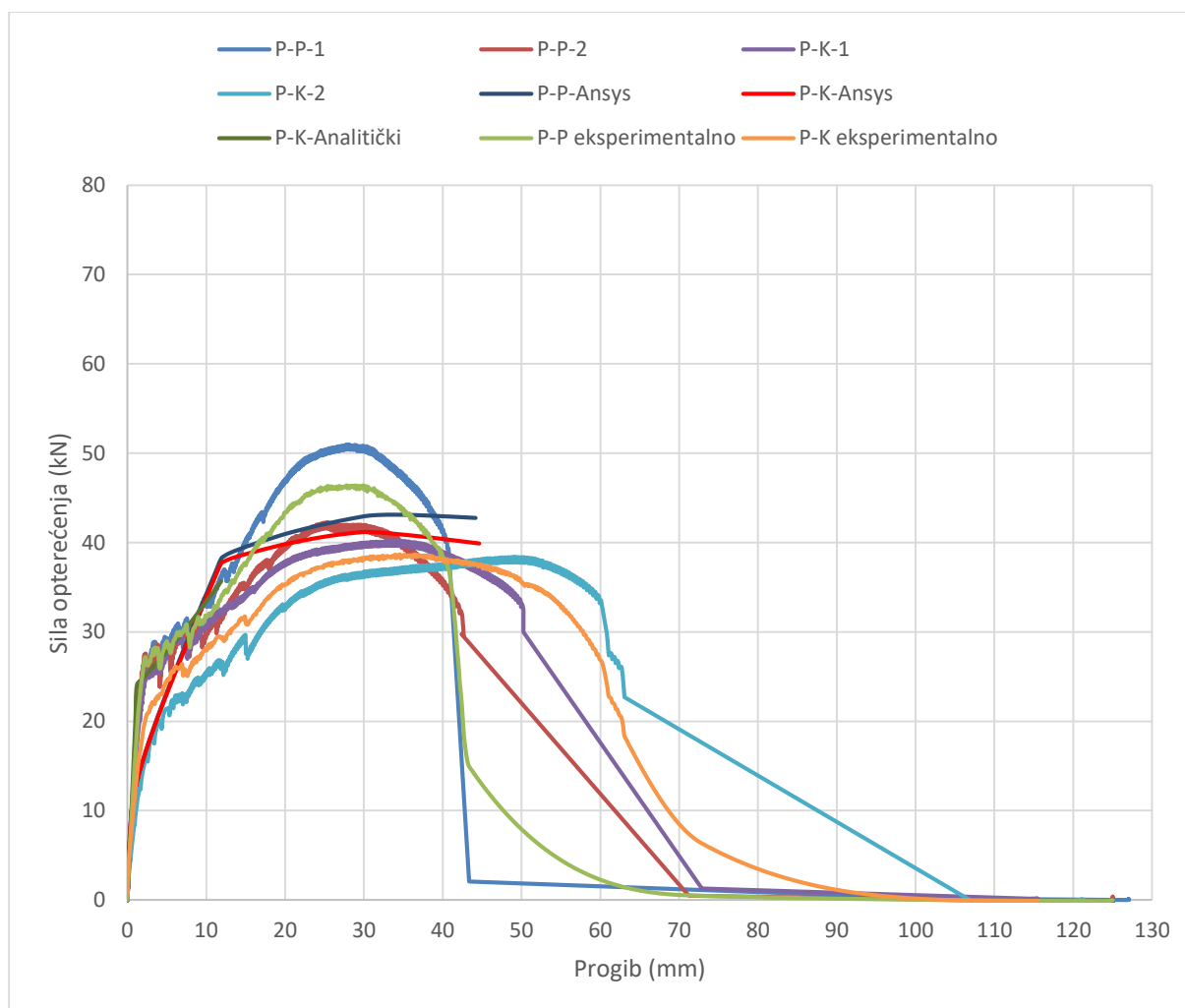
Ploča	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P eksperimentalno	8,09 (11,15 i 4,69)	1 (1,54 i 0,48)	46,4 (50,87 i 42,28)	28,91 (29,12 i 25,48)
P-K eksperimentalno	10,37 (12,81 i 7,82)	2,52 (2,48 i 2,56)	38,68 (40,20 i 38,42)	34,56 (34,56 i 49,02)
P-P-Ansys	5,87	0,85	43,12	33,34
P-K-Ansys	5,86	0,85	41,19	30,29
P-K-Analitički	12,037	1,21	35,68	11,9



Slika 5.1: Usporedba eksperimentalnih rezultata i rezultata numeričkog proračuna plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima



Slika 5.2: Usporedba eksperimentalnih rezultata, rezultata numeričkog i analitičkog proračuna plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora



Slika 5.3: Usporedba rezultata ispitivanja svih plošnih nosača eksperimentalnom, numeričkom i analitičkom metodom

Iz navedenih prikaza rezultata vidi se sličnost eksperimentalnih, numeričkih i analitičkih rezultata. U programu Ansys pojava prve pukotine javlja prije u odnosu na eksperimentalno dobivene rezultate (manji moment i manji progib u odnosu na prosječne eksperimentalno dobivene rezultate), dok prema analitičkom proračunu moment pri pojavi prve pukotine je veći od prosječnog momenta pri pojavi prve pukotine dobivenog eksperimentalnim ispitivanjima. Što se tiče plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima, progib i moment pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-Ansys manji su od progiba i momenta pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-1, a veći su od progiba i momenta pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-2. Maksimalna nosivost plošnog

nosača P-P-Ansys veća je od maksimalne nosivosti plošnog nosača P-P-2 za 1,99 %, a manja od maksimalne nosivosti plošnog nosača P-P-1 za 15,24 %, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-Ansys veći u odnosu na progib optimiziranog plošnog nosača P-P eksperimentalno za 15,33 %. Što se tiče plošnih nosača bez mikrovalnih rezonatora, progib i moment pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-Ansys manju su od momenta pri pojavi prve pukotine i progiba plošnih nosača P-K-1 i P-K-2. Moment pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-Analitički malo je manji od momenta pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-1, a veći od momenta pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-2, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-Analitički manji od progiba pri pojavi prve pukotine plošnih nosača P-K-1 i P-K-2. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-K-Ansys veća je od maksimalne nosivosti plošnog nosača P-K-1 za 2,46 %, dok je od maksimalne nosivosti plošnog nosača P-K-2 veća za 7,21 %. Progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-Ansys za 12,35 % je manji od progiba pri maksimalnoj nosivosti optimiziranog plošnog nosača P-K eksperimentalno. Maksimalna nosivost plošnog nosača P-K-Analitički manja od maksimalne nosivosti plošnog nosača P-K-1 za 11,24 %, dok je od maksimalne nosivosti plošnog nosača P-K-2 manja za 7,13 %. Progib pri maksimalnoj nosivosti P-K-Analitički nije mjerodavan podatak za usporedbu s ostalim progibima pri maksimalnoj nosivosti, iz razloga jer je prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7] ponašanje plošnog nosača nakon pojave prve pukotine i ulaska u stadij II (stanje naprezanja II) linearno bez daljnjih zakrivljenja, dok kod eksperimentalno dobivenih rezultata nakon pojave prve pukotine i ulaska ponašanja plošnog nosača u stadij II postoji više nelinearnih zona ponašanja plošnog nosača i samim time i više zakrivljenja krivulje ponašanja plošnog nosača. Sa slika 5.1, 5.2 i 5.3 vidi se kako je slično ponašanje plošnih nosača prema eksperimentalnim, numeričkim i analitičkim rezultatima. Razlike se javljaju iz razloga što nije moguće napraviti potpuno identičan model kao kod eksperimentalnih ispitivanja. Nadalje, pri numeričkom proračunu, apsolutna je učvršćenost čeličnih cijevi na koje je oslonjen plošni nosač u programu Ansys, dok su pri eksperimentalnim ispitivanjima mogući mali pomaci čeličnih cijevi na koje je oslonjen plošni nosač. Bez obzira na spomenute otegotne okolnosti, rezultati numeričkog proračuna, kao i u eksperimentalnim ispitivanjima, pokazuju kako se dodatkom čeličnih mikrovalnih rezonatora armiranobetonskom plošnom nosaču

povećava nosivost plošnog nosača na savijanje. Dakle, pokazuje se kako mikrovalni rezonatori povoljno utječu na nosivost i prema eksperimentalnim ispitivanjima i prema programu Ansys.

Kod pojave prve pukotine javlja se redukcija ili smanjenje momenta savijanja plošnih nosača pojačanih čeličnim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na kontrolne uzorke. Koeficijent redukcije za pojavu prve pukotine u odnosu na obične AB elemente za plošne nosače pojačane mrežastom armaturom bez preklopa (P-P-1, P-P-2, P-K-1 i P-K-2) dobiva se tako što se moment savijanja pri pojavi prve pukotine plošnog nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima podijeli s momentom savijanja pri pojavi prve pukotine plošnog nosača bez mikrovalnih rezonatora i iznosi 0,78. Za plošne nosače pojačane mrežastom armaturom s preklomom u srednjoj trećini raspona (P-P-3 i P-K-3) koeficijent redukcije za pojavu prve pukotine iznosi 0,895.

Kod maksimalnih momenata savijanja javlja se povećanje momenta savijanja plošnih nosača pojačanih čeličnim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na kontrolne uzorke. Koeficijent povećanja maksimalnog momenta savijanja u odnosu na obične AB elemente za plošne nosače pojačane mrežastom armaturom bez preklopa (P-P-1, P-P-2, P-K-1 i P-K-2) dobiva se tako što se maksimalni moment savijanja plošnog nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima podijeli s maksimalnim momentom savijanja plošnog nosača bez mikrovalnih rezonatora i iznosi 1,2. Za plošne nosače pojačane mrežastom armaturom s preklomom u srednjoj trećini (P-P-3 i P-K-3) koeficijent povećanja maksimalnog momenta savijanja iznosi 1,066.

5.3 Usporedba plošnih nosača različitih debljina, armatura i klasa betona

5.3.1 Modeli plošnog nosača za parametarsku analizu

Izmodelirano je, numerički proračunato ukupno 54 modela plošnih nosača u programu Ansys. Numerički modeli plošnih nosača su debljina 15, 20 i 25 cm i armirani su različitim mrežastim armaturama. Jedni modeli su armirani mrežastom armaturom Q335 (šipke promjera 8 mm na razmaku 15 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u donjoj zoni i mrežastom armaturom Q196 (šipke promjera 5 mm na razmaku 10 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u gornjoj zoni,

drugi modeli su armirani mrežastom armaturom Q503 (šipke promjera 8 mm na razmaku 10 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u donjoj zoni i mrežastom armaturom Q335 u gornjoj zoni, dok su treći modeli armirani mrežastom armaturom Q785 (šipke promjera 10 mm na razmaku 10 cm jedna od druge u uzdužnom i poprečnom smjeru) u donjoj zoni i mrežastom armaturom Q503 u gornjoj zoni. Za navedene debljine i armature napravljeni su modeli plošnog nosača od različitih klasa betona, jedni modeli su od betona klase C25/30 (beton karakteristične tlačne čvrstoće 25 MPa na uzorku valjka dimenzija 15x30 cm, a karakteristične tlačne čvrstoće 30 MPa na uzorku kocke dimenzija 15x15x15 cm), drugi od betona klase C30/37 (beton karakteristične tlačne čvrstoće 30 MPa na uzorku valjka dimenzija 15x30 cm, a karakteristične tlačne čvrstoće 37 MPa na uzorku kocke dimenzija 15x15x15 cm), a treći od betona klase C35/45 (beton karakteristične tlačne čvrstoće 35 MPa na uzorku valjka dimenzija 15x30 cm, a karakteristične tlačne čvrstoće 45 MPa na uzorku kocke dimenzija 15x15x15 cm). Svi navedeni modeli napravljeni su s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i bez njih. Modeli plošnih nosača izmodelirani su prema istom postupku kao u prethodnom poglavlju. Mehanička svojstva materijala zadavana su kao u prethodnom poglavlju (za armaturu i mikrovalne rezonatora mehanička svojstva su identična kao u prethodnom poglavlju, dok su mehanička svojstva betona zadavana prema odgovarajućoj klasi istim postupkom kao u prethodnom poglavlju). Napravljena je također i analiza dobivenih rezultata spomenutih plošnih nosača. U tablici 5.2 prikazani su i opisani svi modeli plošnih nosača kojima je izvršena parametarska analiza.

Tablica 5.2: Modeli plošnih nosača kojima je izvršena parametarska analiza

Model plošnog nosača	Opis plošnog nosača
P-P-15_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

P-P-15_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-15_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-K-15_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora

P-K-15_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-15_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 15 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-P-20_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

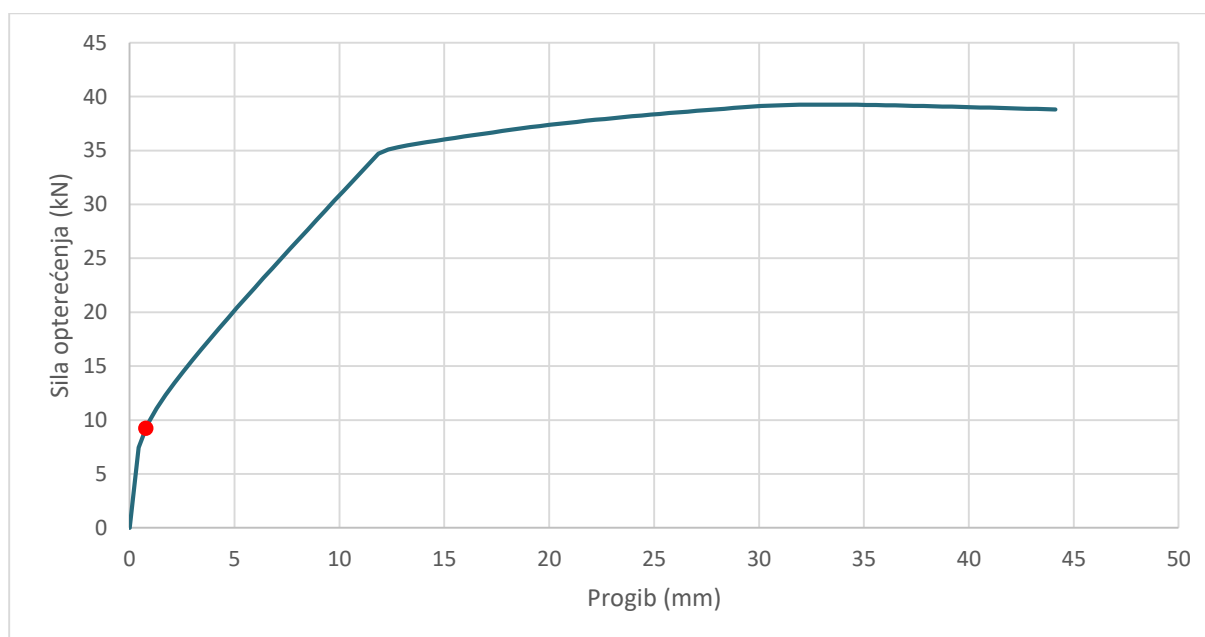
P-P-20_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-20_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-K-20_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora

P-K-20_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-20_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 20 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-P-25_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

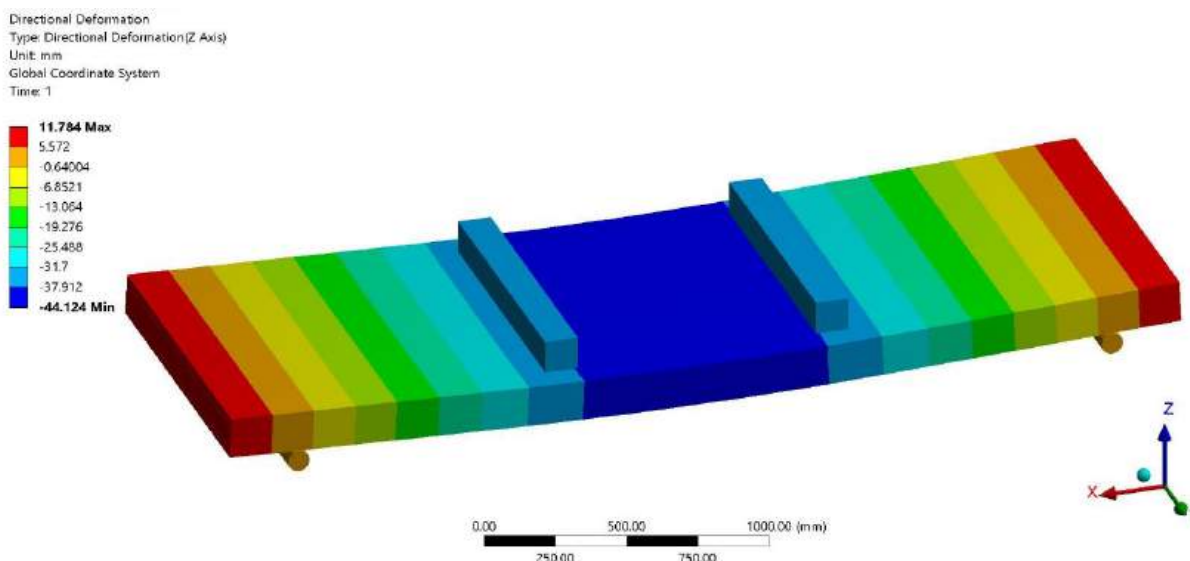
P-P-25_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-P-25_Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima
P-K-25_Q335-Q196_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q335-Q196_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q335-Q196_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q503-Q335_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q503-Q335_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q503-Q335_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_Q785-Q503_C25/30	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C25/30 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora

P-K-25_ Q785-Q503_C30/37	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C30/37 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora
P-K-25_ Q785-Q503_C35/45	Model plošnog nosača debljine 25 cm armiran mrežastom armaturom Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni klase betona C35/45 bez ugradnje čeličnih mikrovalnih rezonatora

Kod plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,24 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,78 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 4,62 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 39,26 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 33,3 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 38,81 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,12 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.4, dok je na slici 5.5 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.5 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

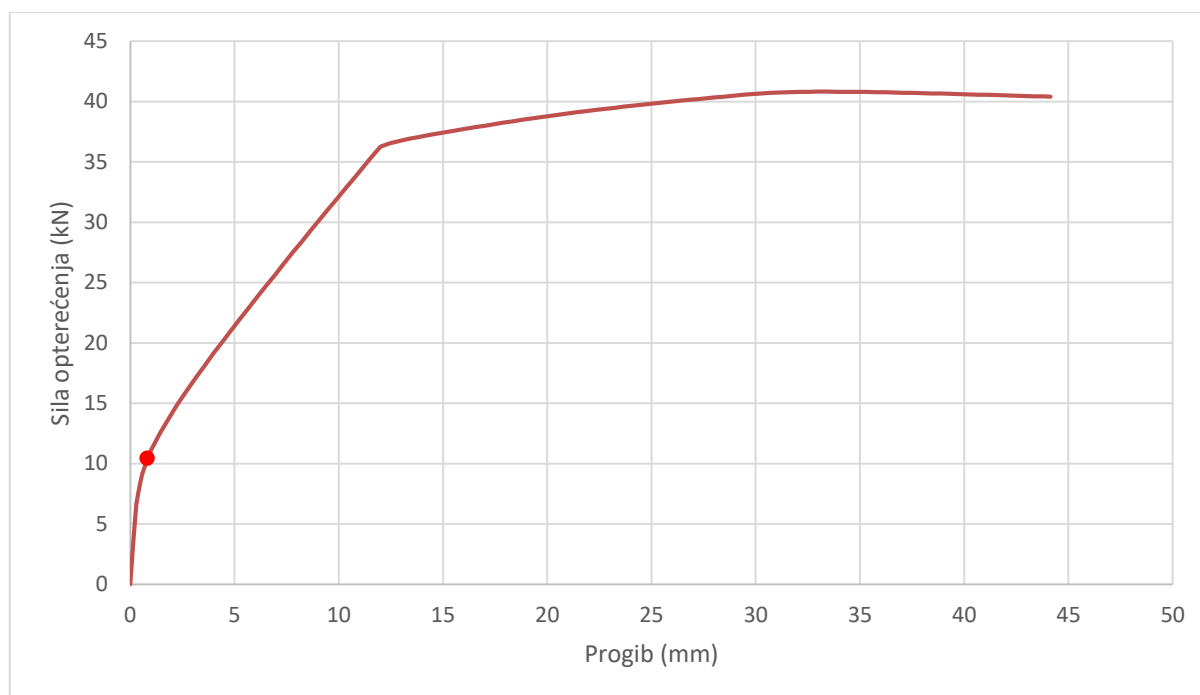


Slika 5.4: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30

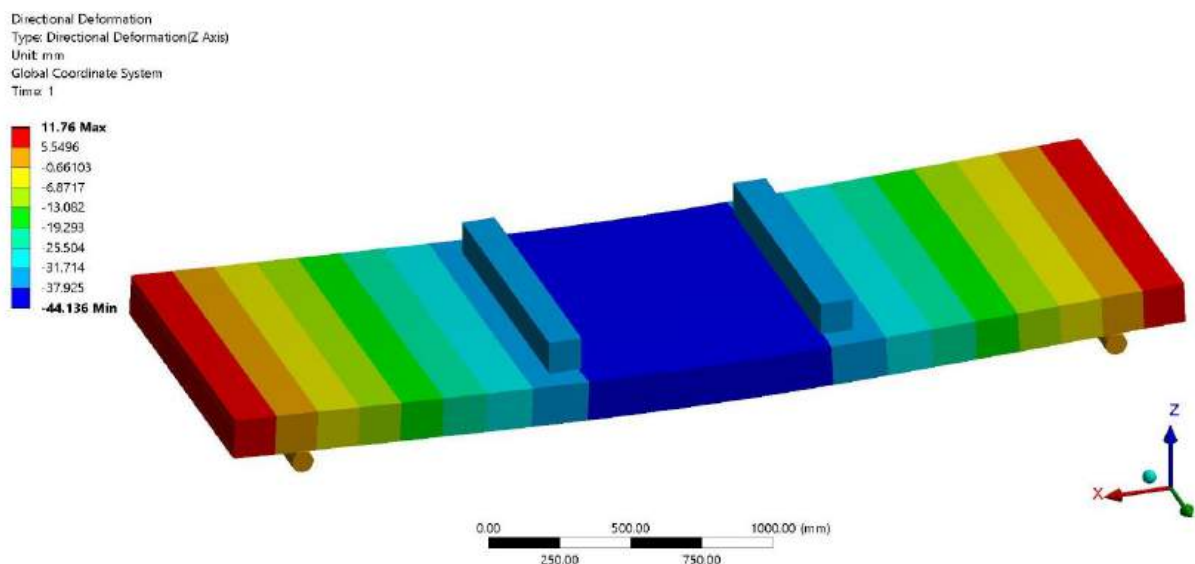


Slika 5.5: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 10,44 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,81 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,22 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 40,82 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 33,45 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 40,4 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,14 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.6, dok je na slici 5.7 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.7 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



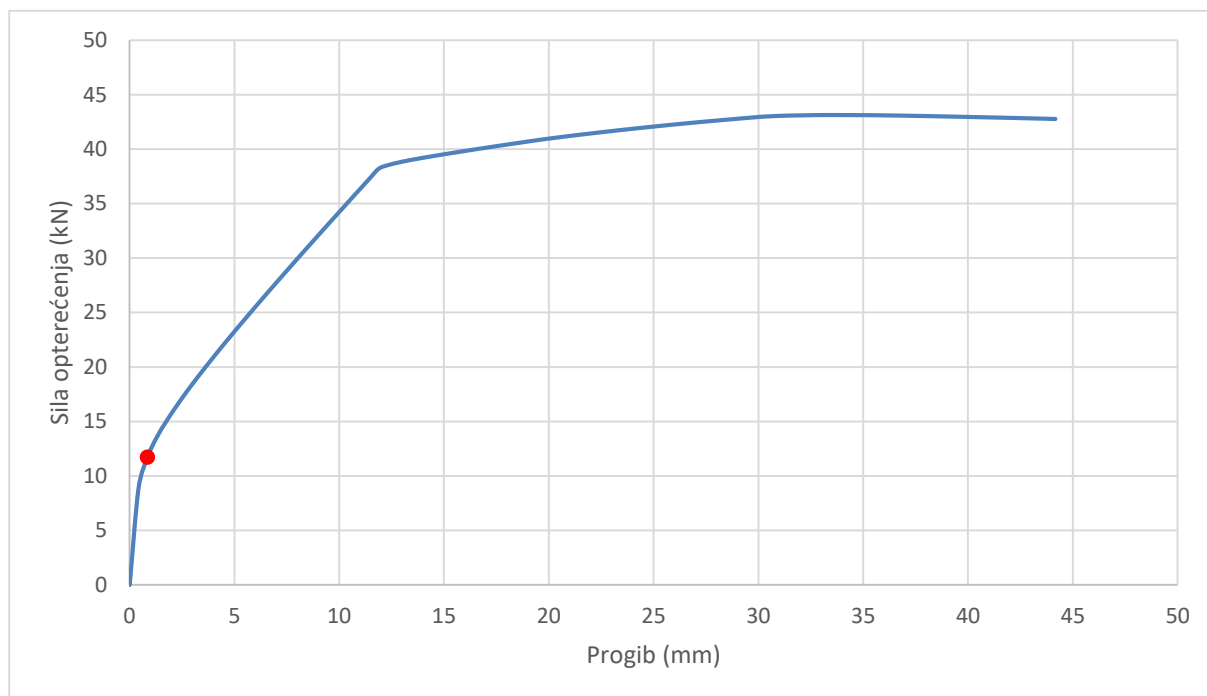
Slika 5.6: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37



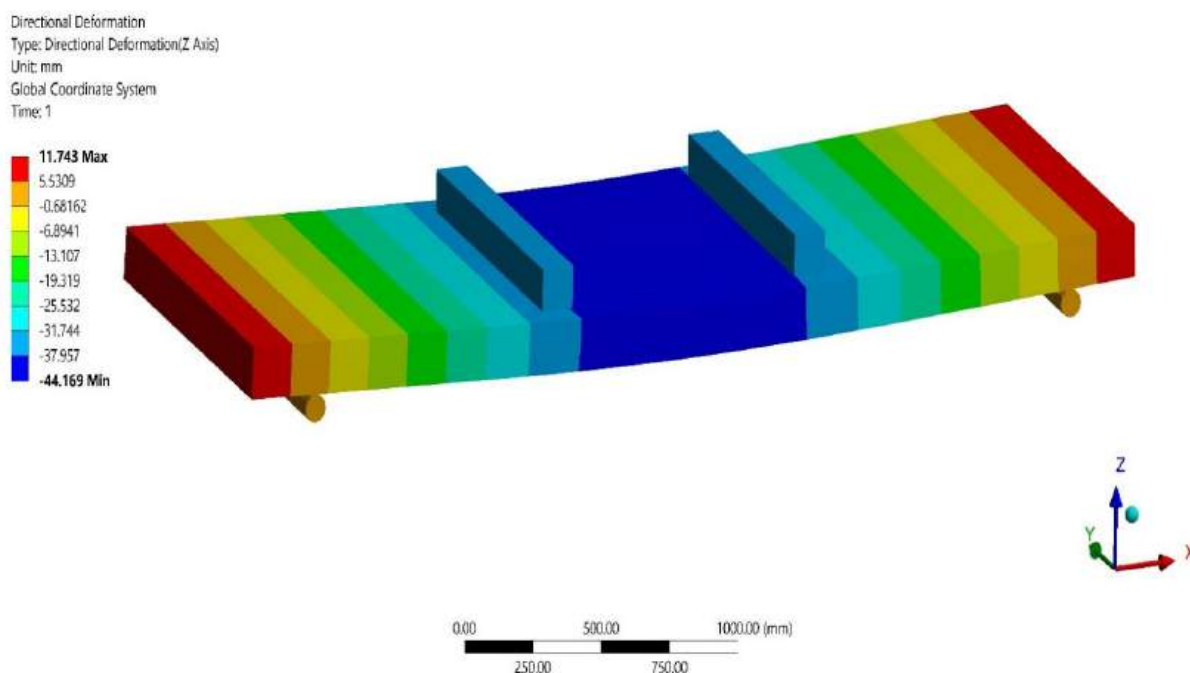
Slika 5.7: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,74 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,85 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,87 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 43,12 kN i pri tom opterećenju

progib plošnog nosača je 33,34 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 42,76 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,17 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.8, dok je na slici 5.9 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.9 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

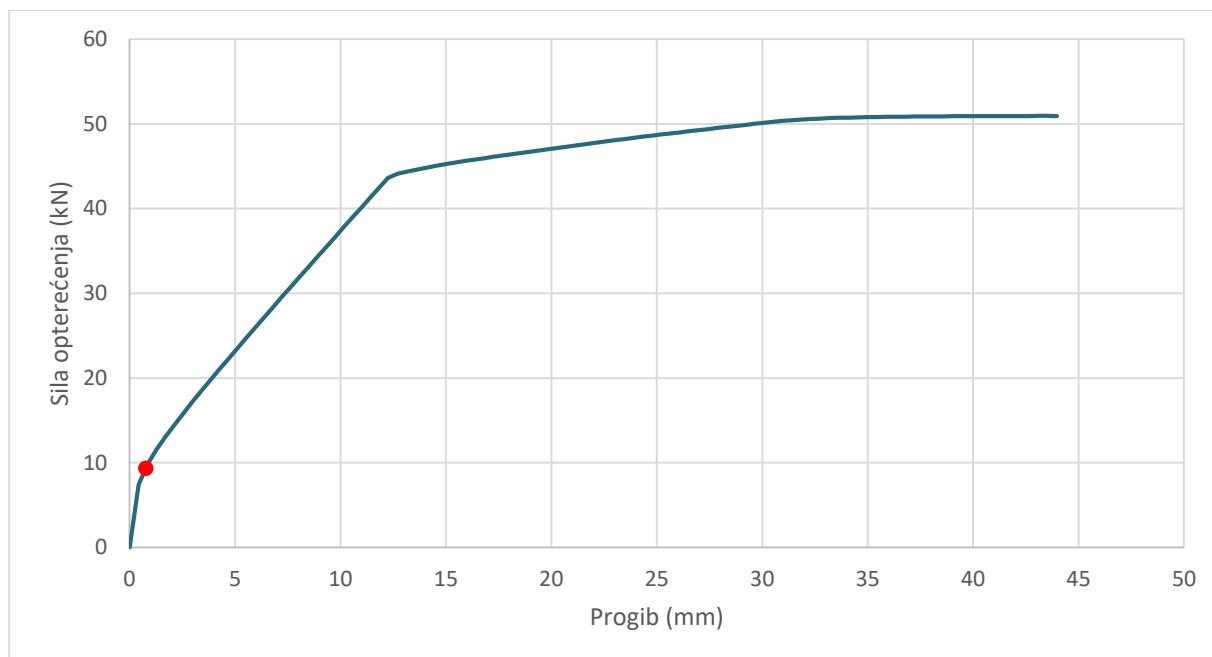


Slika 5.8: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45

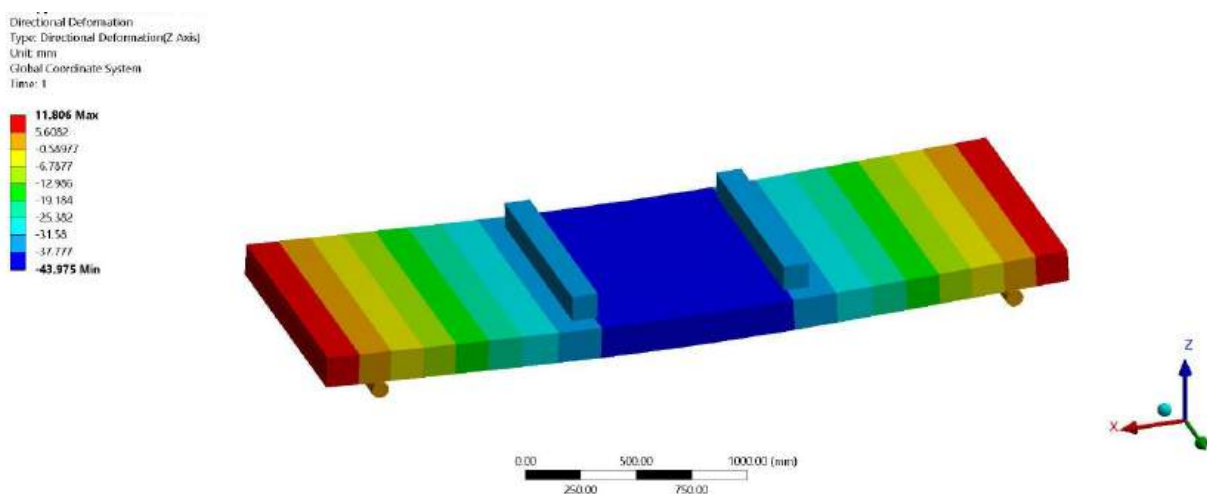


Slika 5.9: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,32 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,77 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 4,66 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 50,94 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,08 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 50,94 kN i pri tom je progib plošnog nosača 43,98 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.10, dok je na slici 5.11 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.11 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



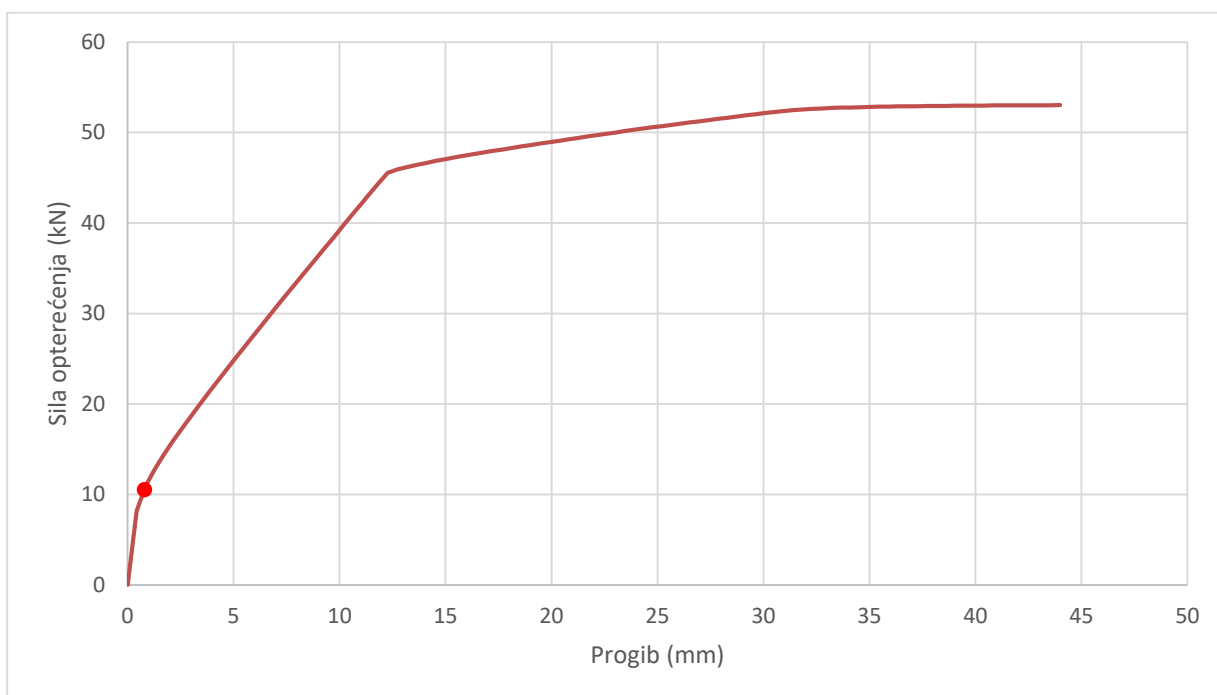
Slika 5.10: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30



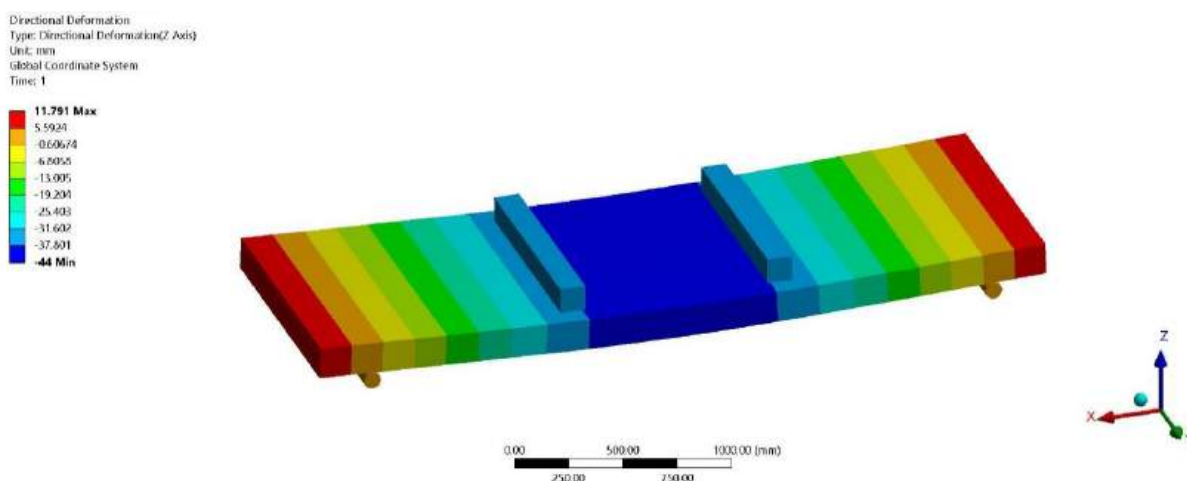
Slika 5.11: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 10,52 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,8 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,26 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 53,02 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44 mm. Otkazivanje nosivosti događa se u trenutku dostizanja maksimalne nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 53,02 kN i progibu 44 mm.

Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.12, dok je na slici 5.13 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.13 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

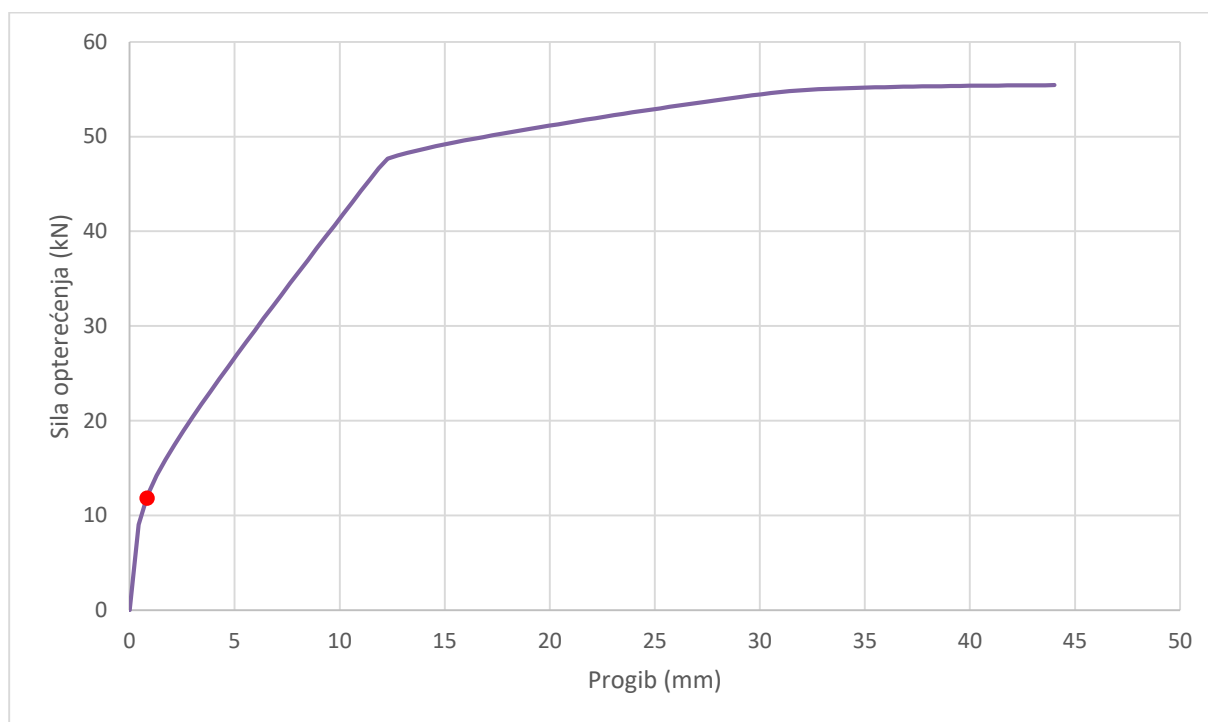


Slika 5.12: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37

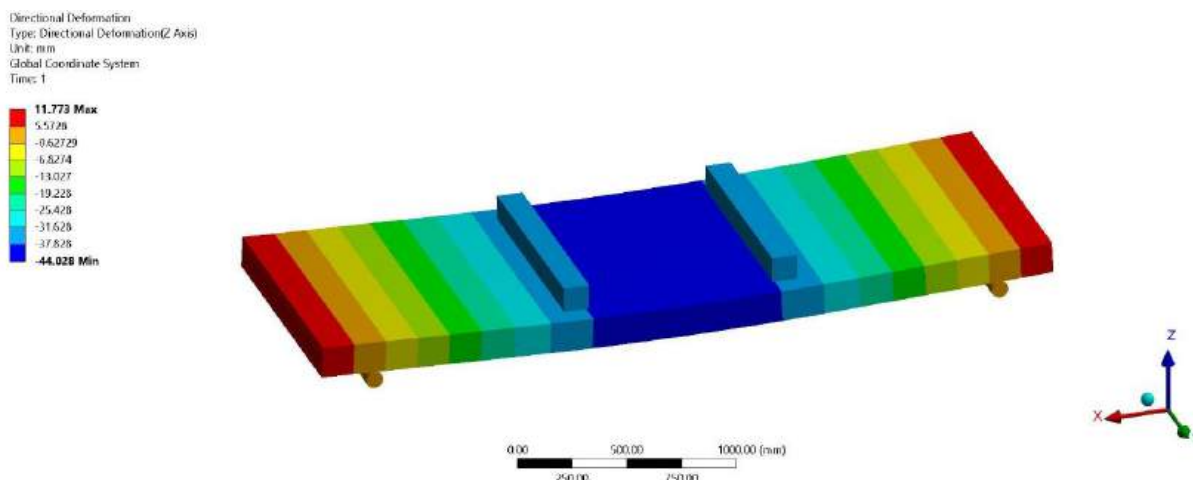


Slika 5.13: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,82 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,84 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,91 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 55,43 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,03 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri sili od 55,43 kN i progibu 44,03 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.14, dok je na slici 5.15 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.15 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

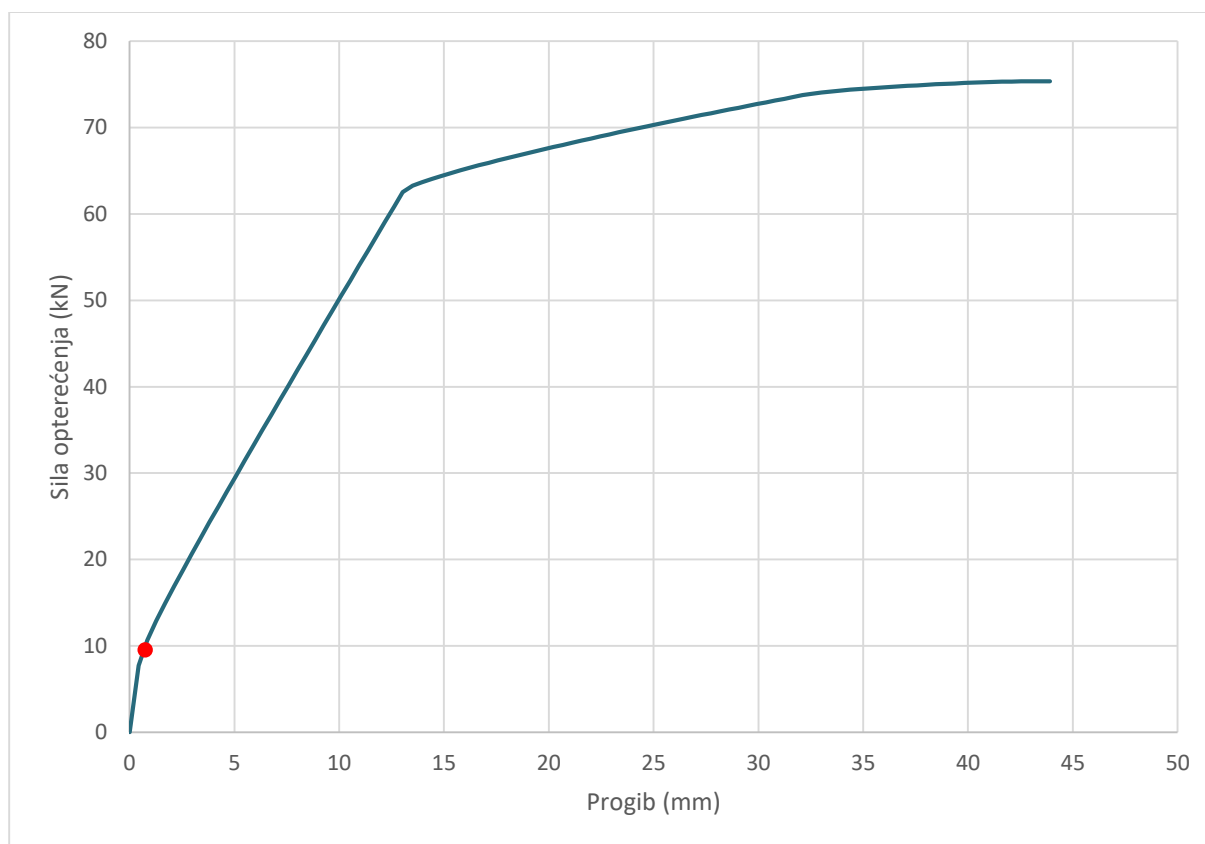


Slika 5.14: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45

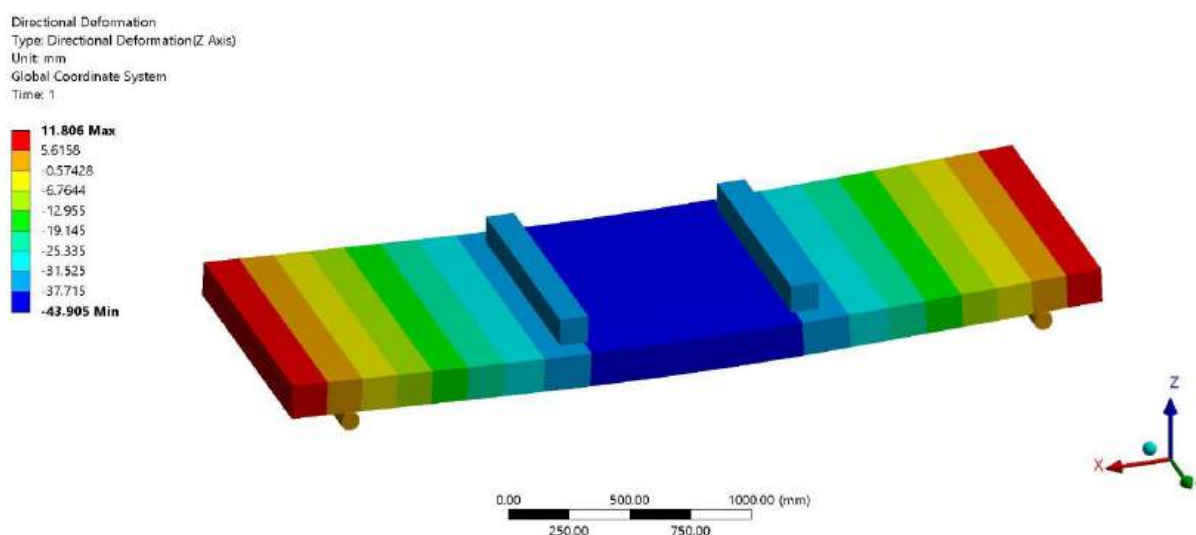


Slika 5.15: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,54 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,75 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 4,77 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 75,36 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,91 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 75,36 kN i progibu 43,91 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.16, dok je na slici 5.17 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.17 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

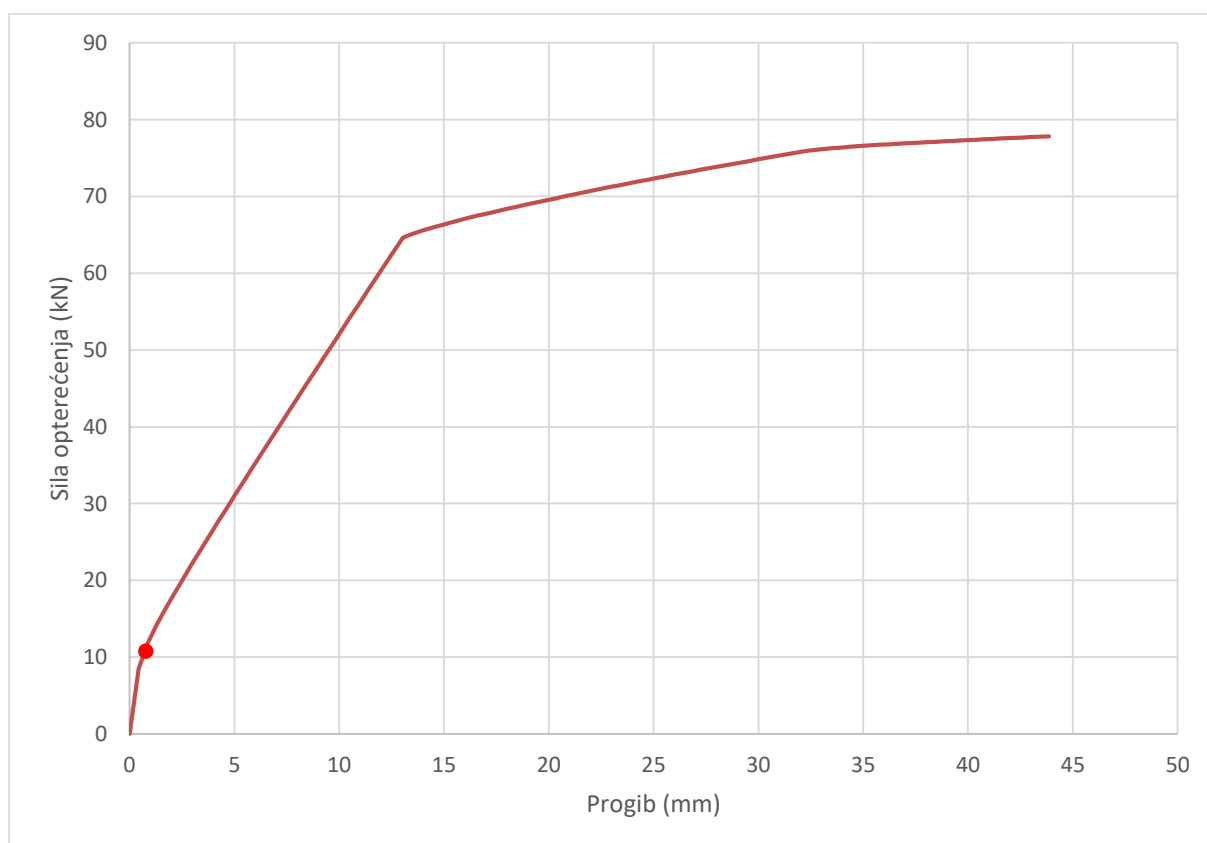


Slika 5.16: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30

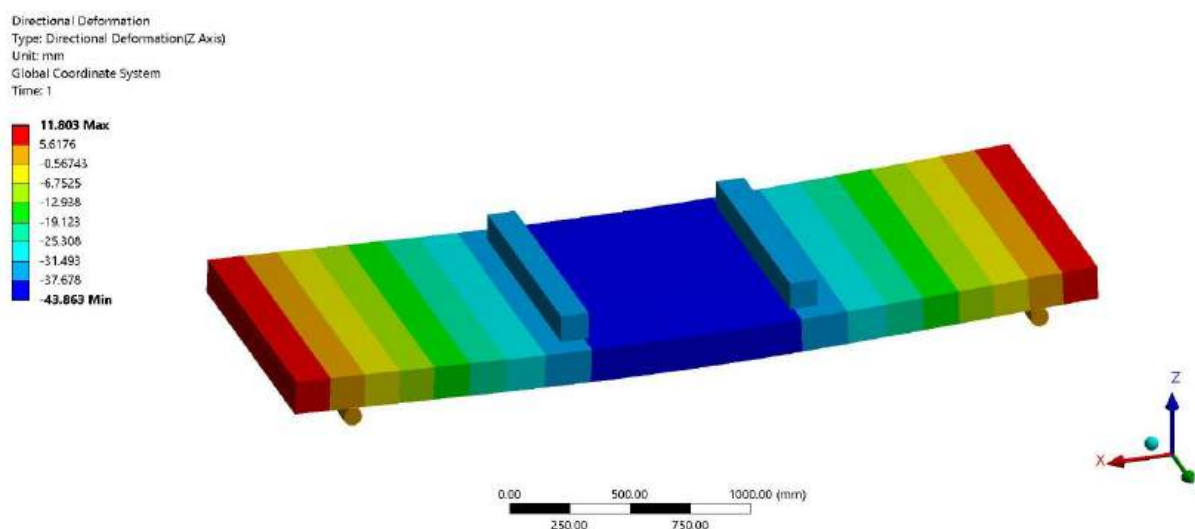


Slika 5.17: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 10,76 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,78 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,38 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 77,83 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,86 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 77,83 kN i progibu 43,86 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.18, dok je na slici 5.19 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.19 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

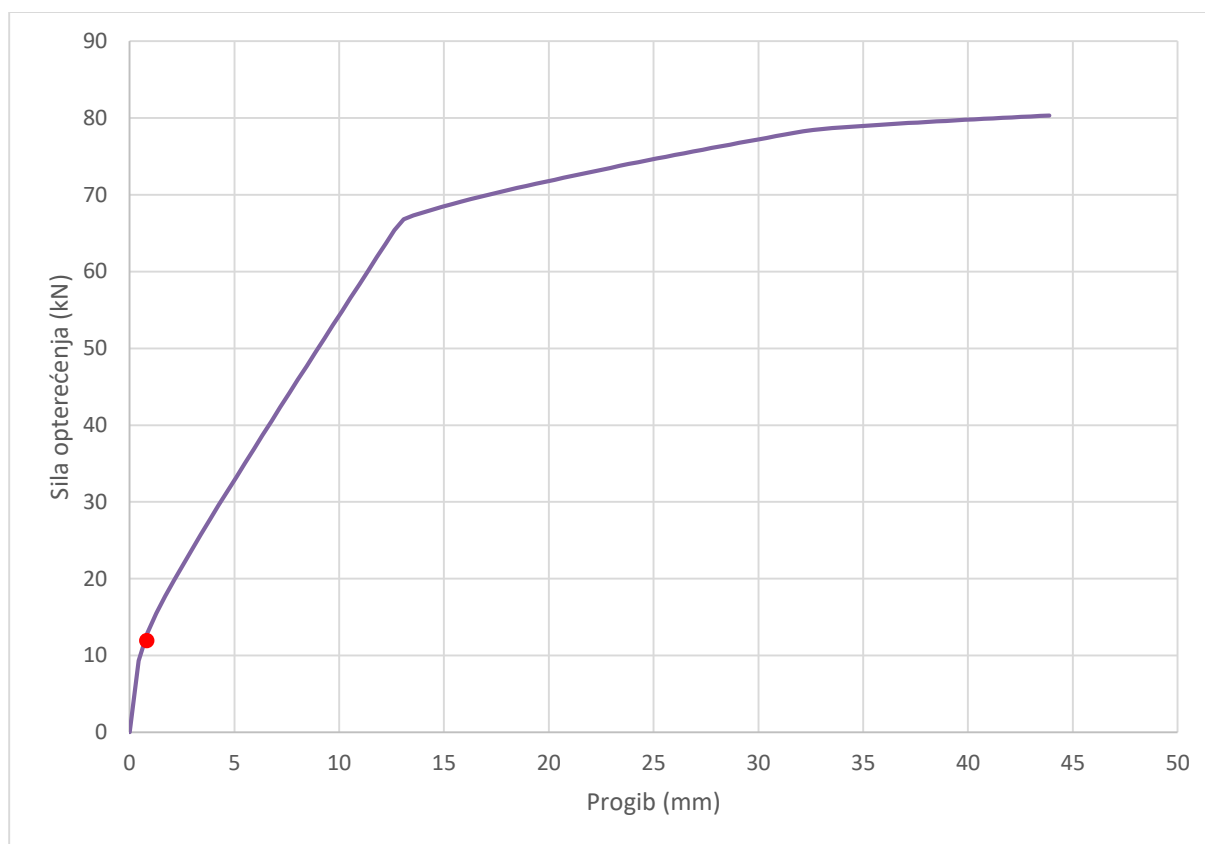


Slika 5.18: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37

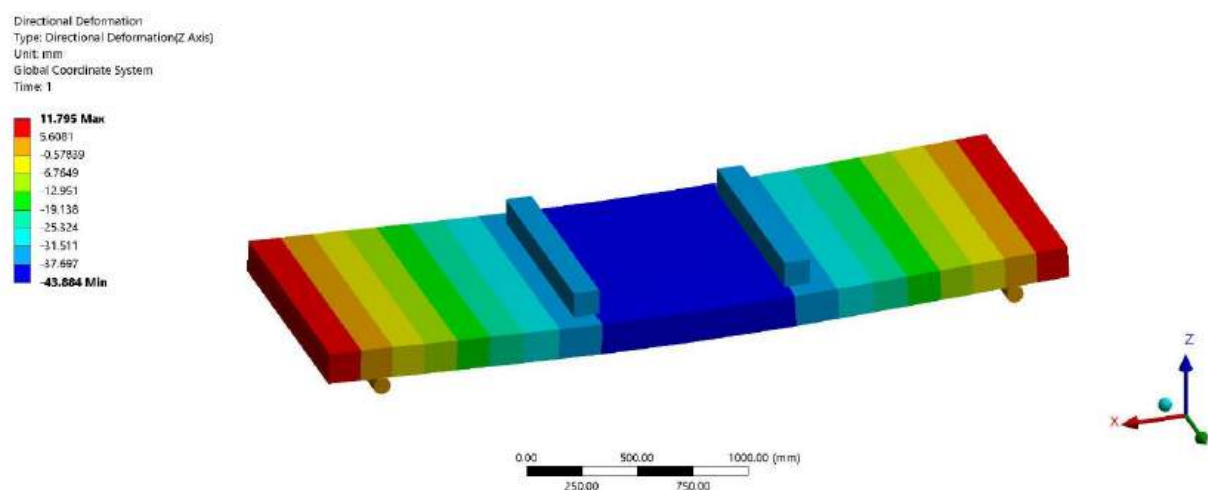


Slika 5.19: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,92 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,82 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,96 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 80,31 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,88 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 80,31 kN i progibu 43,88 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.20, dok je na slici 5.21 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.21 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



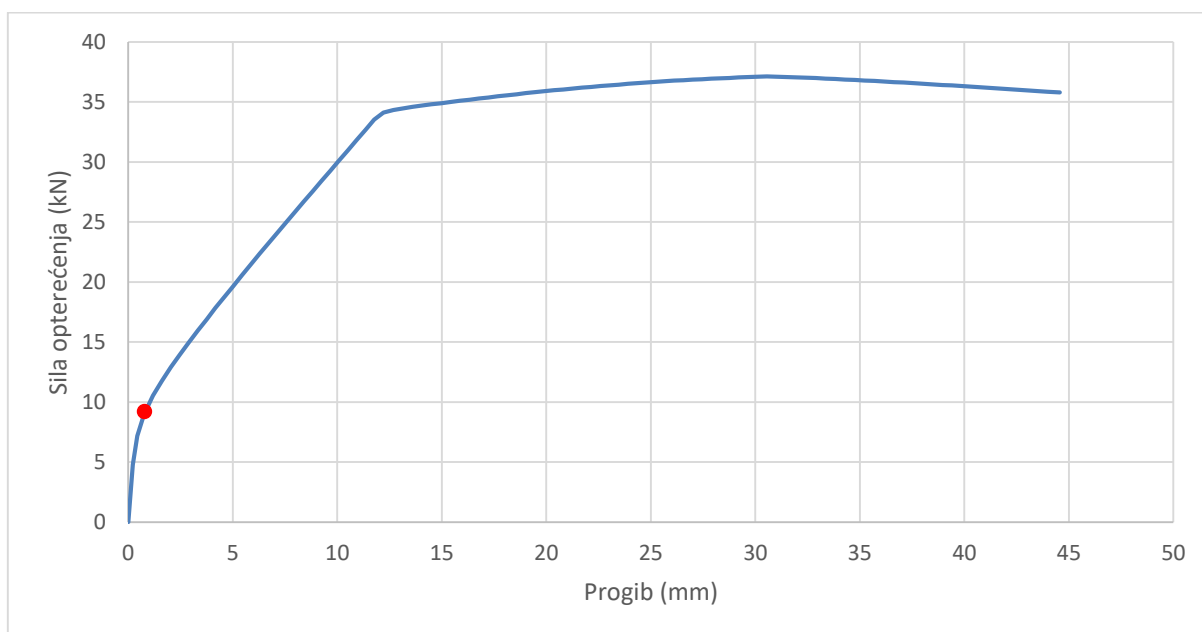
Slika 5.20: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45



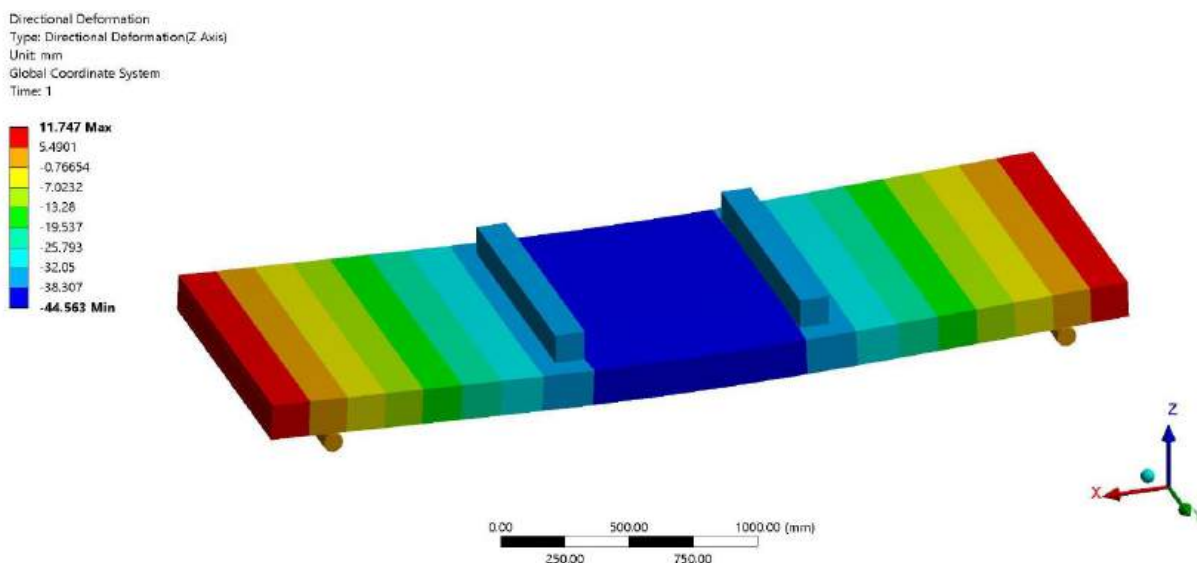
Slika 5.21: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,22 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,78 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 4,61 kNm. Maksimalna nosivost tog

plošnog nosača događa se pri opterećenju od 37,12 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 30,55 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 35,79 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,56 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.22, dok je na slici 5.23 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.23 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

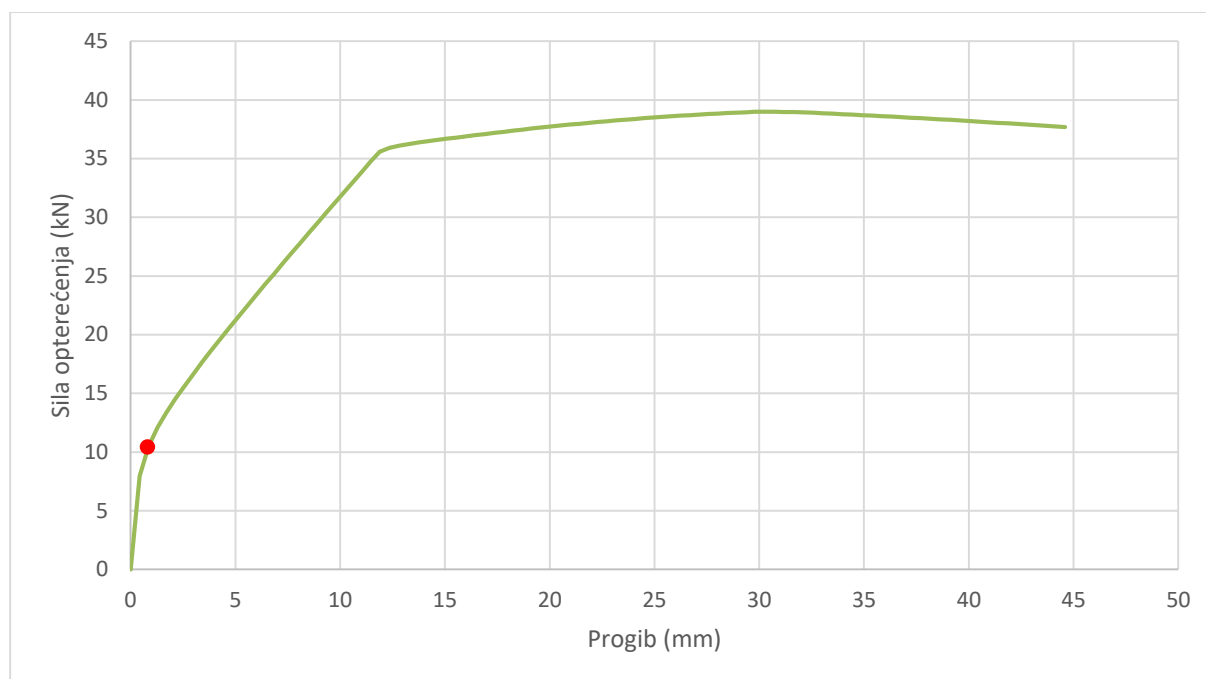


Slika 5.22: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30

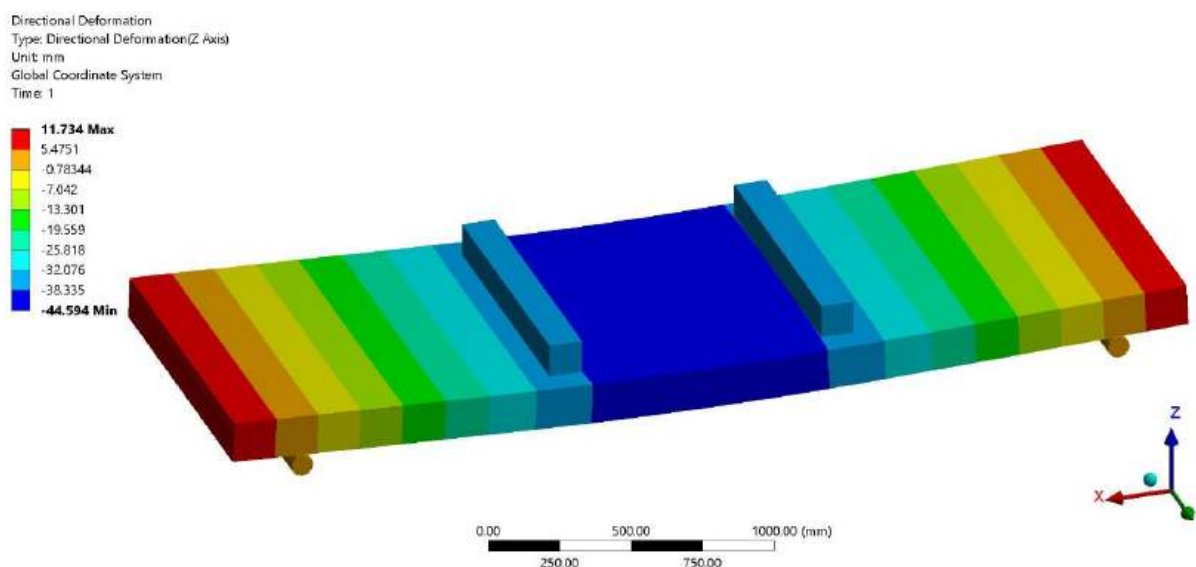


Slika 5.23: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 10,42 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,81 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,21 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 39 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 30,24 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 37,69 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,59 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.24, dok je na slici 5.25 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.25 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



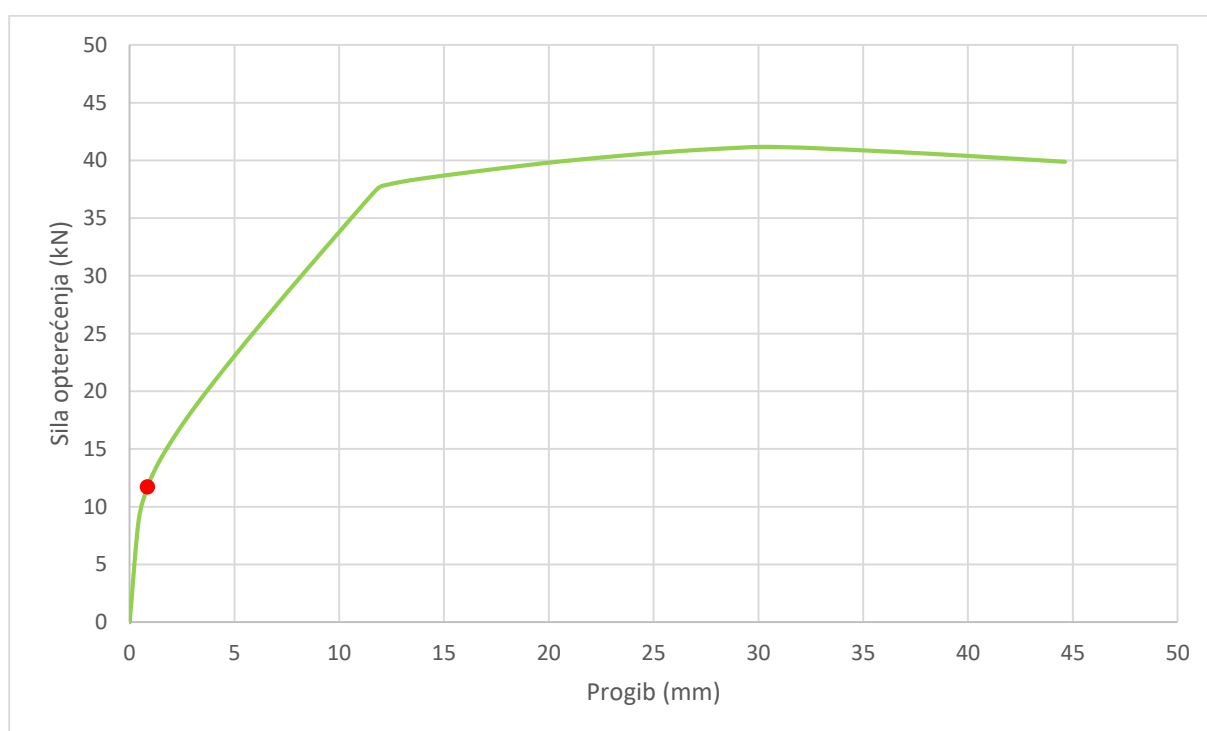
Slika 5.24: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37



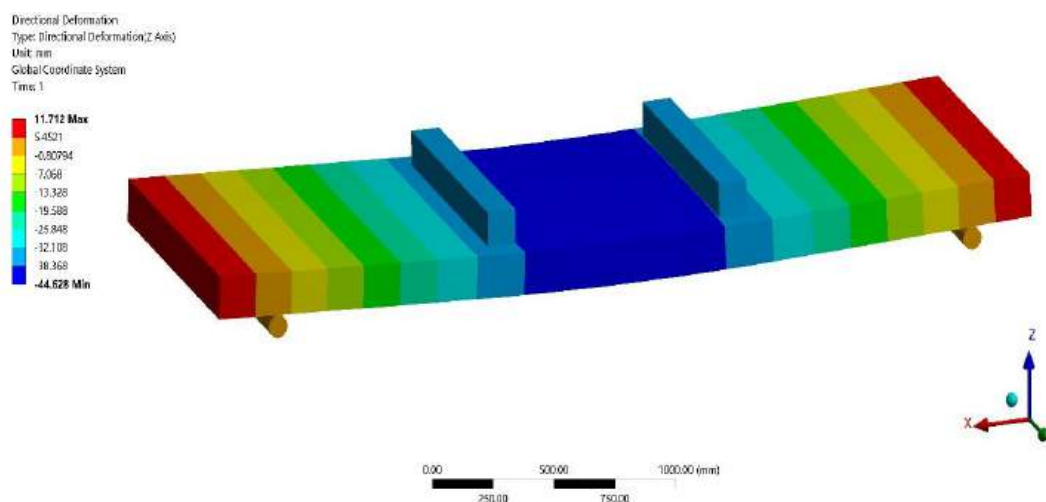
Slika 5.25: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,71 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,85 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,85 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 41,19 kN i pri tom opterećenju

progib plošnog nosača je 30,29 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 39,89 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,63 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.26, dok je na slici 5.27 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.27 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

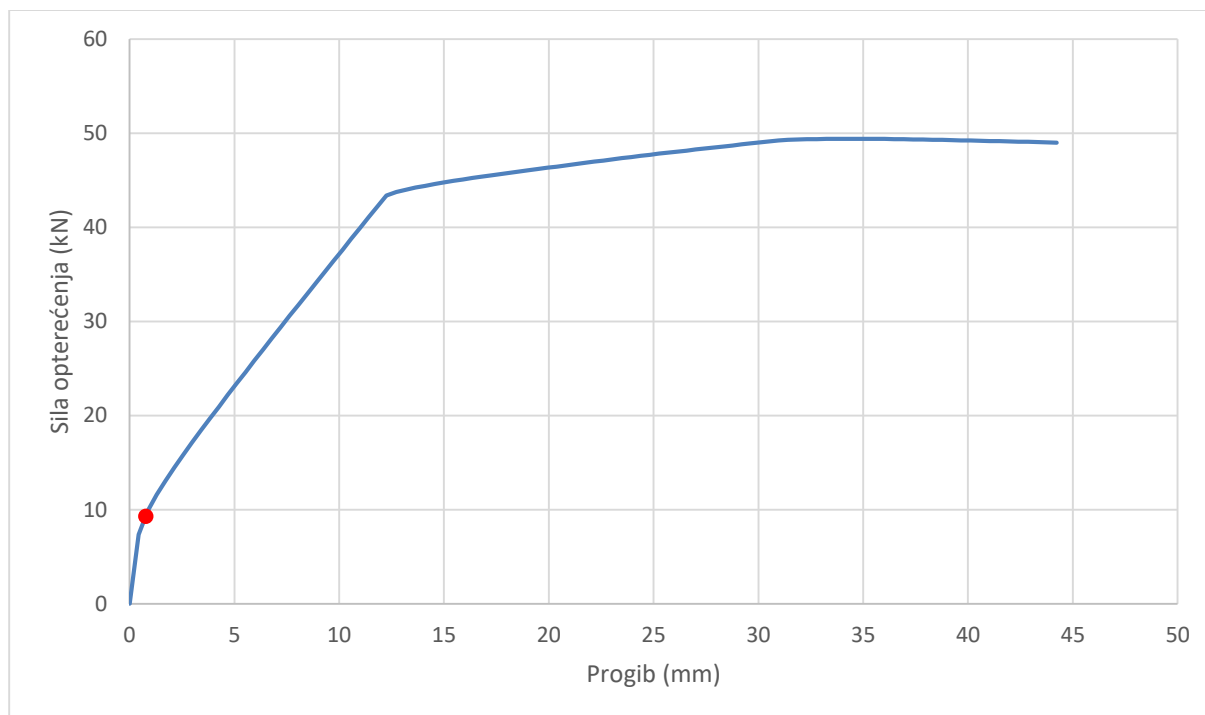


Slika 5.26: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45

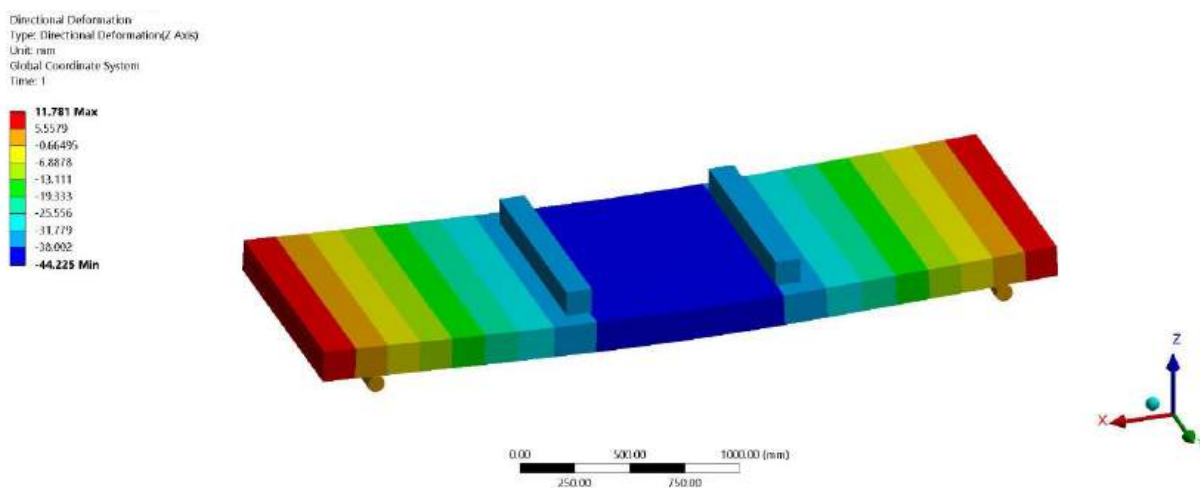


Slika 5.27: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,3 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,77 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 4,65 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 49,43 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 34,17 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 49,02 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,23 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.28, dok je na slici 5.29 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.29 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



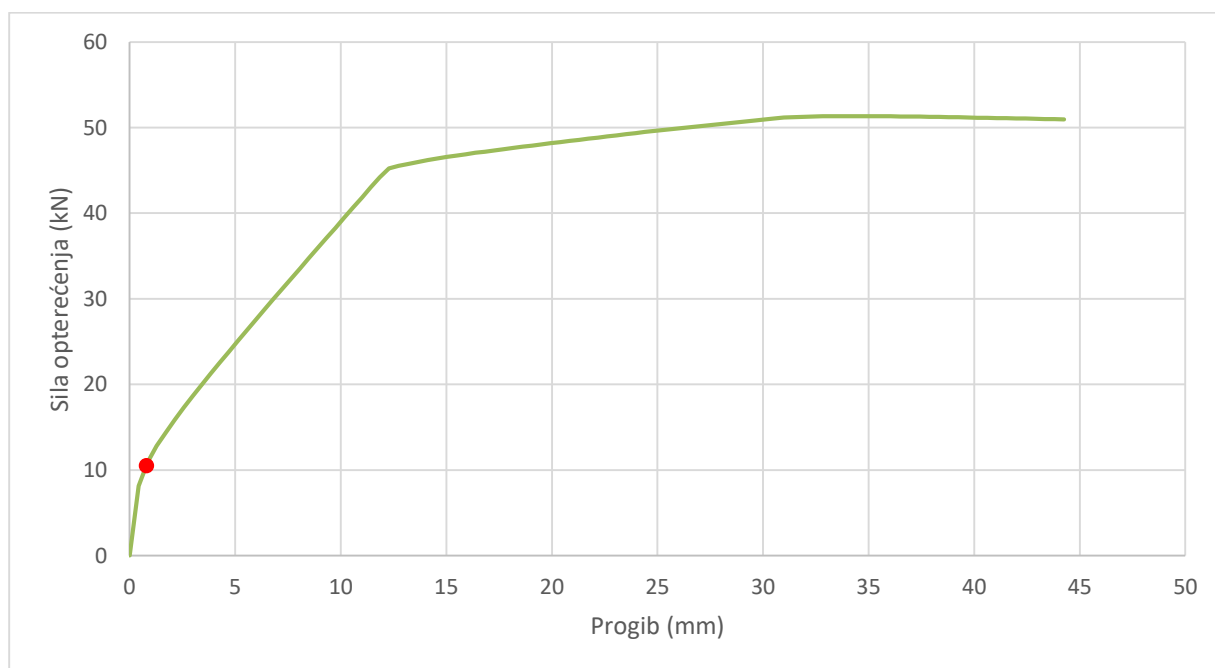
Slika 5.28: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30



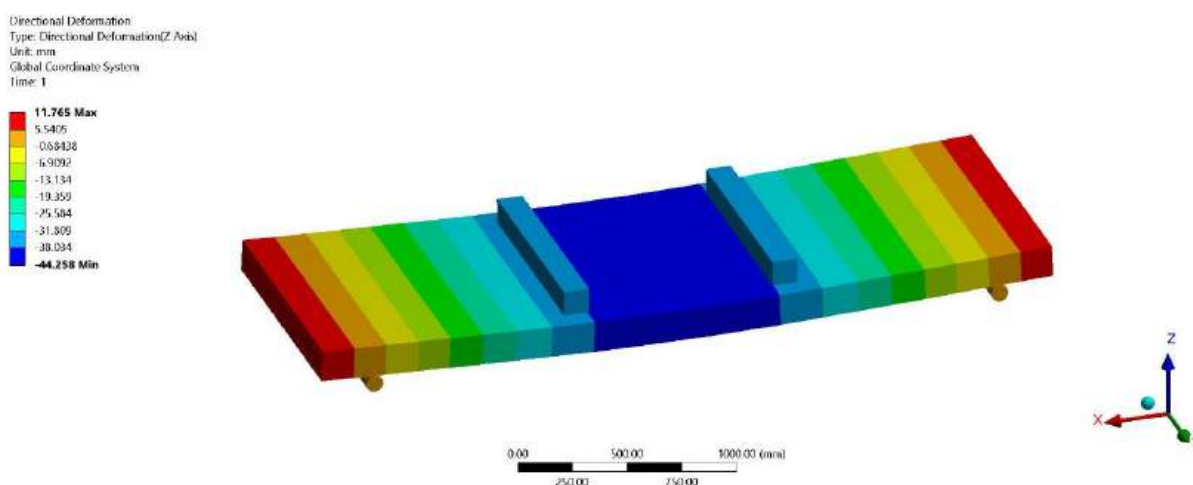
Slika 5.29: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 10,5 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,8 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,25 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 51,35 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 34,43 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 50,96

kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,26 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.30, dok je na slici 5.31 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.31 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

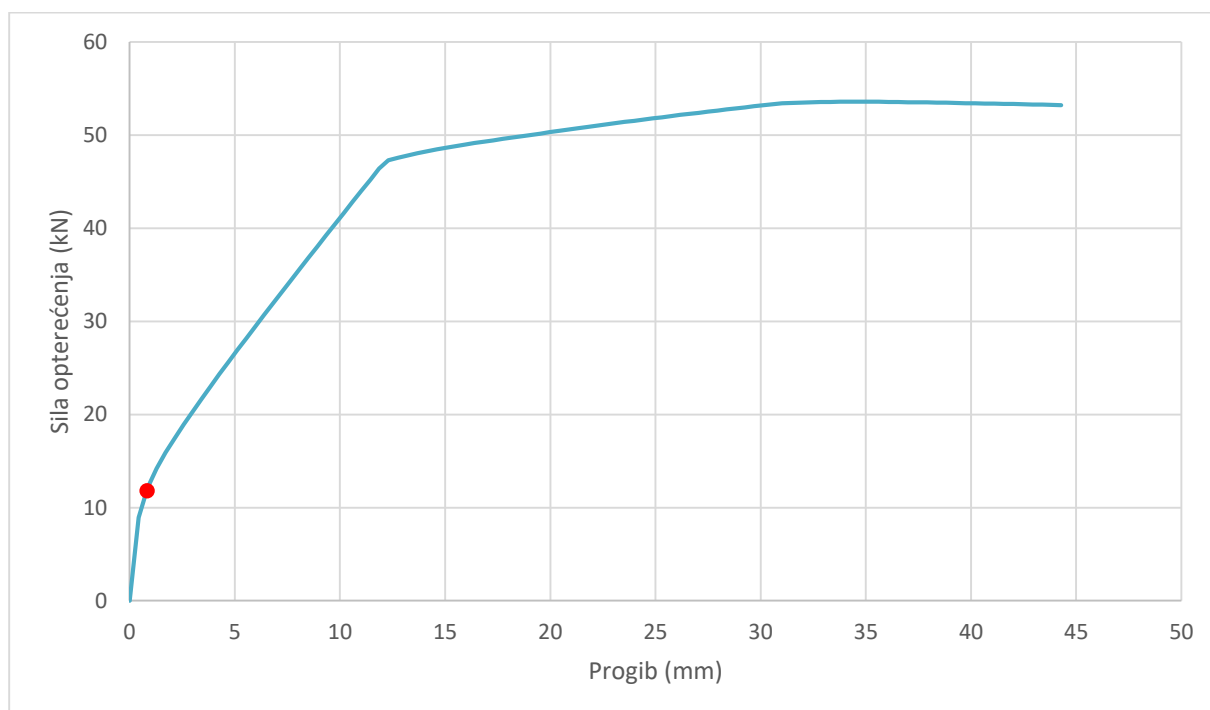


Slika 5.30: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37

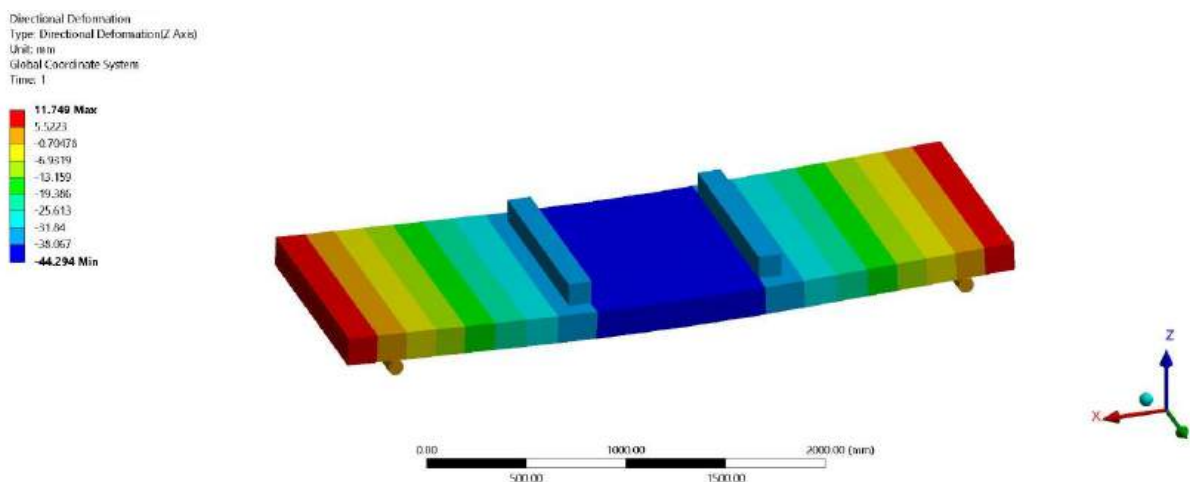


Slika 5.31: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,8 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,84 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,9 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 53,57 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 34,7 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 53,22 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,29 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.32, dok je na slici 5.33 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.33 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

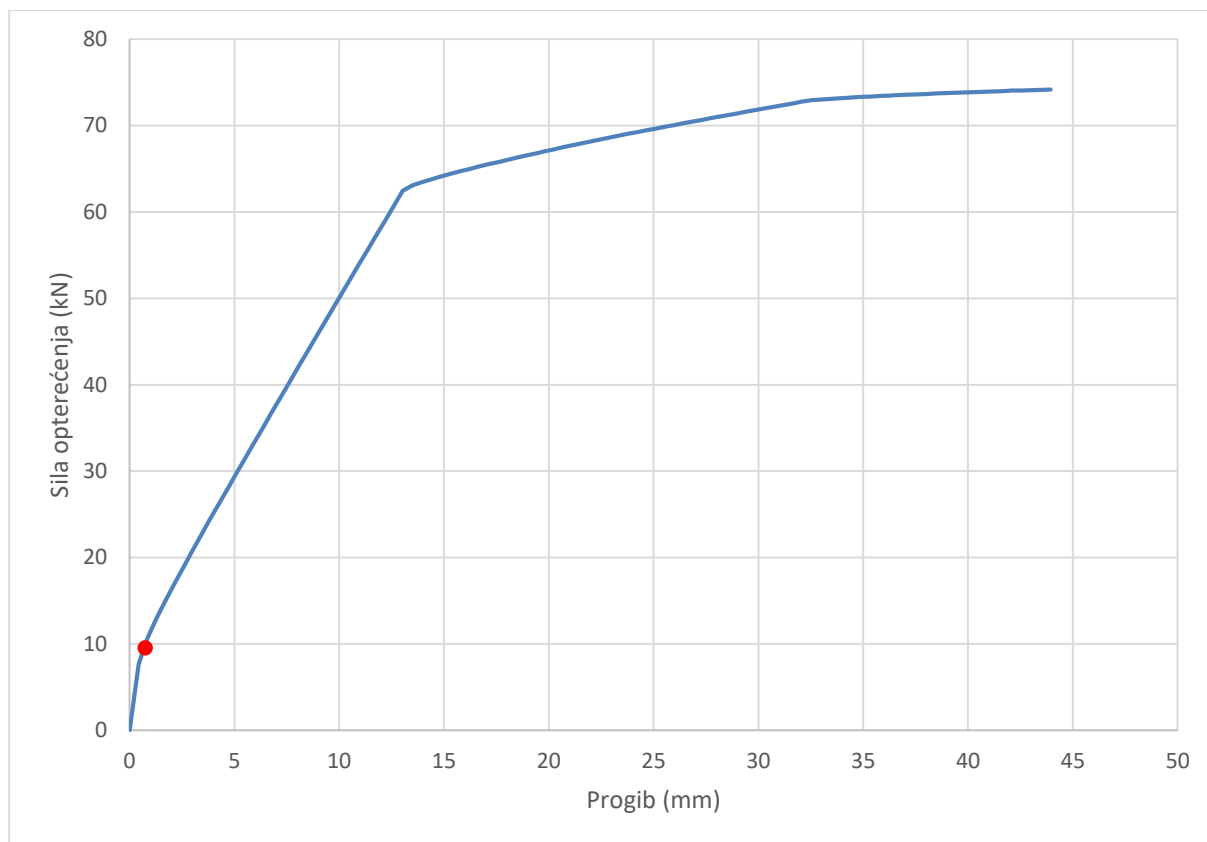


Slika 5.32: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45

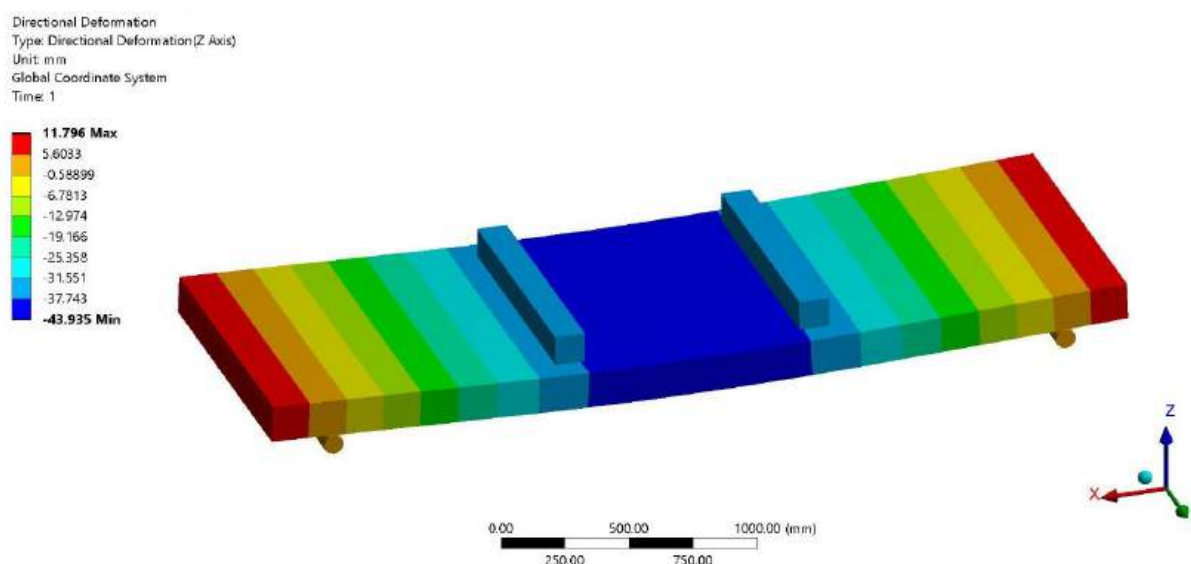


Slika 5.33: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 9,54 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,75 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 4,77 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 74,15 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,94 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 74,15 kN i progibu 43,94 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.34, dok je na slici 5.35 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.35 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

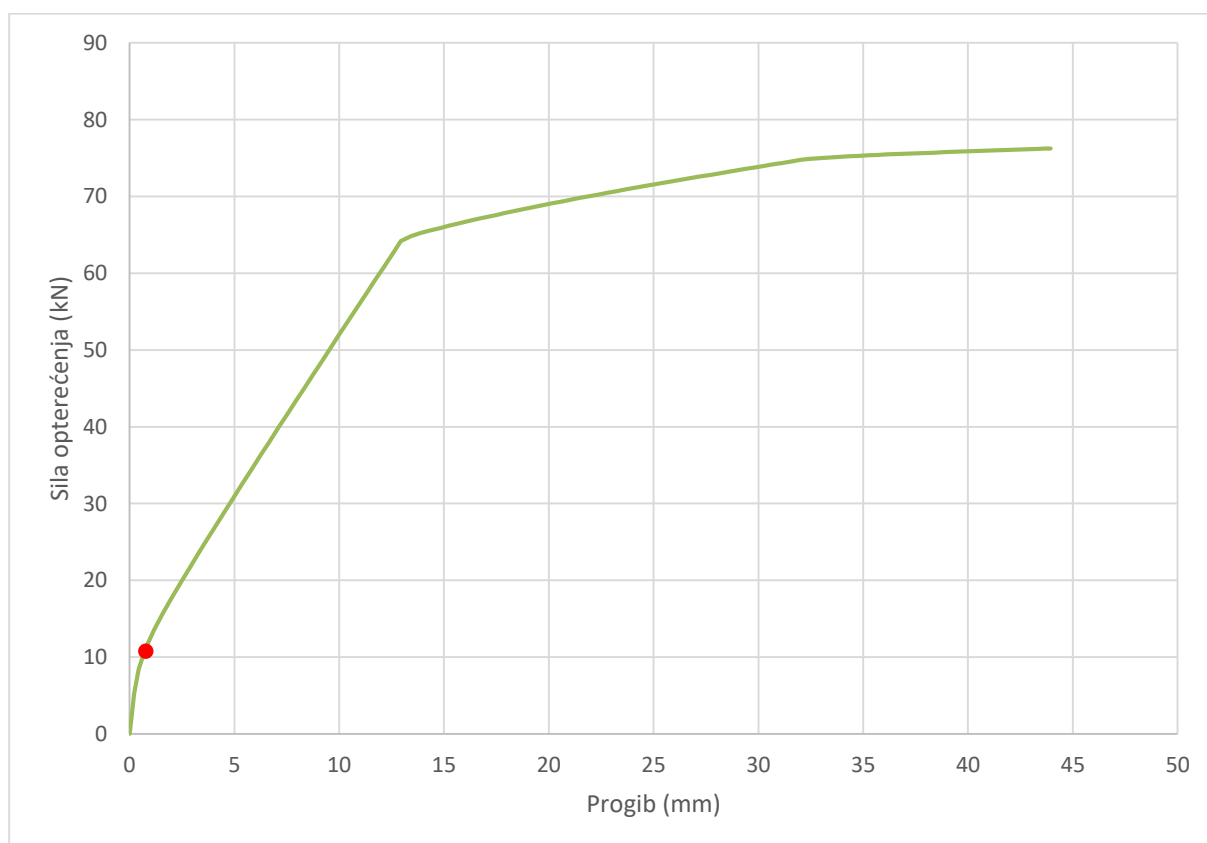


Slika 5.34: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30

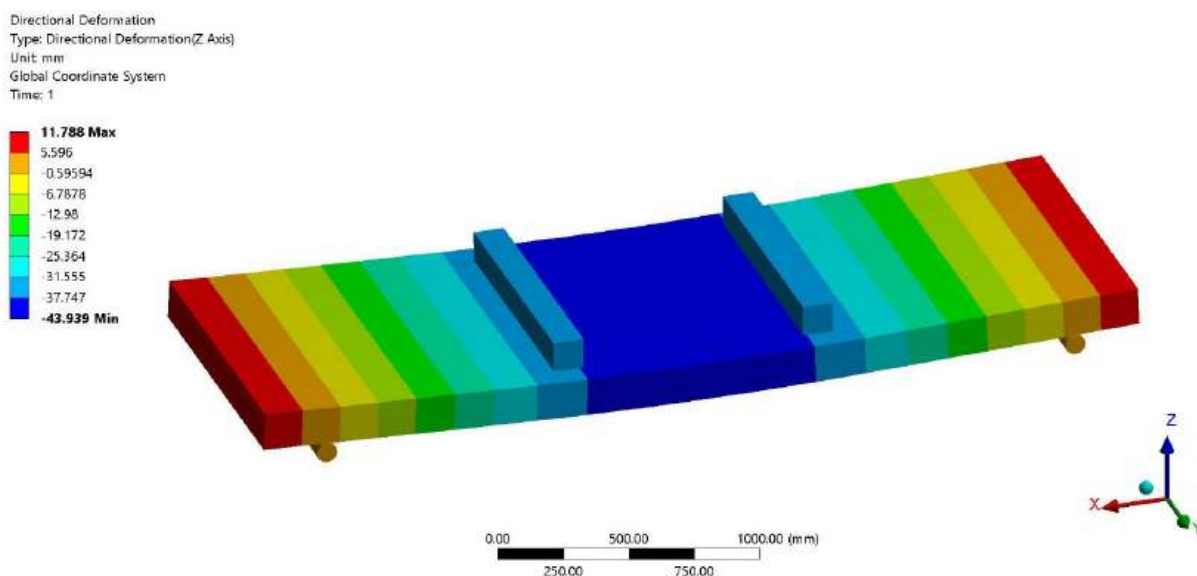


Slika 5.35: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 10,76 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,78 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,38 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 76,25 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,94 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 76,25 kN i pri tom je progib 43,94 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.36, dok je na slici 5.37 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.37 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

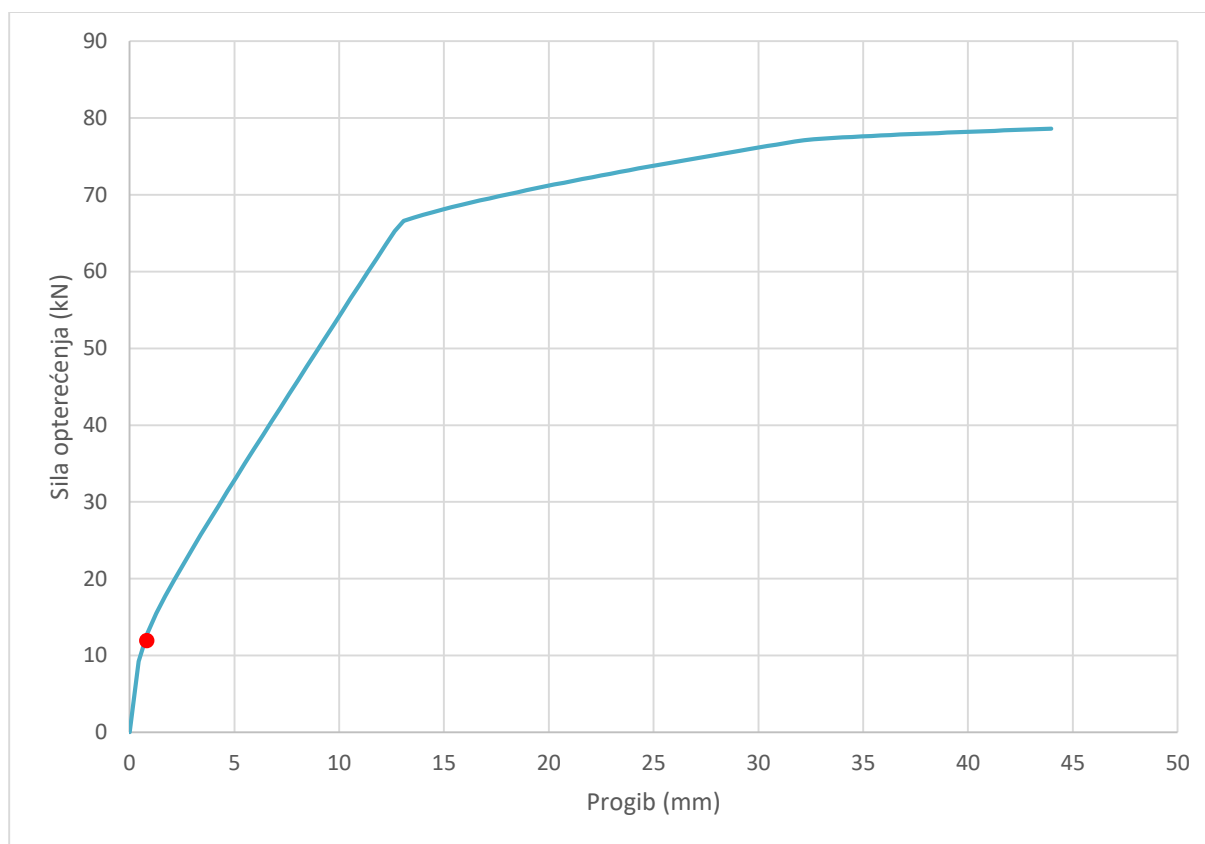


Slika 5.36: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37

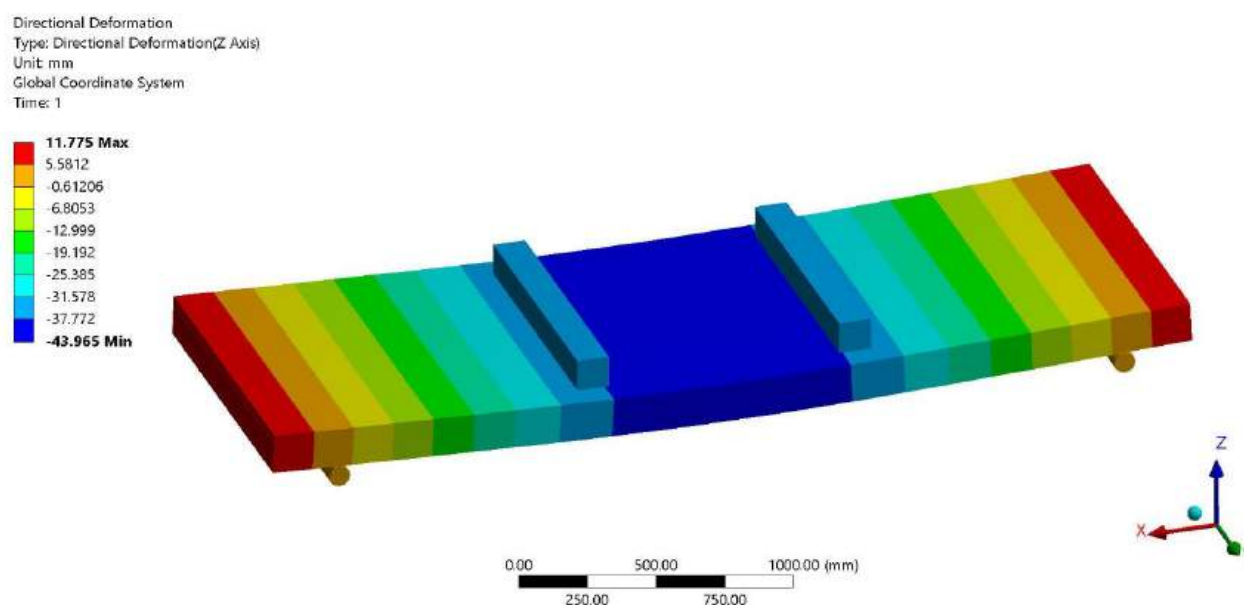


Slika 5.37: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 11,92 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,82 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 5,96 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 78,61 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,97 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 78,61 kN i progibu 43,97 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.38, dok je na slici 5.39 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.39 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

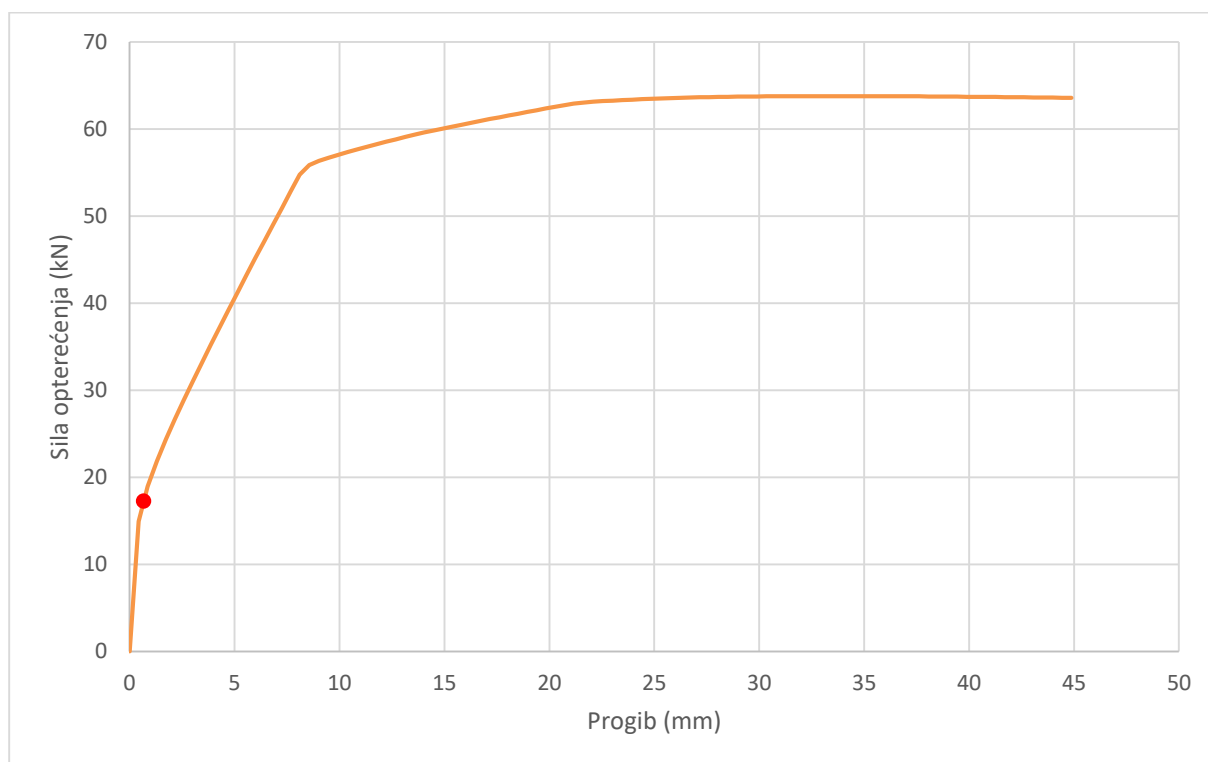


Slika 5.38: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45

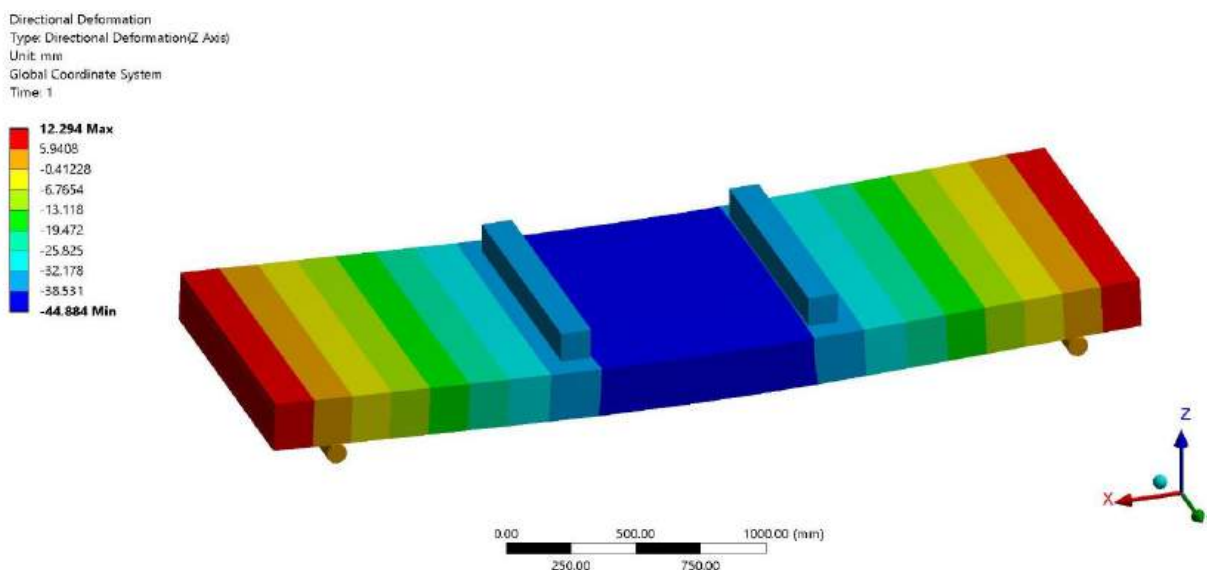


Slika 5.39: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 17,26 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,67 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 8,63 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 63,77 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 33,3 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 63,57 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,88 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.40, dok je na slici 5.41 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.41 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

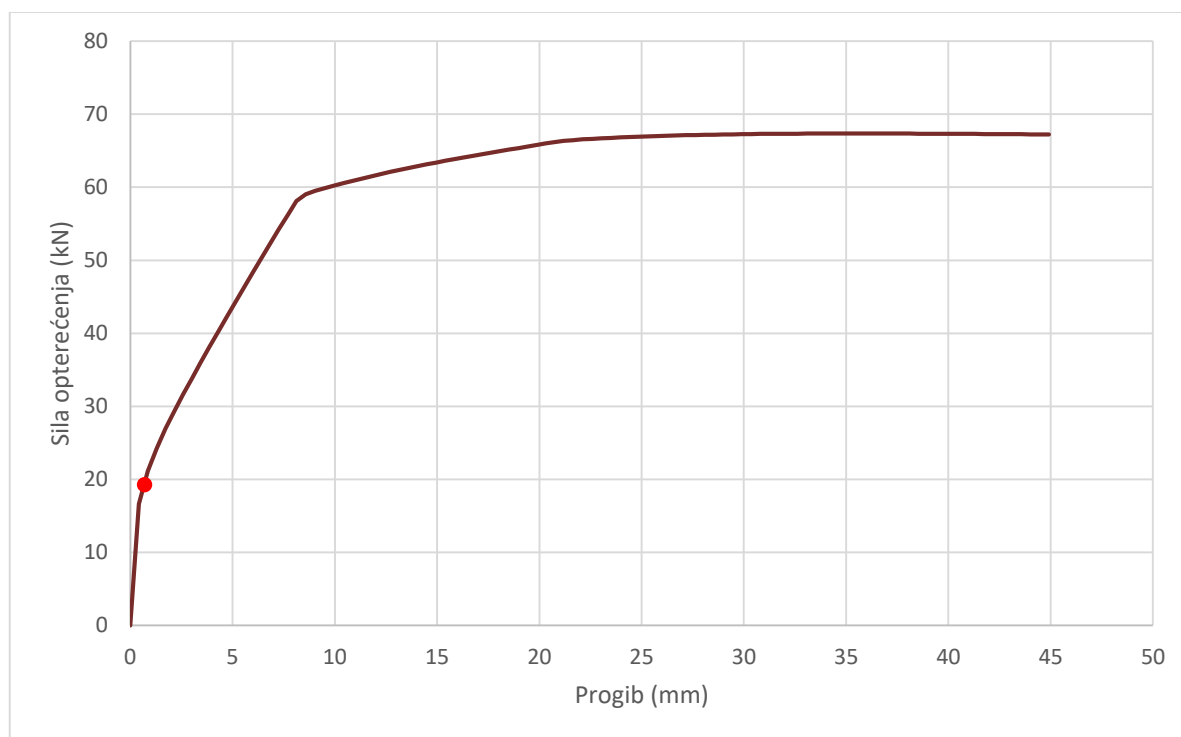


Slika 5.40: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30

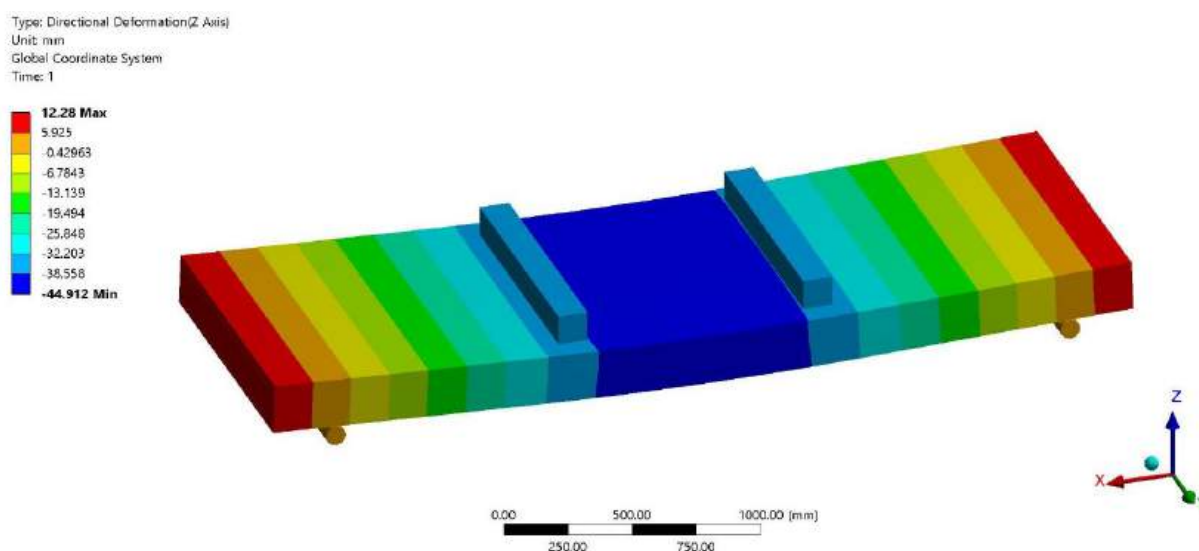


Slika 5.41: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 19,24 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,69 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 9,62 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 67,35 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 35,37 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 67,23 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,91 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.42, dok je na slici 5.43 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.43 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



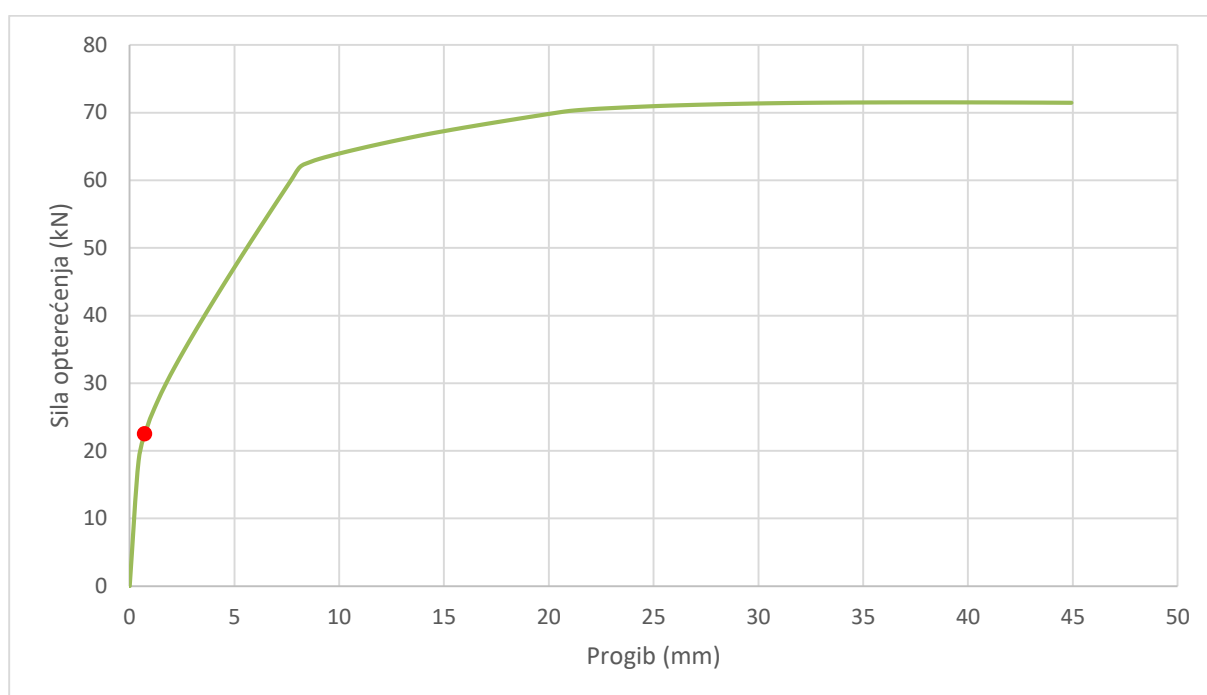
Slika 5.42: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37



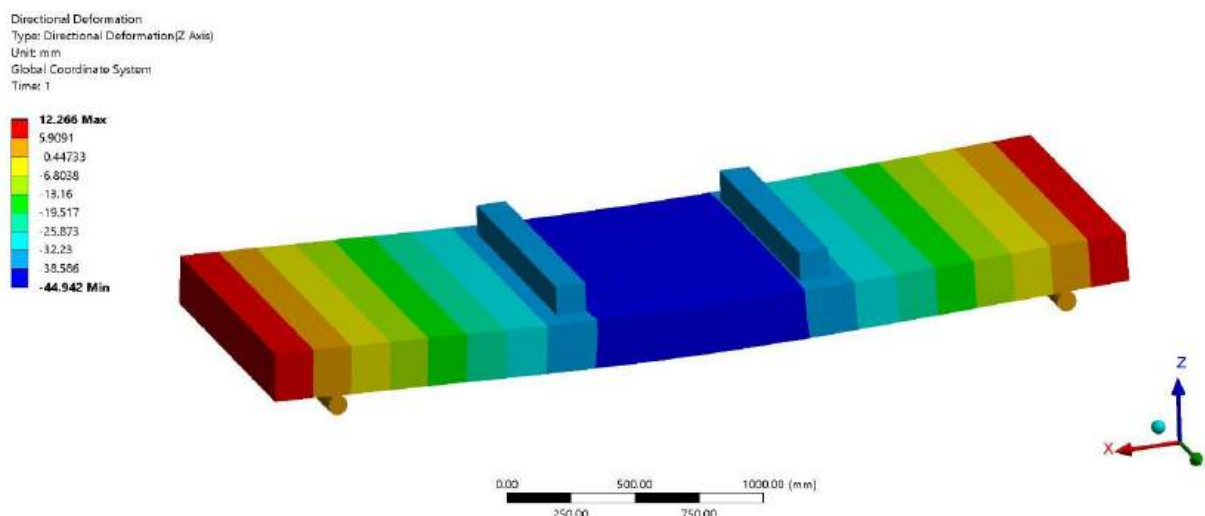
Slika 5.43: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,52 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,72 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 11,26 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 71,53 kN i pri tom

opterećenju progib plošnog nosača je 38,12 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 71,47 kN i pri tom je progib plošnog nosača 44,94 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.44, dok je na slici 5.45 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.45 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

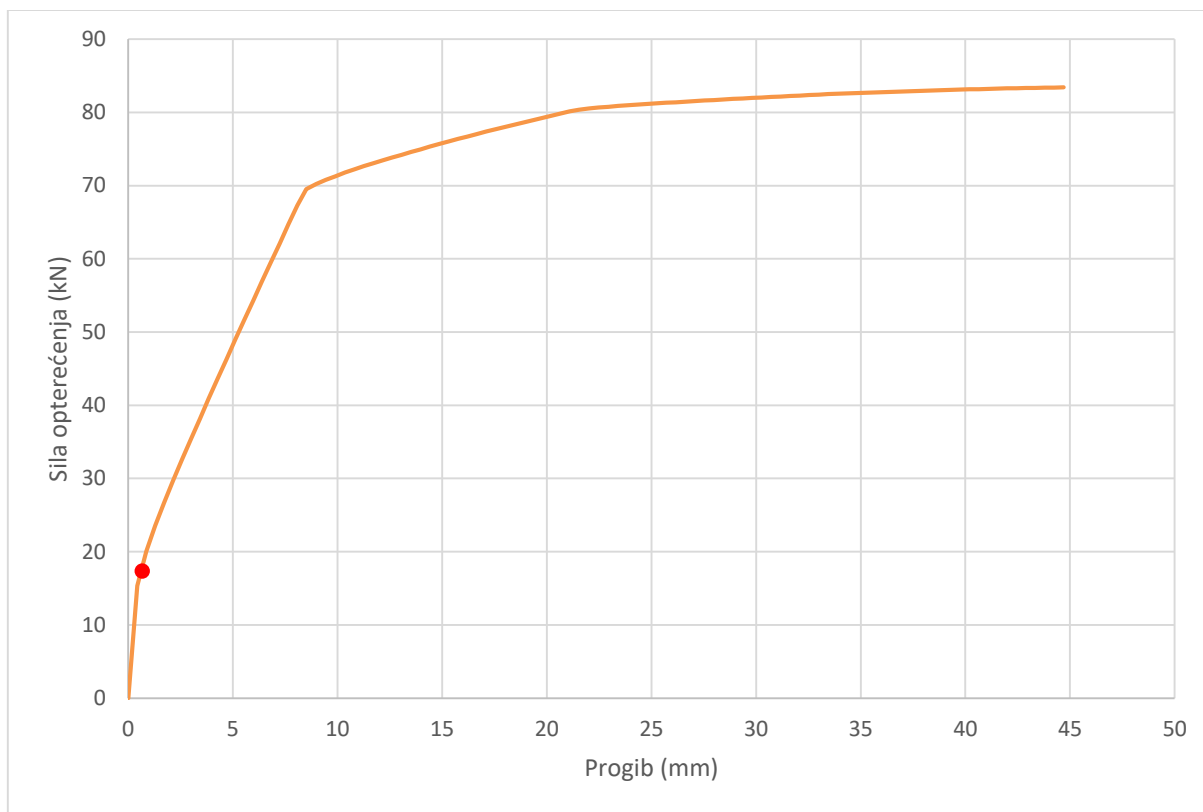


Slika 5.44: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45

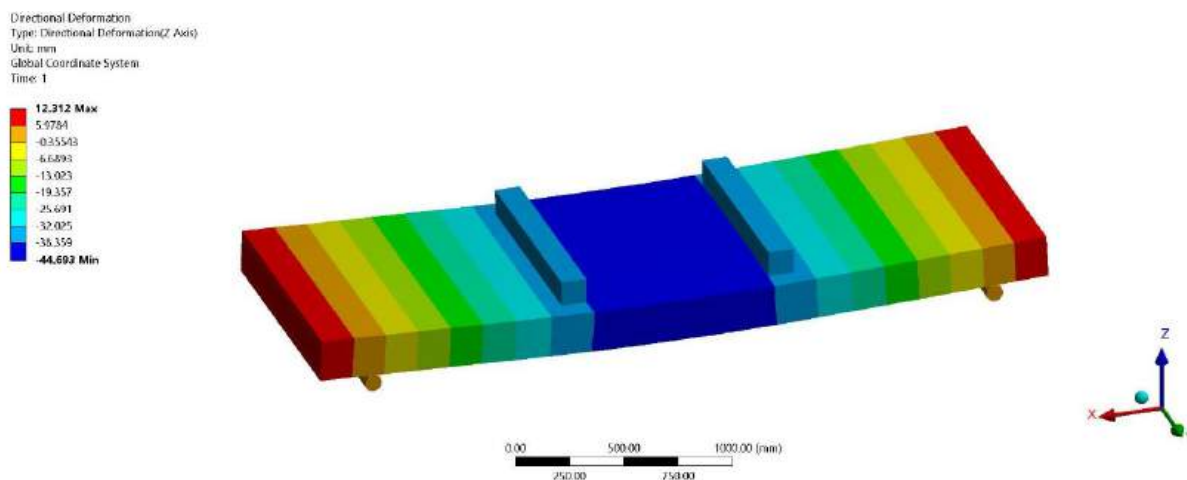


Slika 5.45: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 17,34 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,66 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 8,67 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 83,43 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,69 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 83,43 kN i progibu 44,69 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.46, dok je na slici 5.47 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.47 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



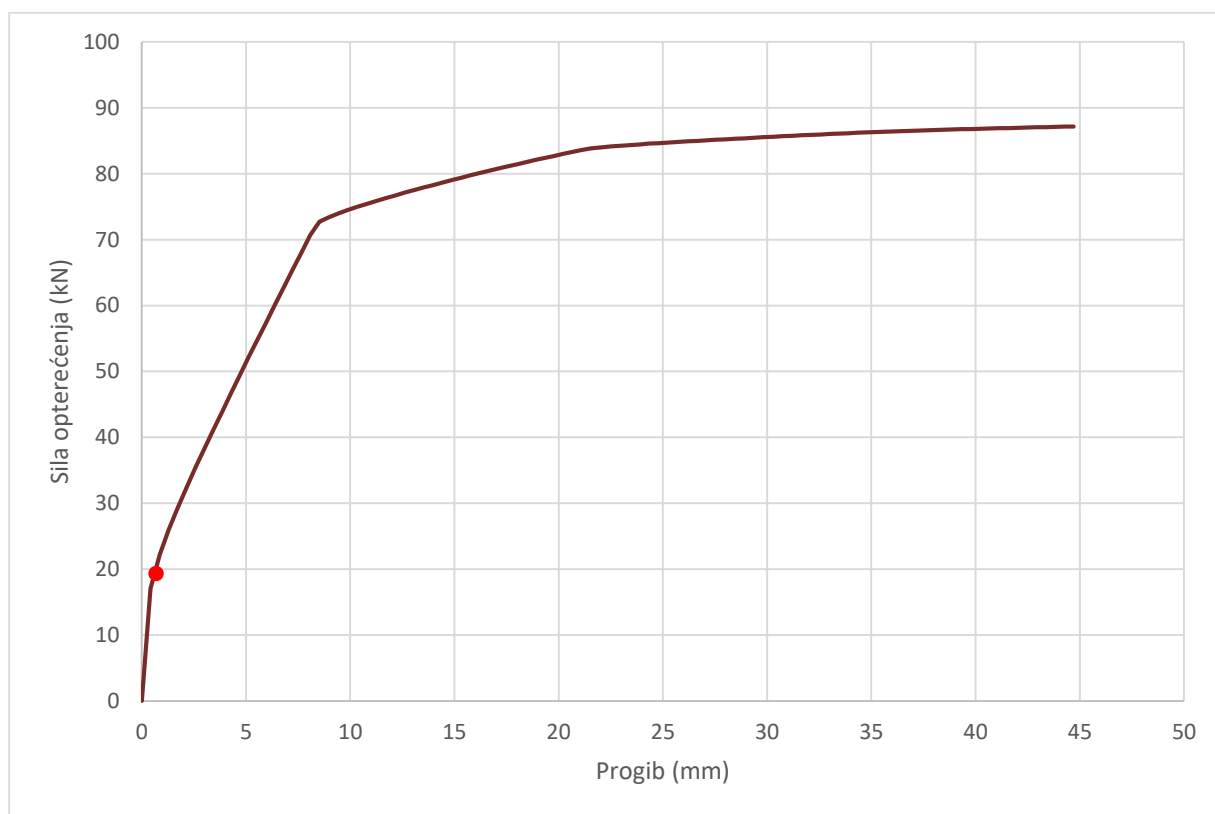
Slika 5.46: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30



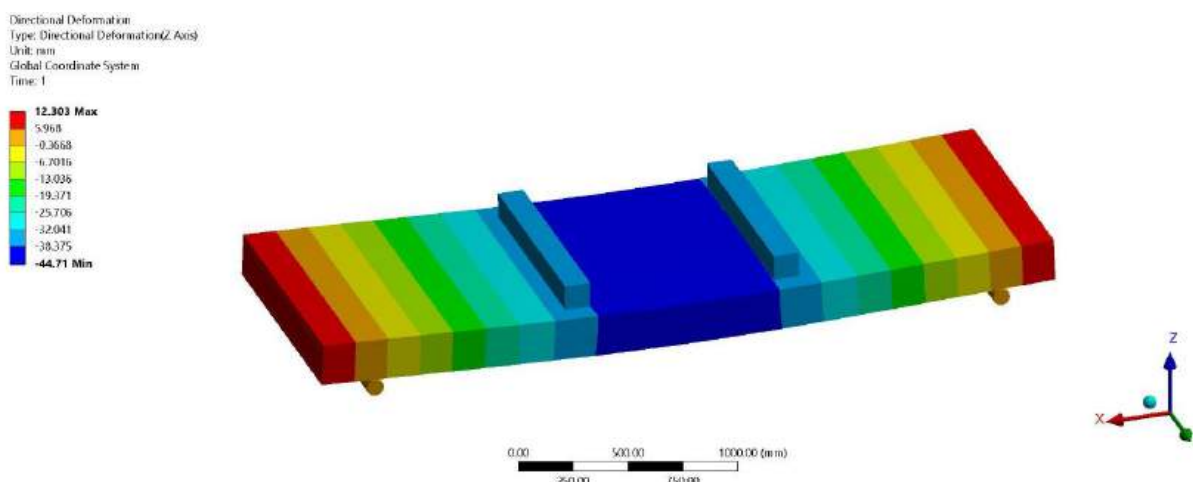
Slika 5.47: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 19,34 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,68 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 9,67 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 87,18 kN i pri tom opterećenju

progib plošnog nosača je 44,71 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 87,18 kN i progibu 44,71 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.48, dok je na slici 5.49 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.37 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

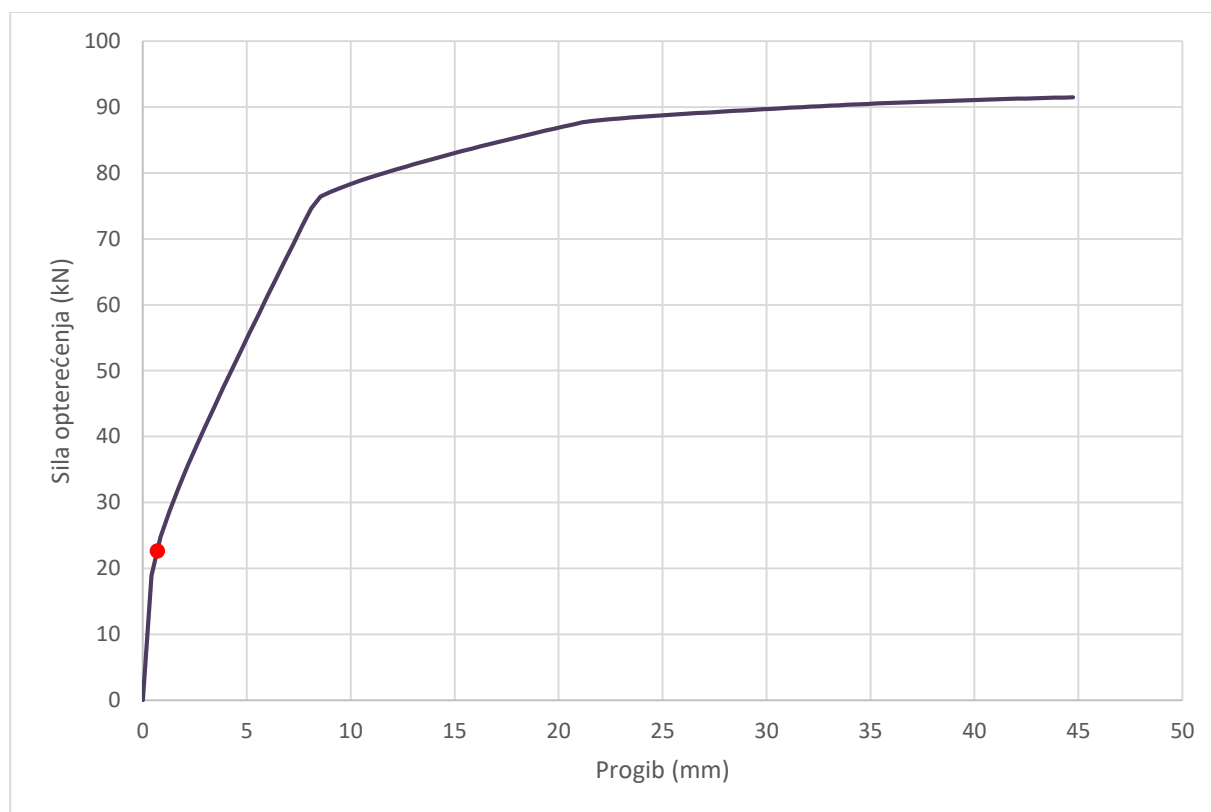


Slika 5.48: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37

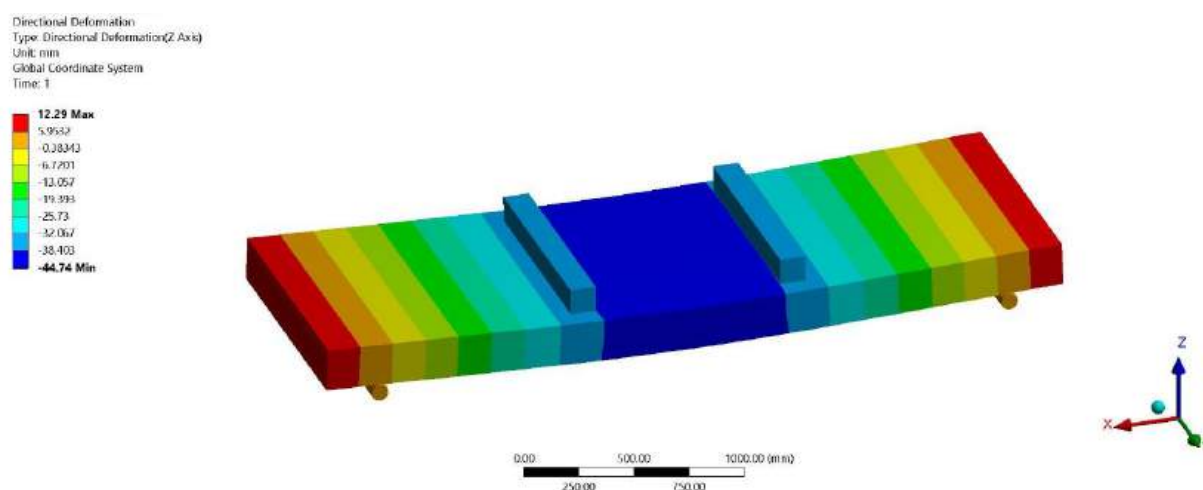


Slika 5.49: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,6 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,71 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 11,3 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 91,49 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,74 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 91,49 kN i progibu 44,74 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.50, dok je na slici 5.51 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.51 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



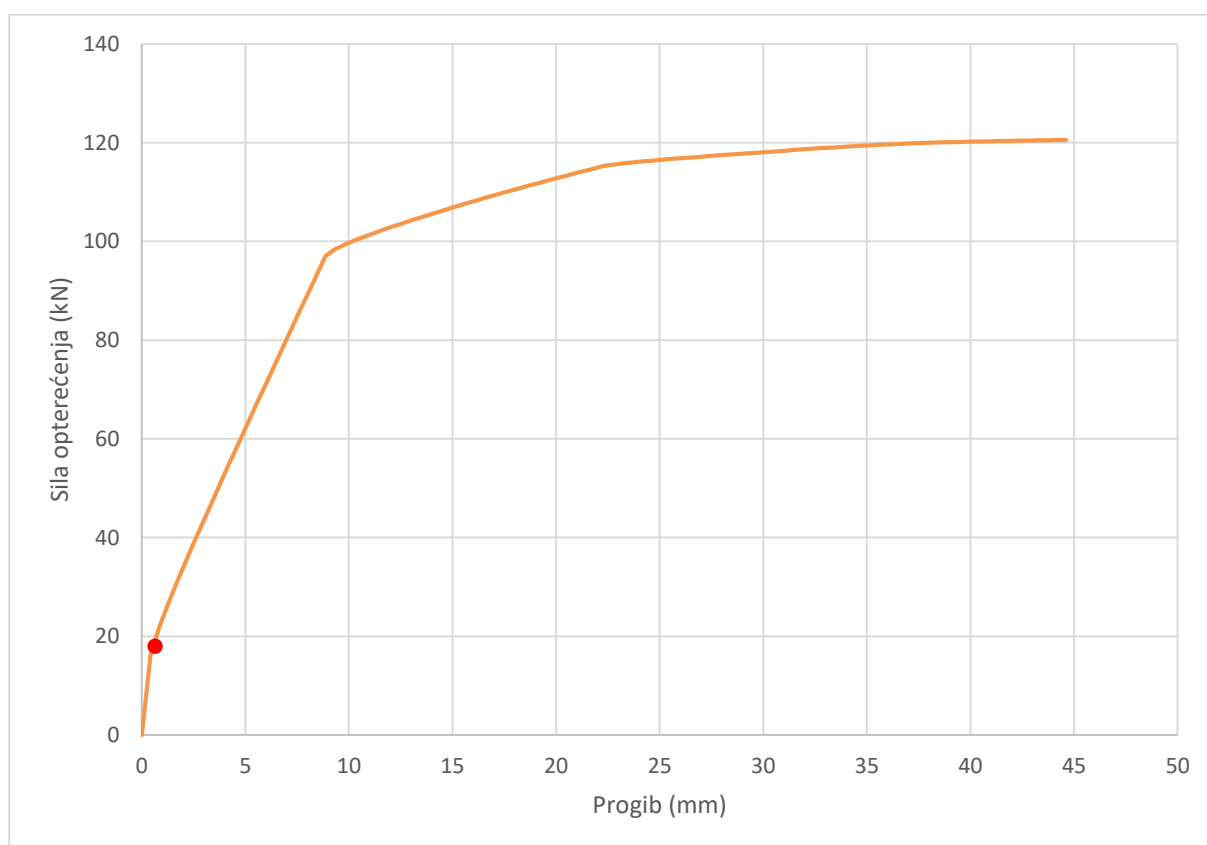
Slika 5.50: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45



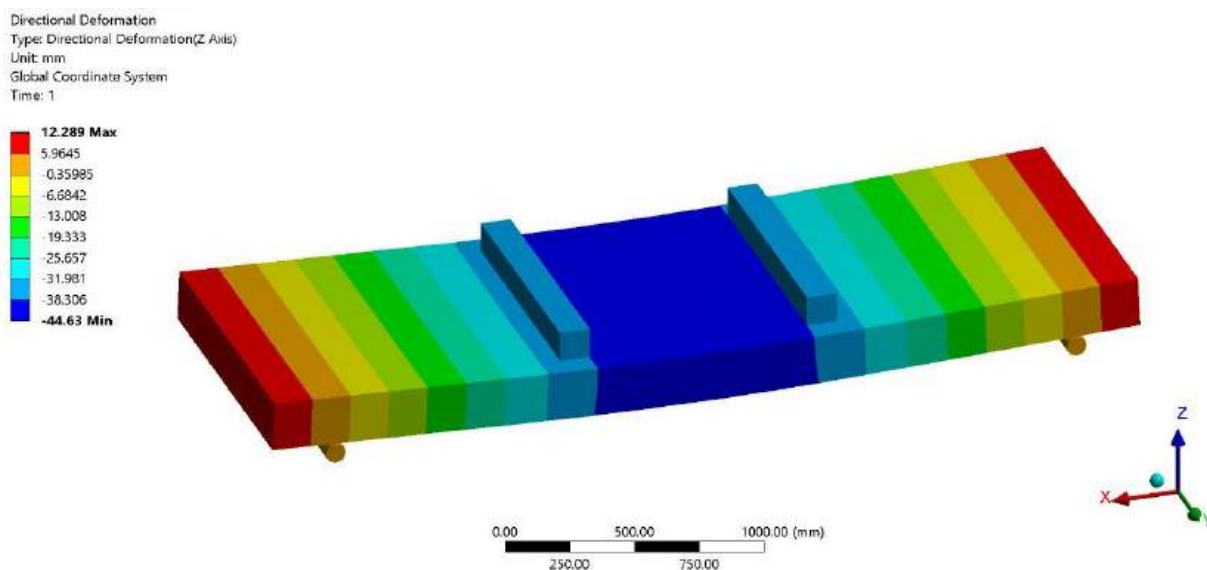
Slika 5.51: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 17,96 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,64 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 8,98 kNm. Maksimalna nosivost

tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 120,54 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,63 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 120,54 kN i progibu 44,63 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.52, dok je na slici 5.53 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.53 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

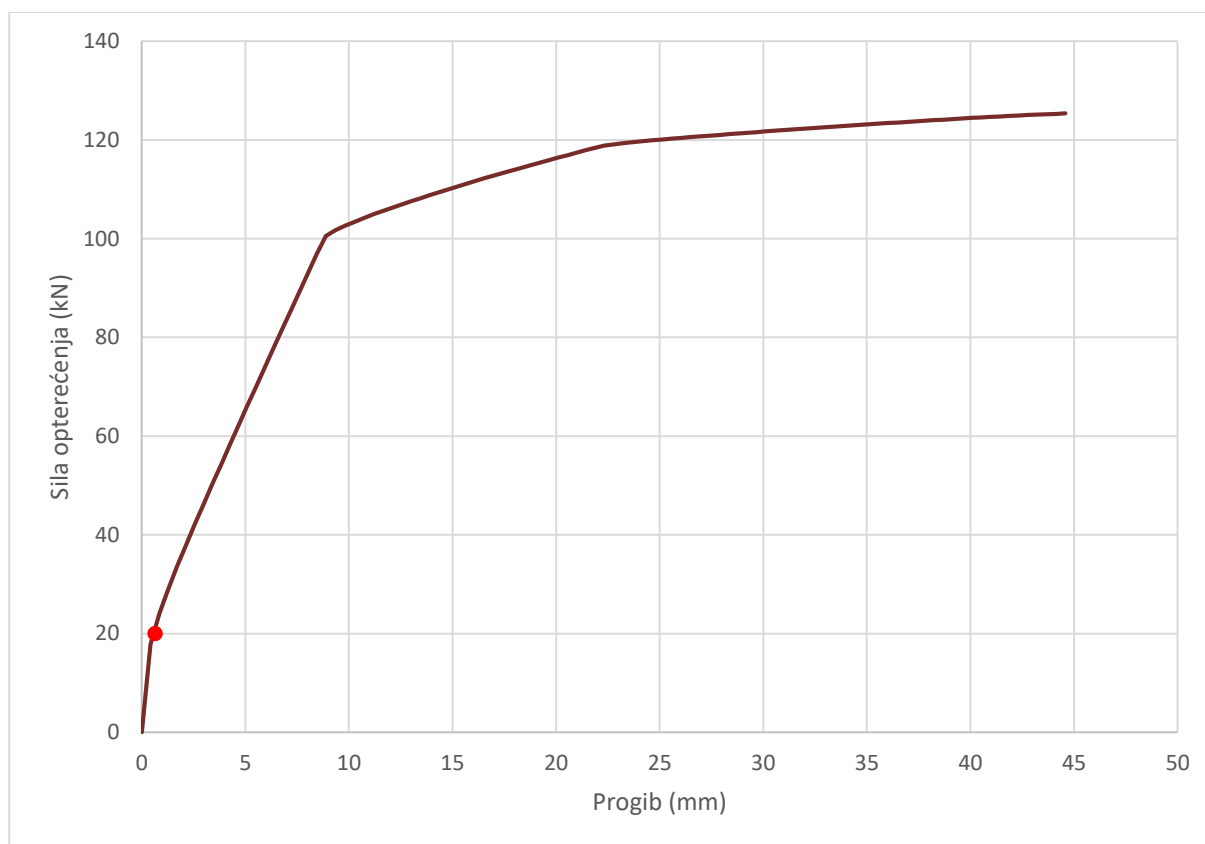


Slika 5.52: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30

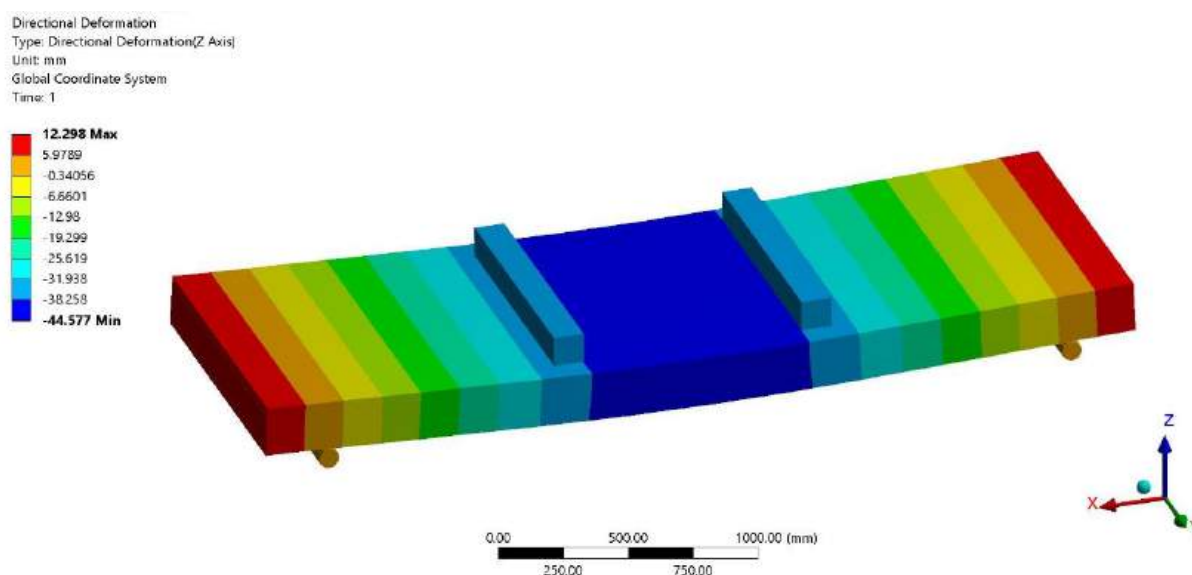


Slika 5.53: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 19,94 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,65 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 9,97 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 125,36 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,58 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 125,36 kN i progibu 44,58 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.54, dok je na slici 5.55 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.55 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

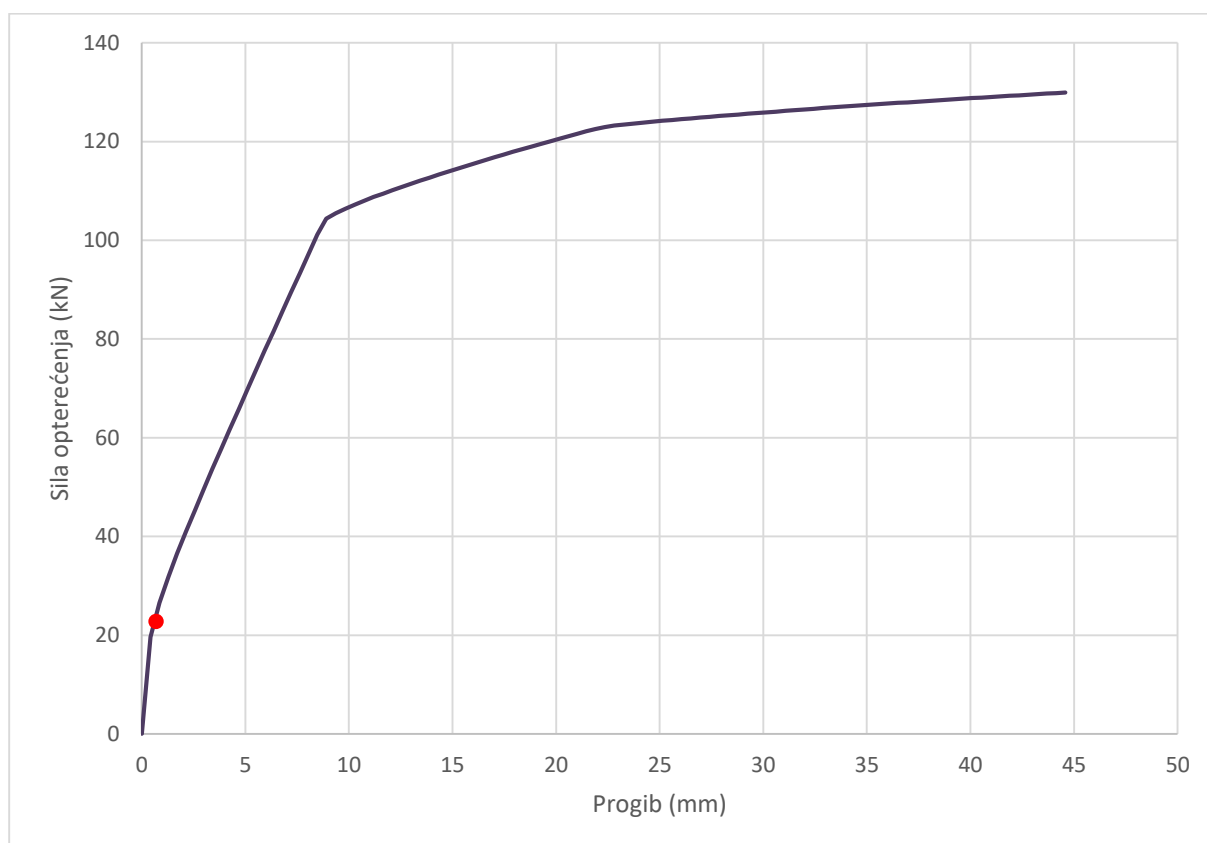


Slika 5.54: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37

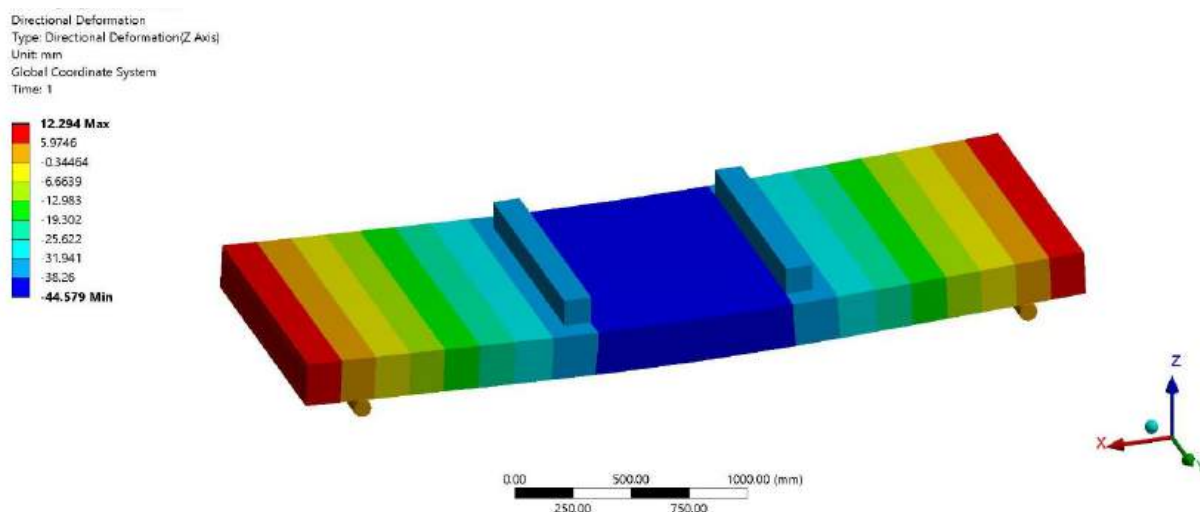


Slika 5.55: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,76 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,69 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 11,38 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 129,94 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,58 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 129,94 kN i progibu 44,58 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.56, dok je na slici 5.57 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.57 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

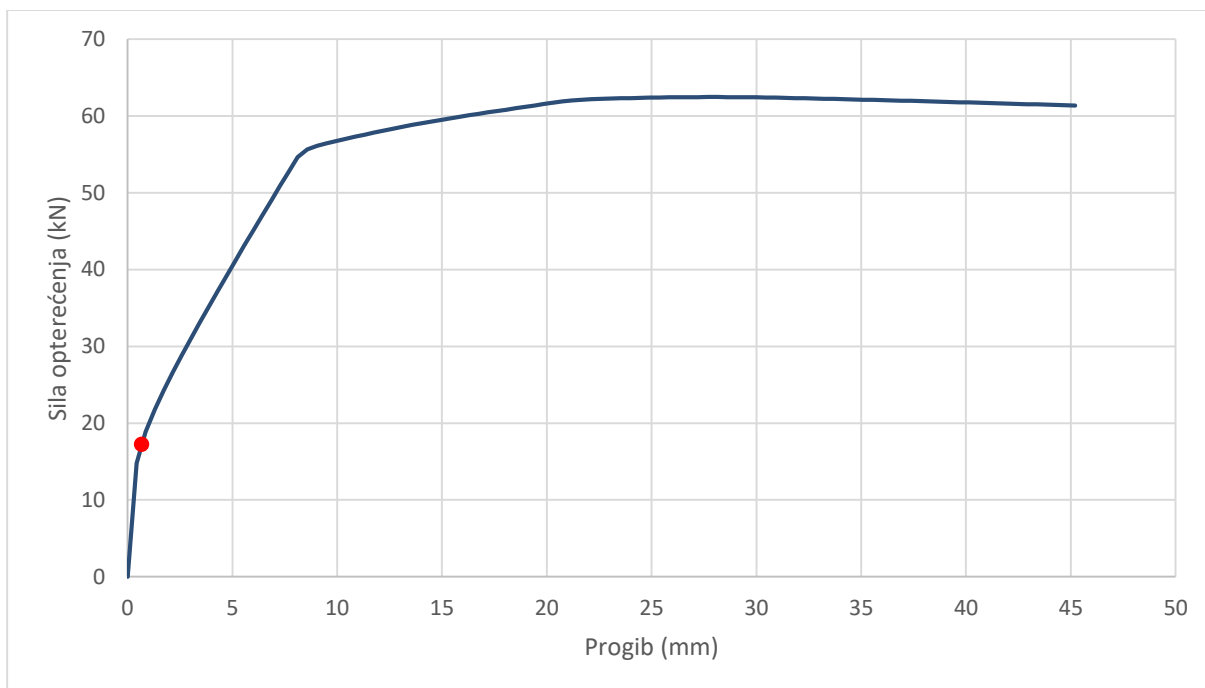


Slika 5.56: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45

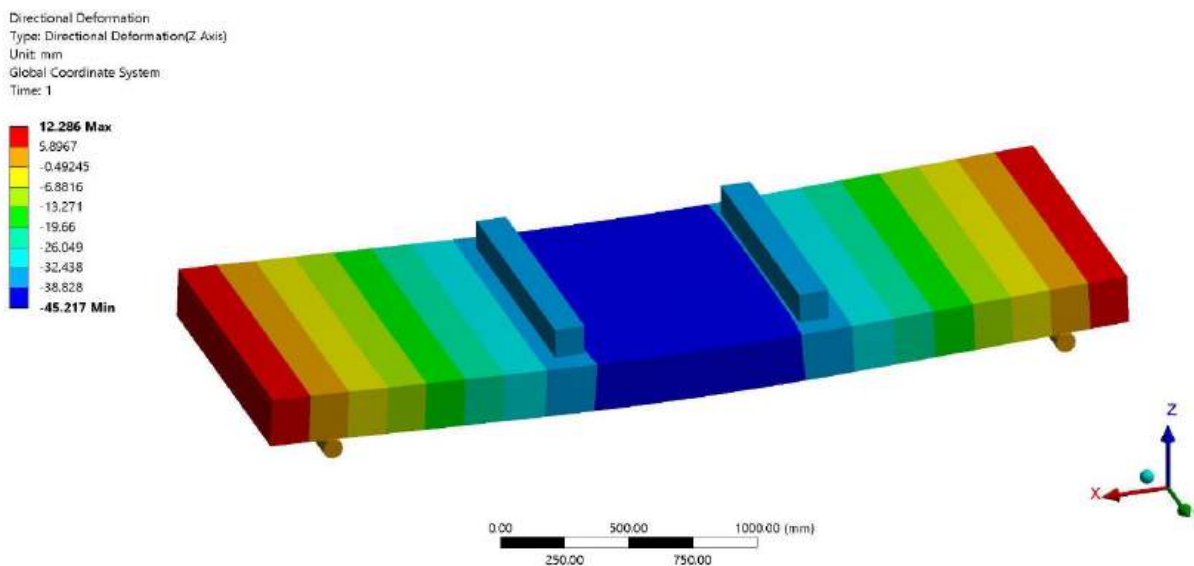


Slika 5.57: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 17,24 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,67 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 8,62 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 62,47 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 27,91 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 61,36 kN i pri tom je plošnog nosača ploče 45,22 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.58, dok je na slici 5.59 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.59 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



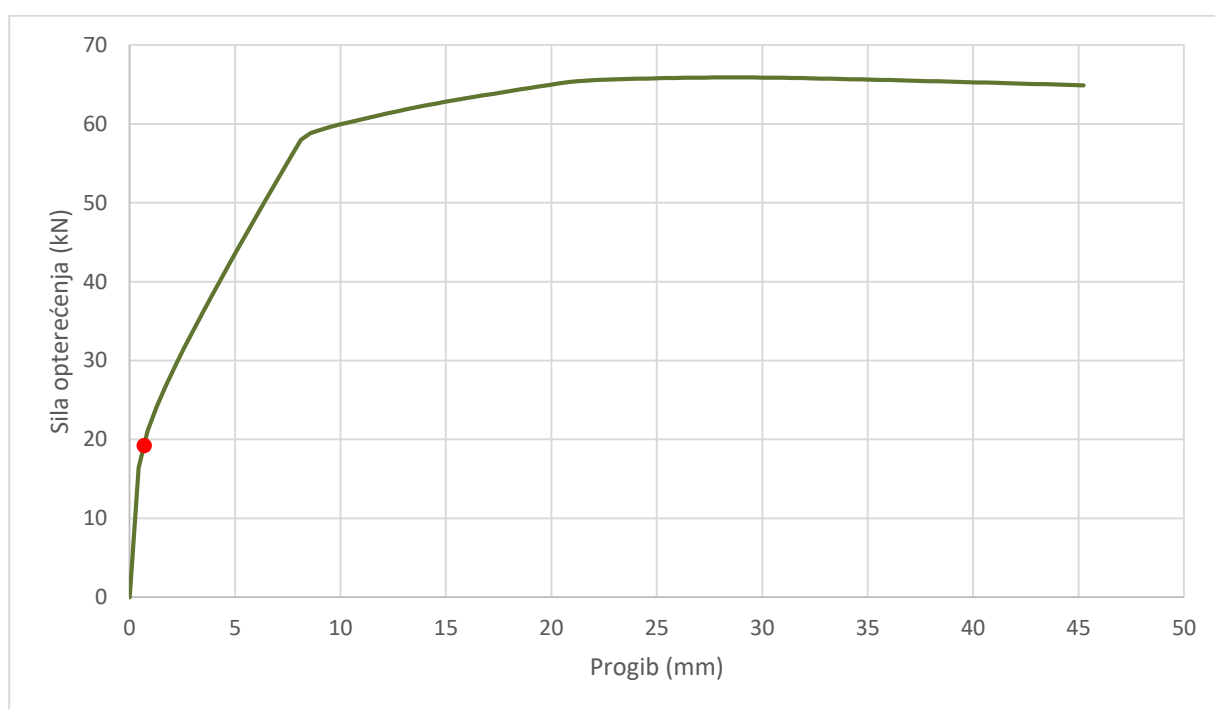
Slika 5.58: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30



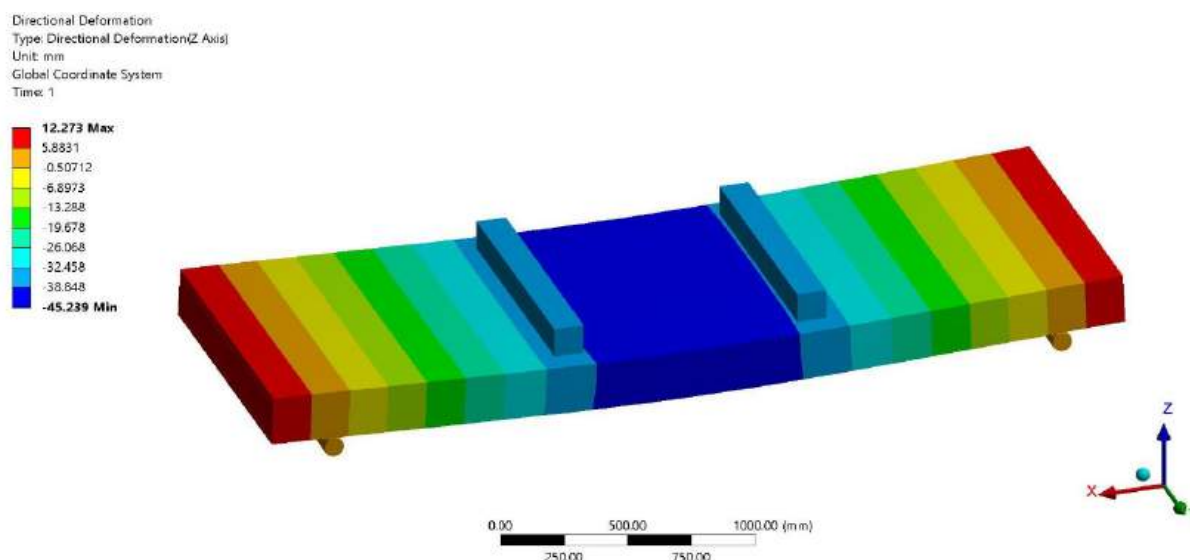
Slika 5.59: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 19,22 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,69 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 9,61 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 65,89 kN i pri tom opterećenju

progib plošnog nosača je 28,63 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 64,88 kN i pri tom je progib ploče plošnog nosača 45,24 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.60, dok je na slici 5.61 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.61 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

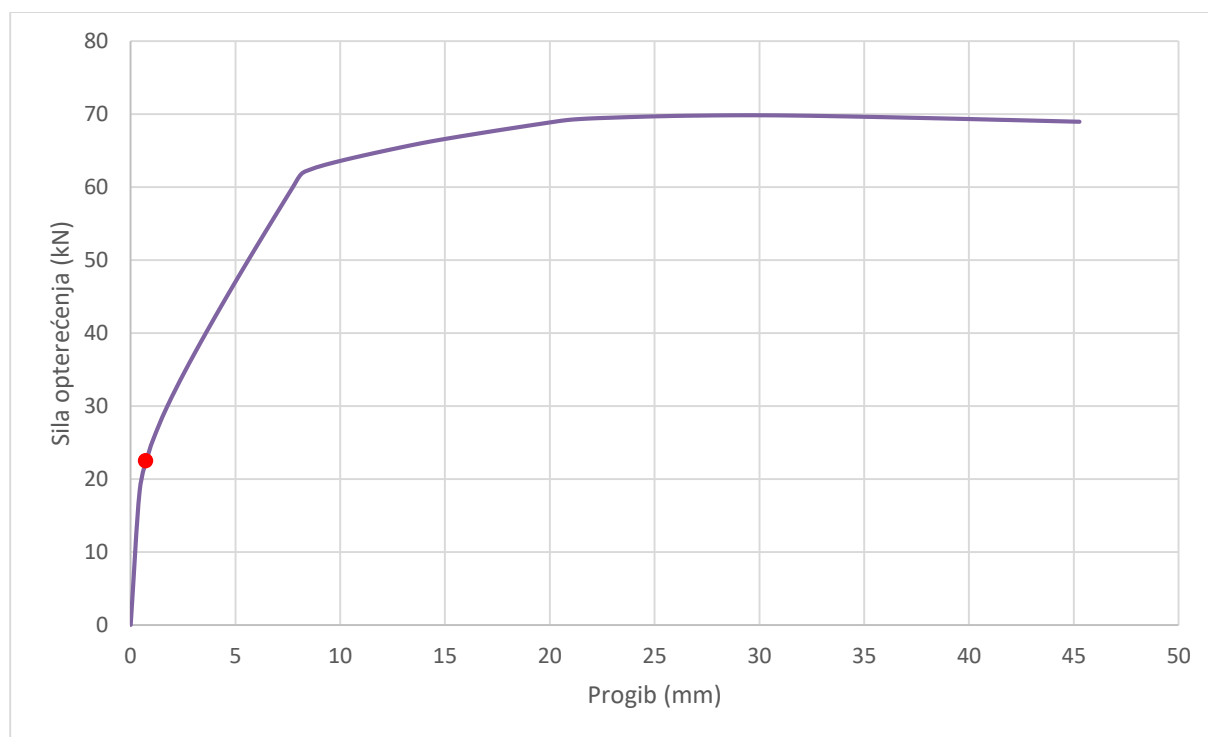


Slika 5.60: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37

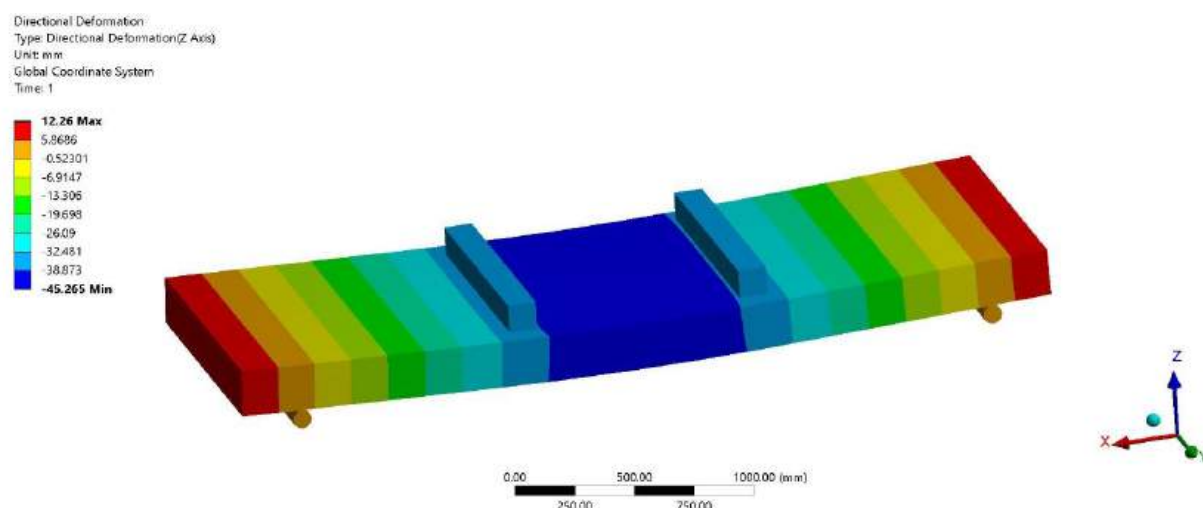


Slika 5.61: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,5 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,72 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 11,25 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 69,87 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 29,58 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 68,99 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,27 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.62, dok je na slici 5.63 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.63 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



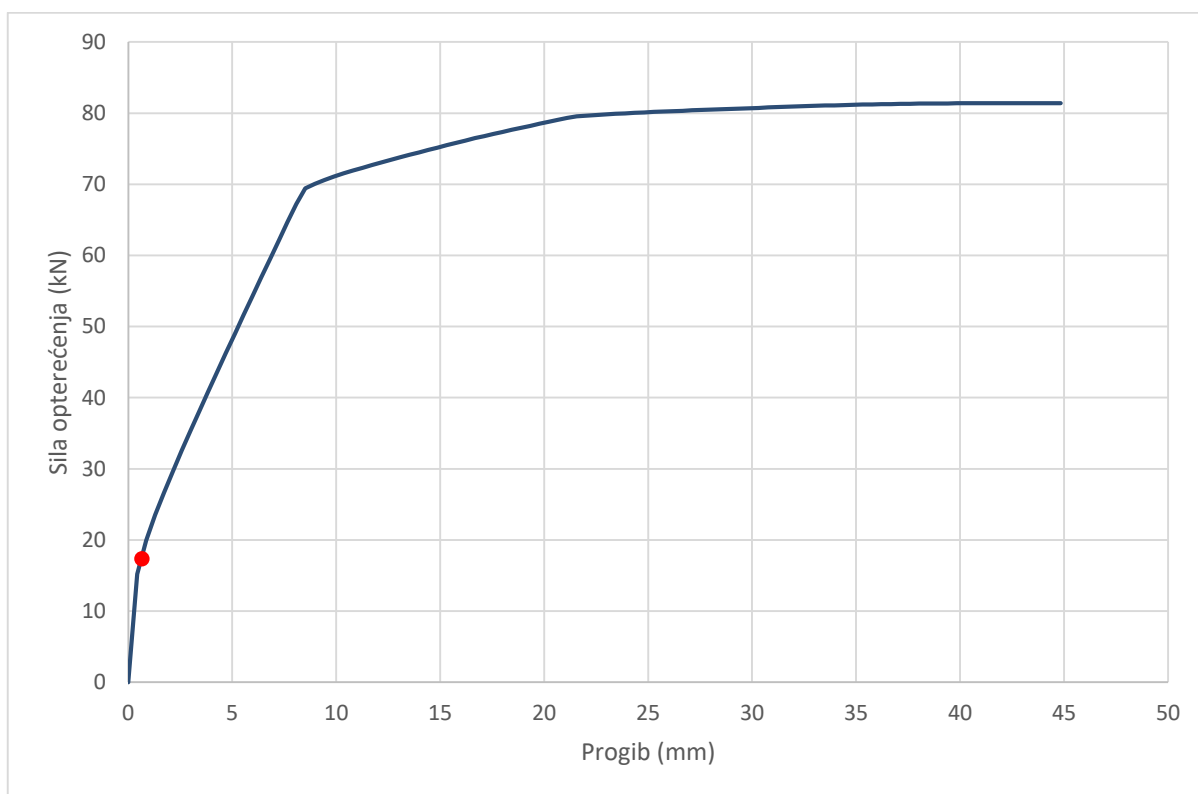
Slika 5.62: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45



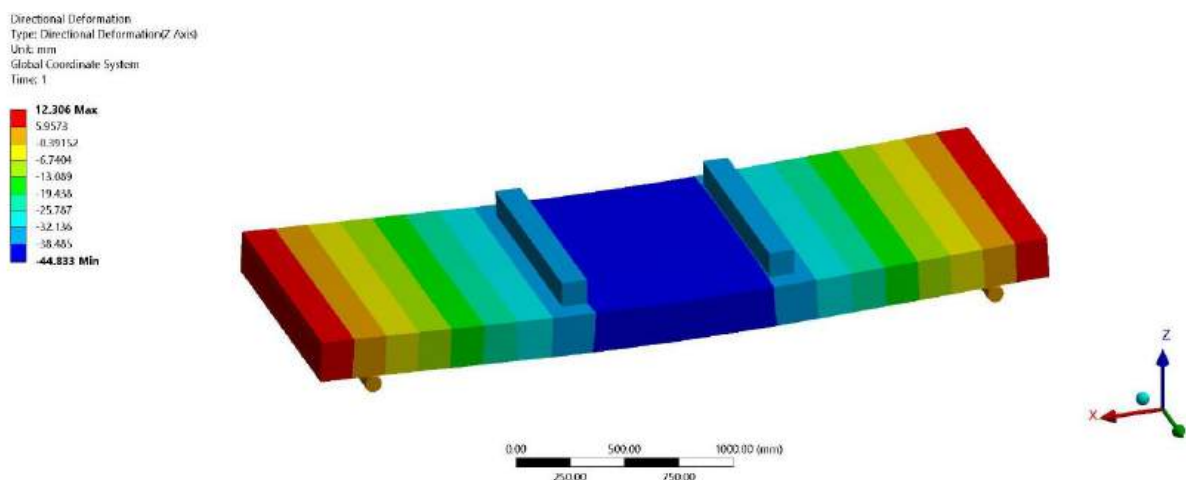
Slika 5.63: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 17,32 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,66 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 8,66 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 81,42 kN i pri tom opterećenju

progib plošnog nosača je 44,83 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 81,42 kN i progibu 44,83 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.64, dok je na slici 5.65 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.65 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

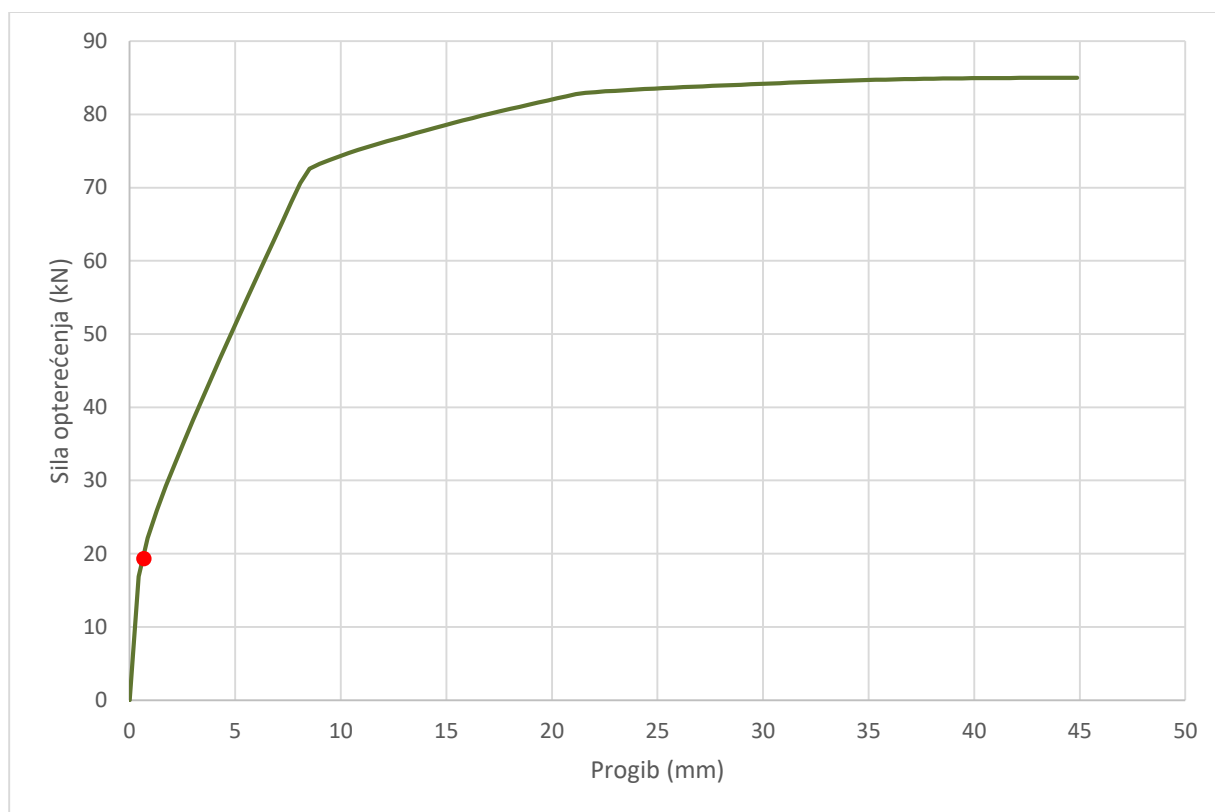


Slika 5.64: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30

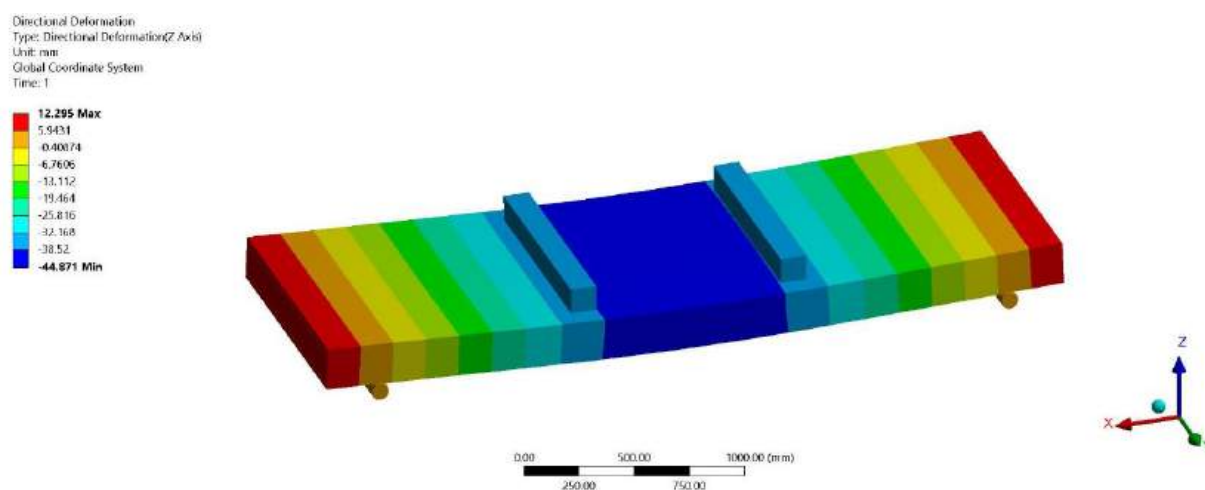


Slika 5.65: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 19,32 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,68 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 9,66 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 85,01 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,87 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 85,01 kN i progibu 44,87 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.66, dok je na slici 5.67 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.67 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



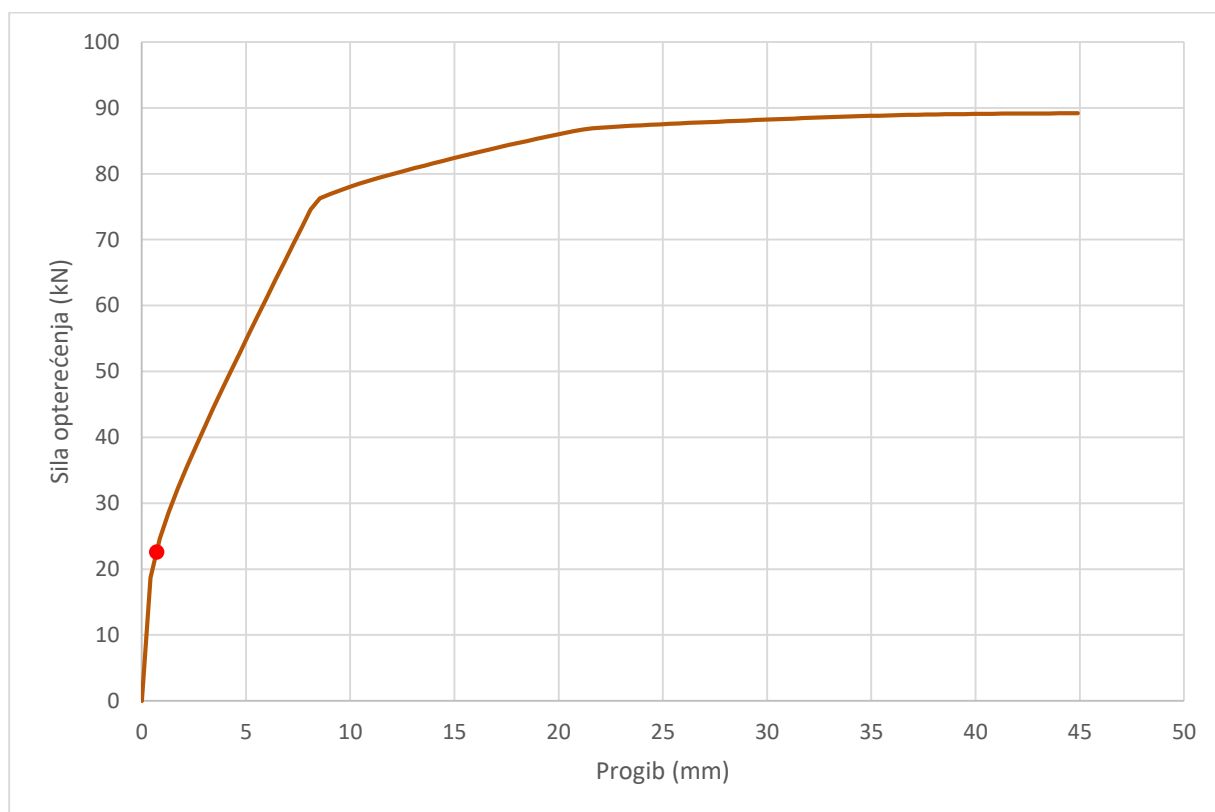
Slika 5.66: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37



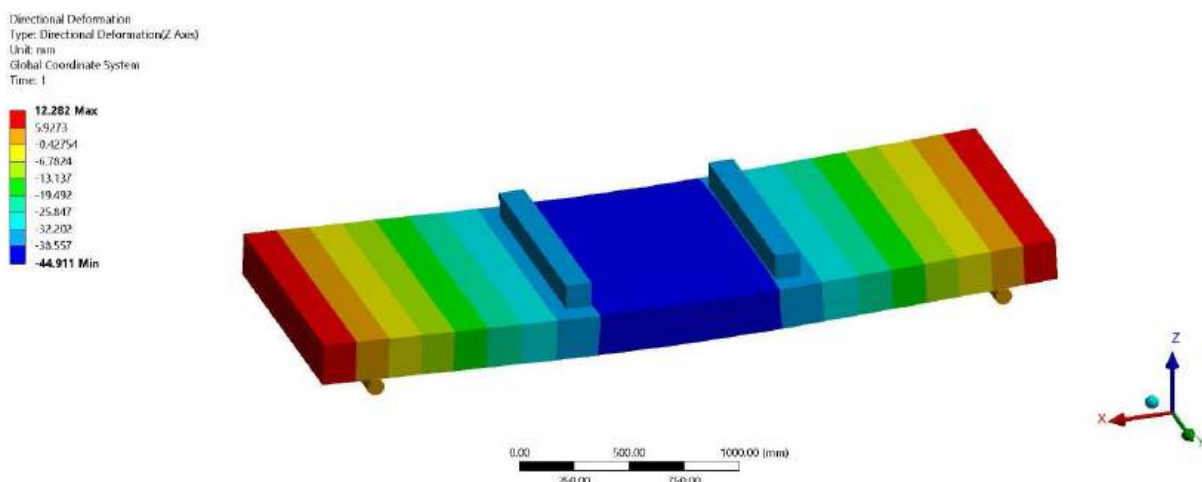
Slika 5.67: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,58 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,71 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 11,29 kNm. Maksimalna

nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 89,18 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,91 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 89,18 kN i progibu 44,91 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.68, dok je na slici 5.69 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.69 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

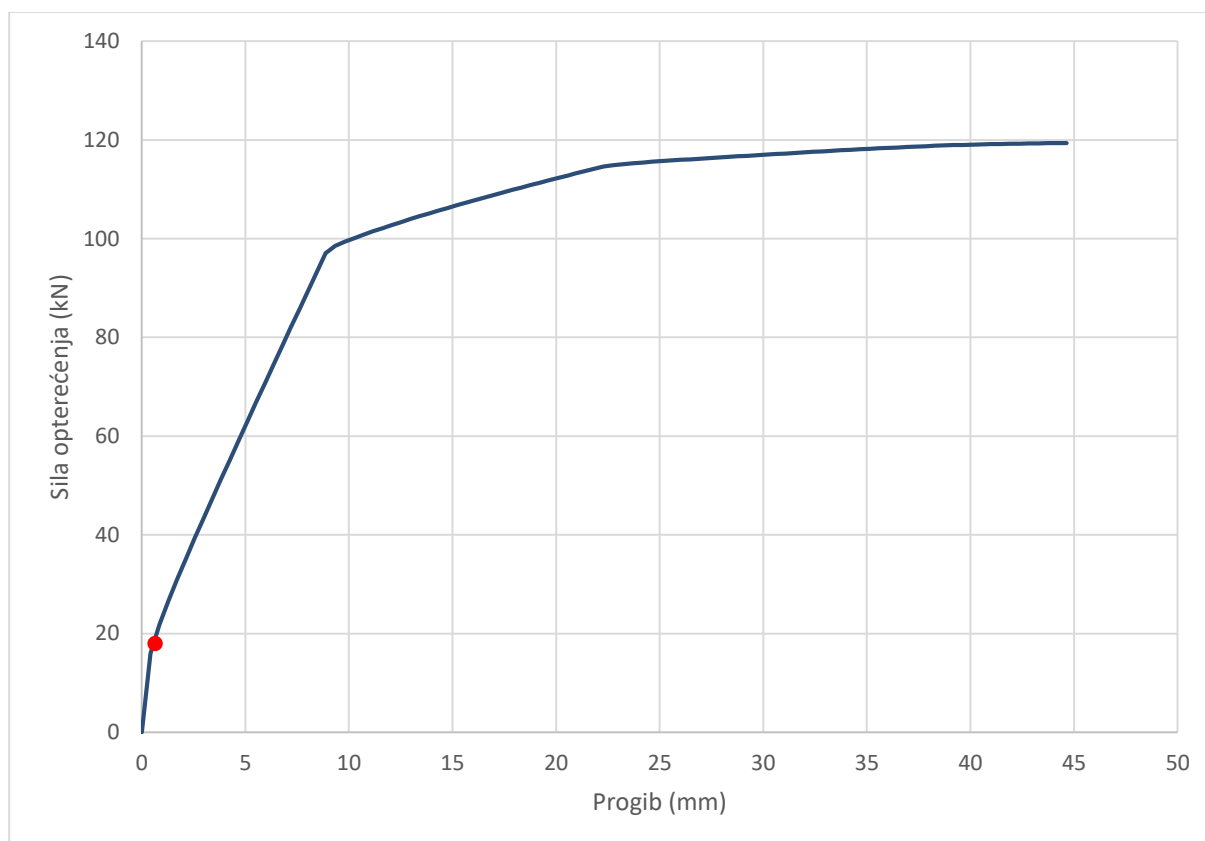


Slika 5.68: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45

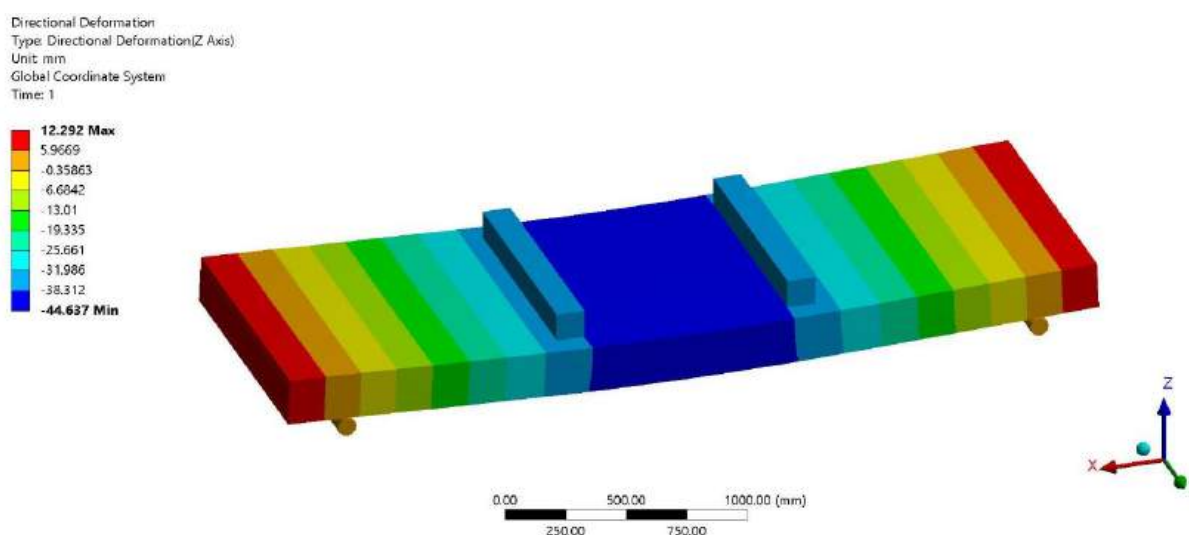


Slika 5.69: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 17,96 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,64 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 8,98 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 119,38 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,64 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 119,38 kN i progibu 44,64 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.70, dok je na slici 5.71 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.71 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

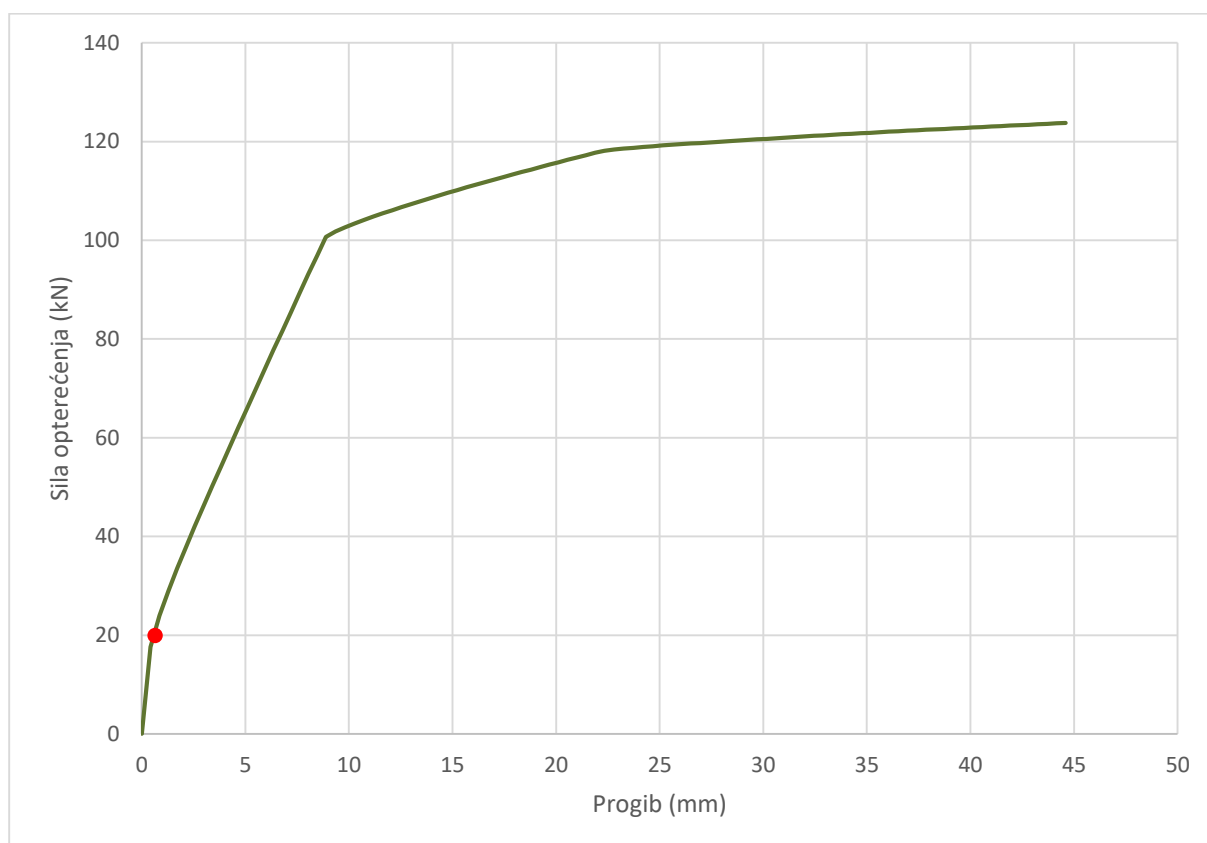


Slika 5.70: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30

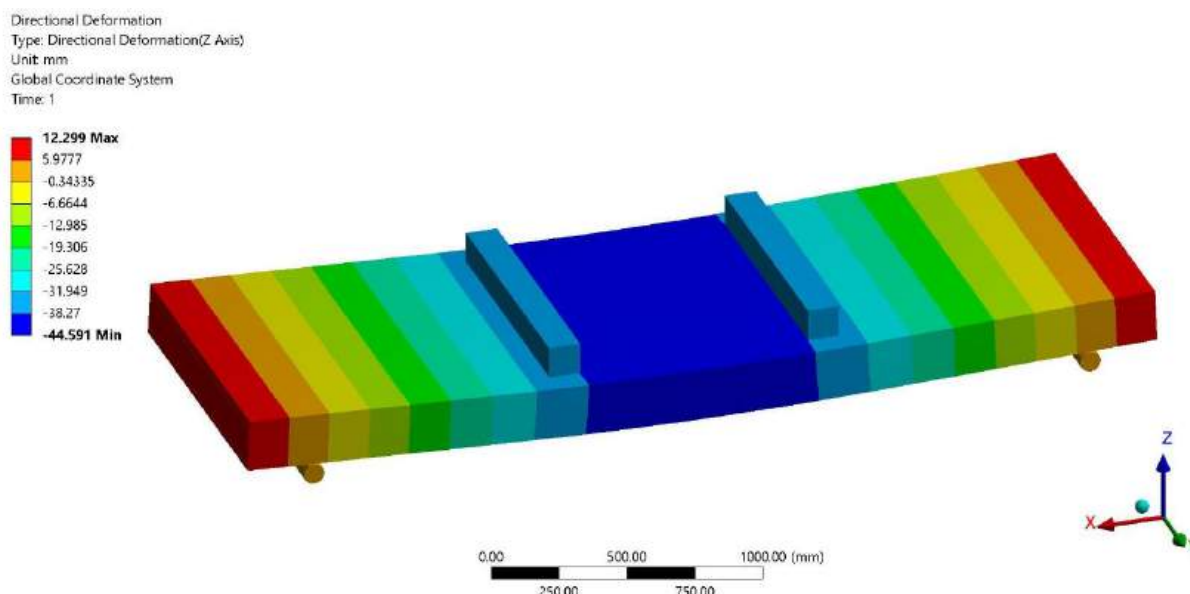


Slika 5.71: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 19,94 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,65 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 9,97 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 123,78 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,59 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 123,78 kN i progibu 44,59 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.72, dok je na slici 5.73 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.73 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

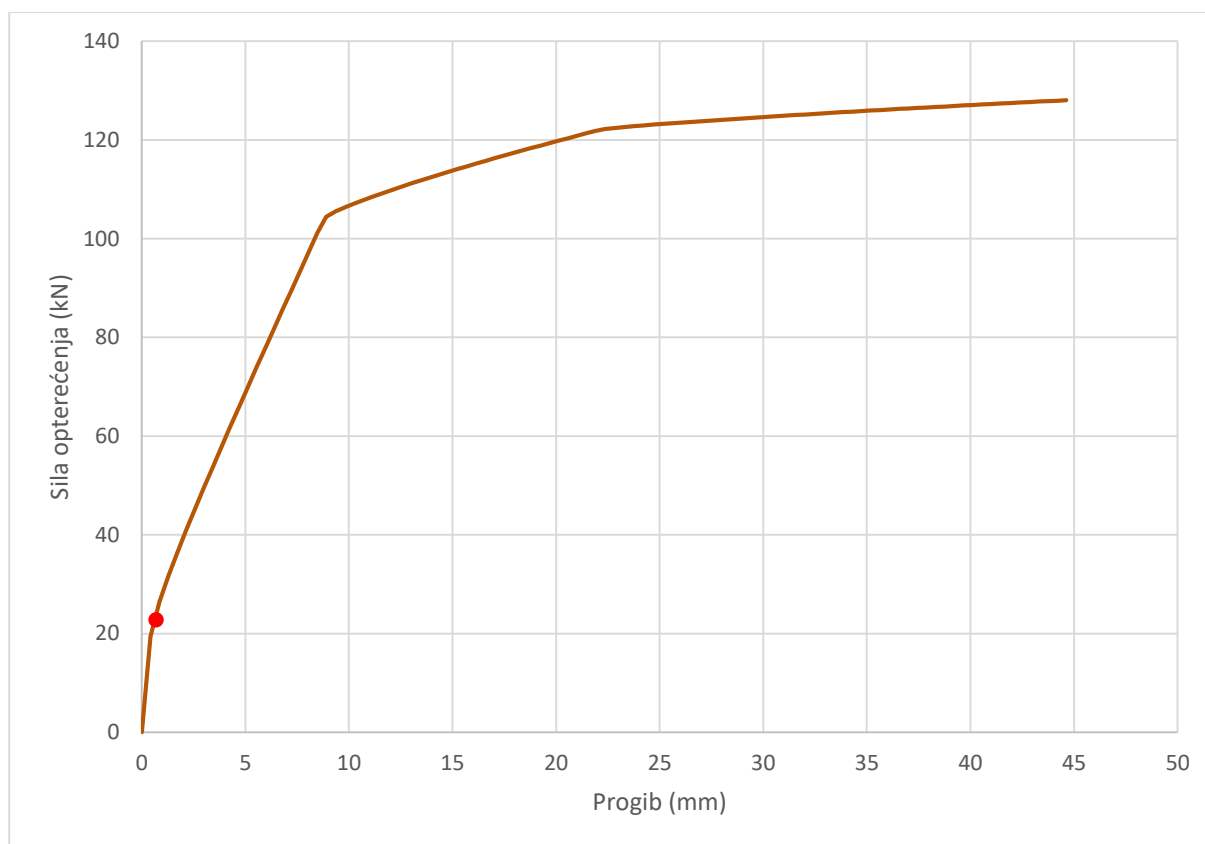


Slika 5.72: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37

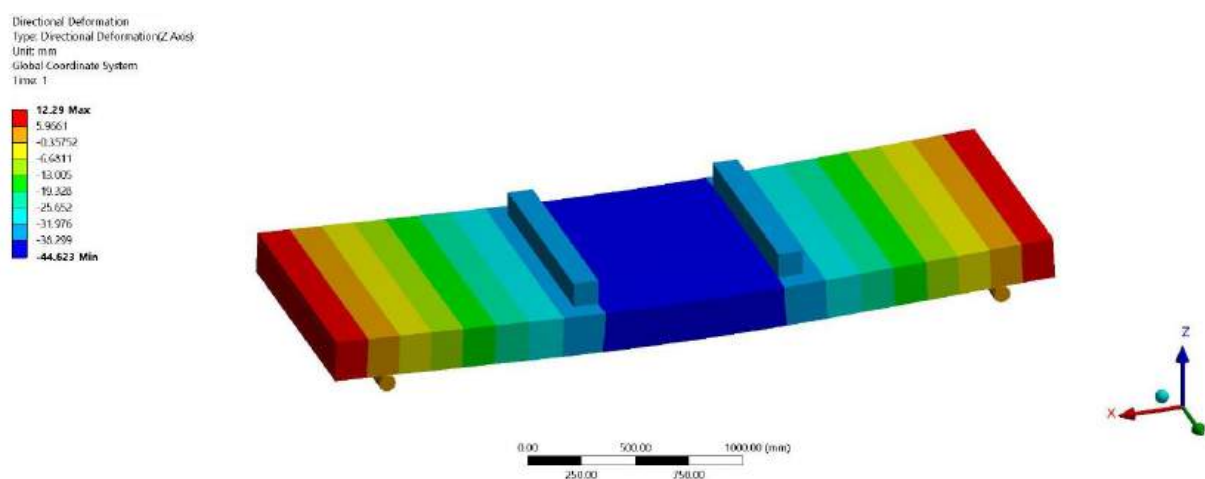


Slika 5.73: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 22,76 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,69 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 11,38 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 128,04 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,62 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 128,04 kN i progibu 44,62 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.74, dok je na slici 5.75 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.75 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



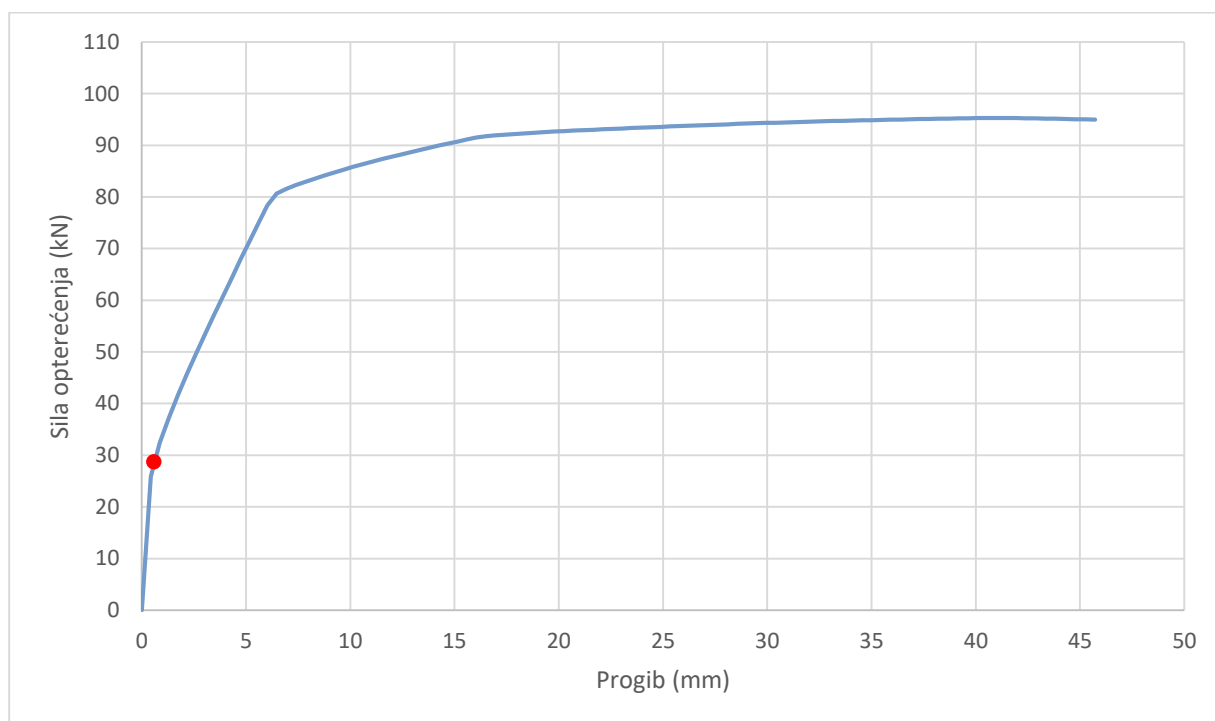
Slika 5.74: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45



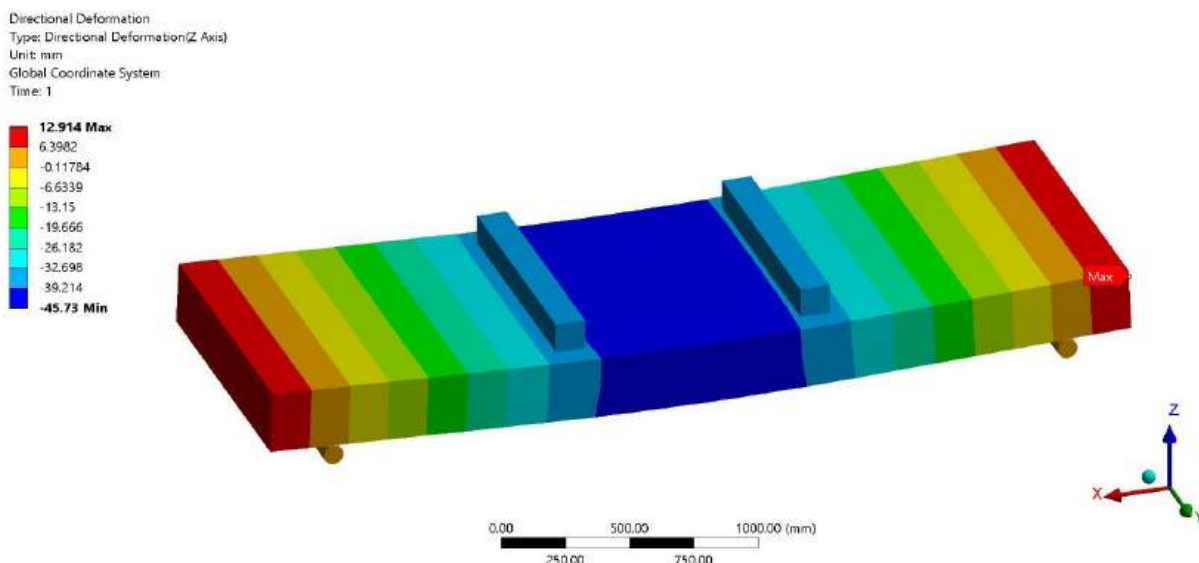
Slika 5.75: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 28,76 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,58 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 14,38 kNm. Maksimalna

nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 95,29 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 41 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 94,97 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,73 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.76, dok je na slici 5.77 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.77 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

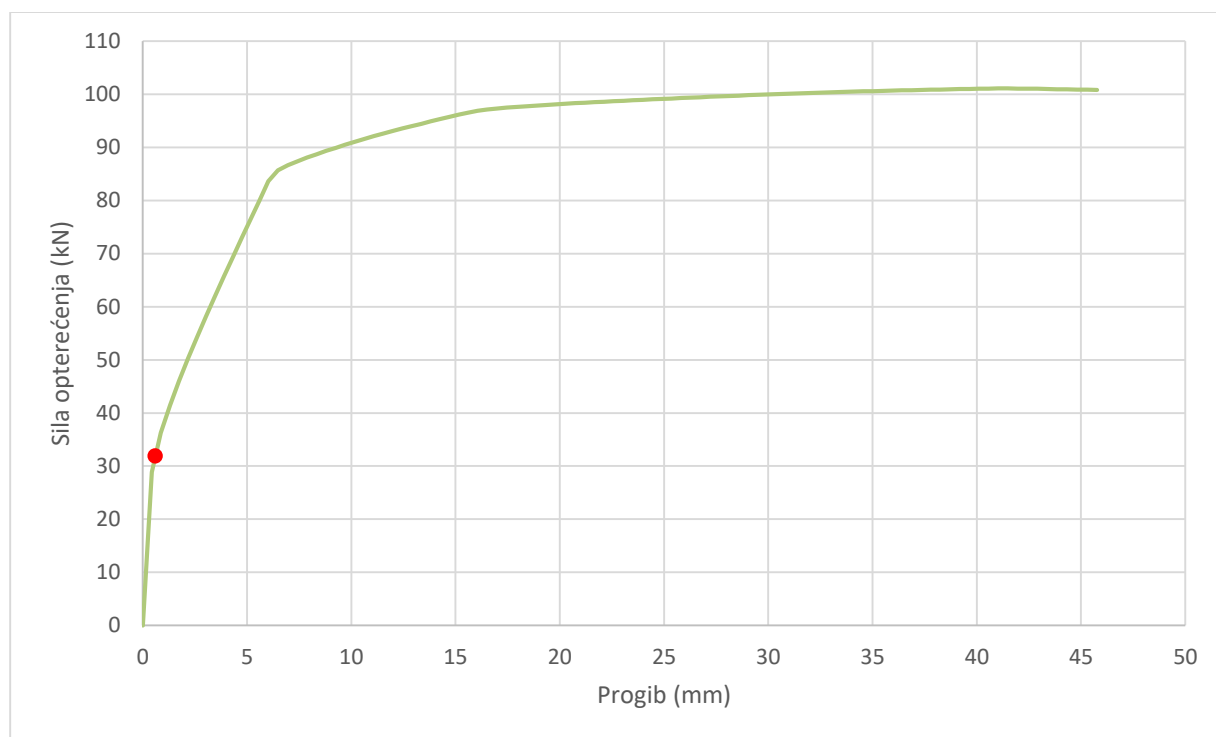


Slika 5.76: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30

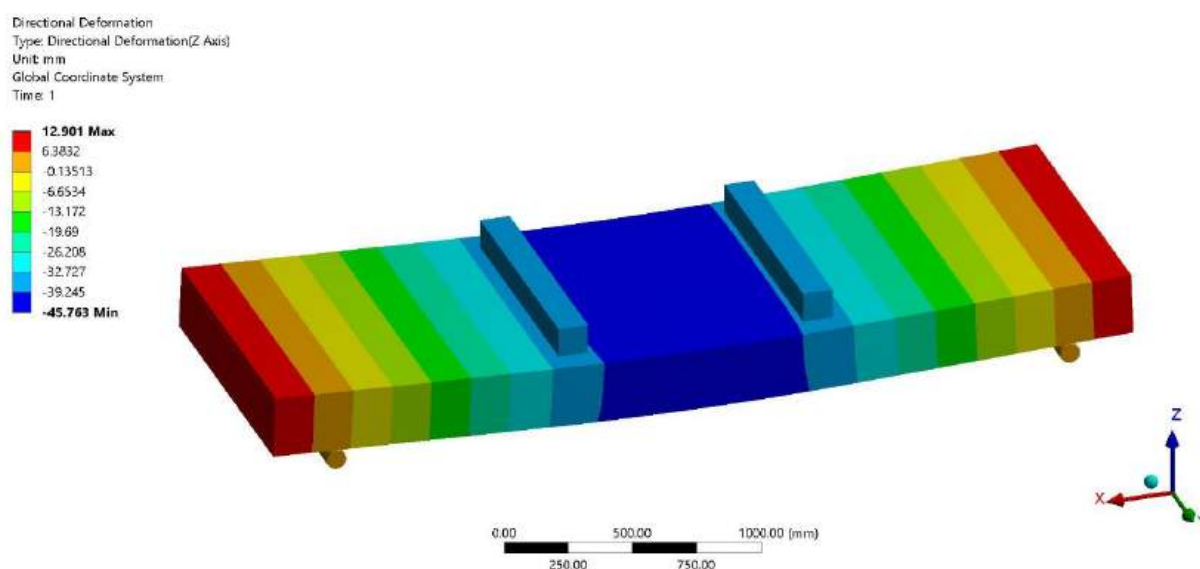


Slika 5.77: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 31,88 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,59 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 15,94 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 101,1 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 41,26 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 100,81 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,76 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.78, dok je na slici 5.79 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.79 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



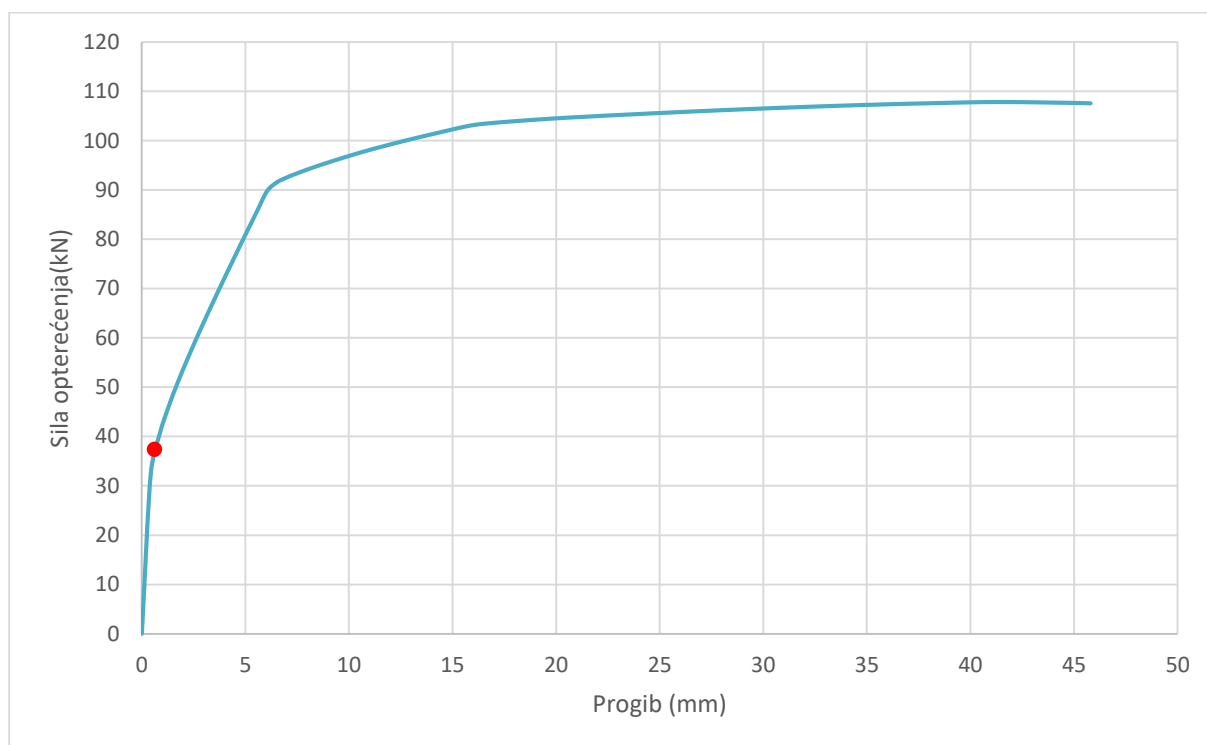
Slika 5.78: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37



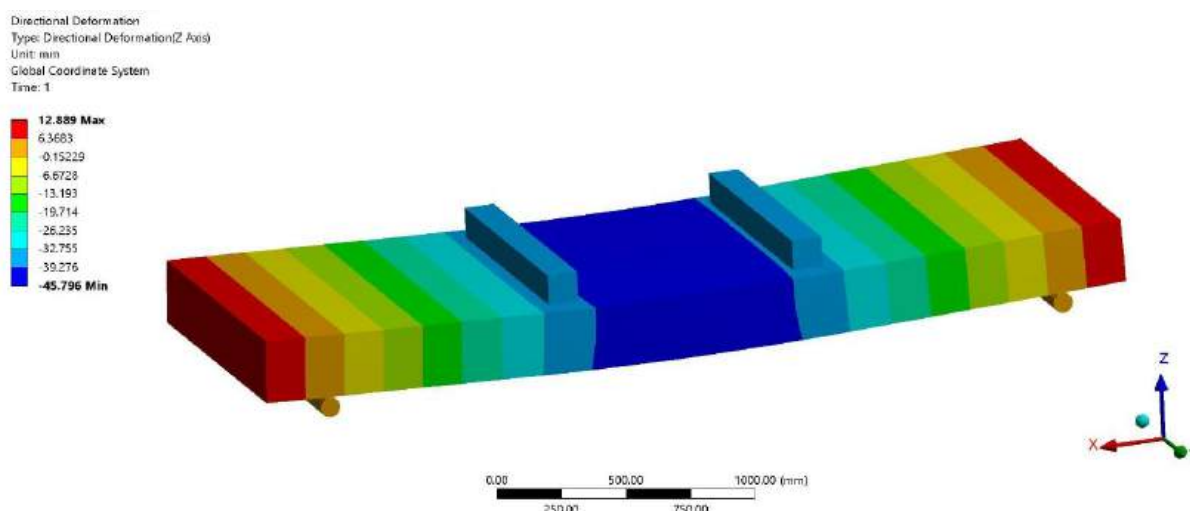
Slika 5.79: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 37,4 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,61 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 18,7 kNm. Maksimalna nosivost tog

plošnog nosača događa se pri opterećenju od 107,84 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 41,28 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 107,58 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,8 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.80, dok je na slici 5.81 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.81 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

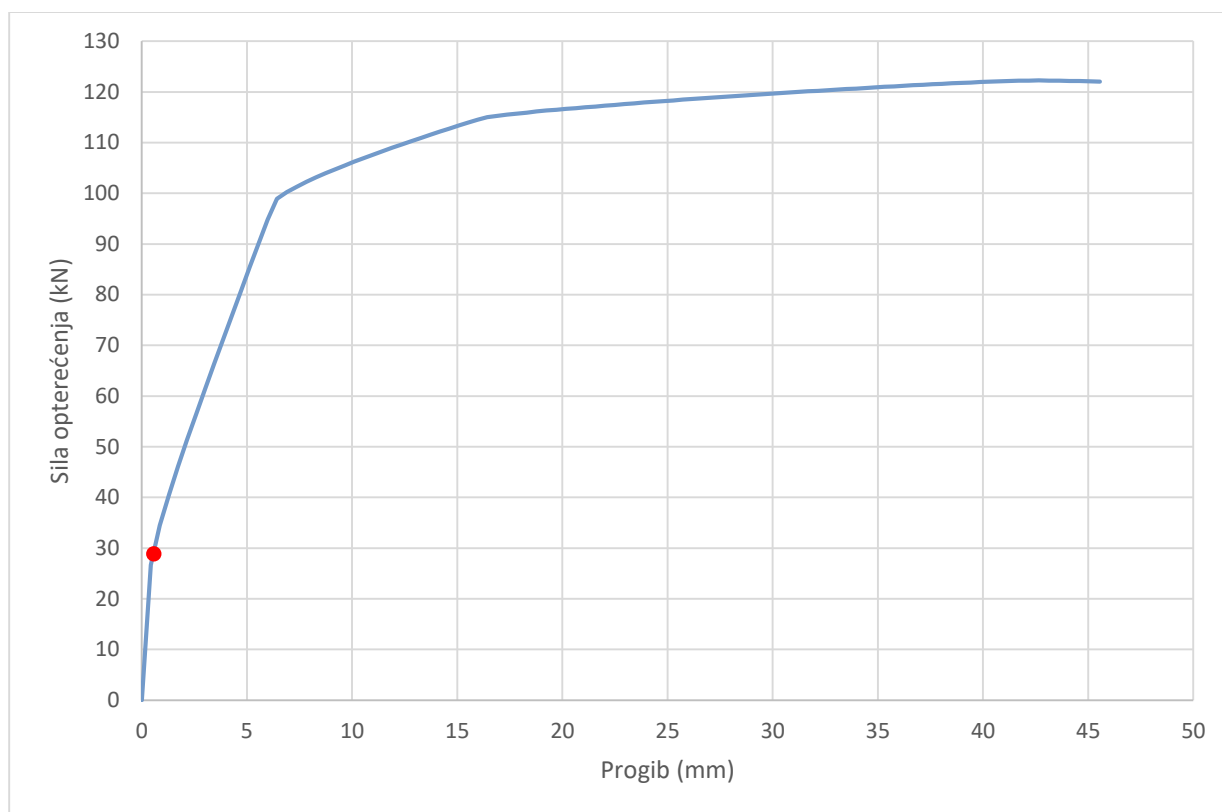


Slika 5.80: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45

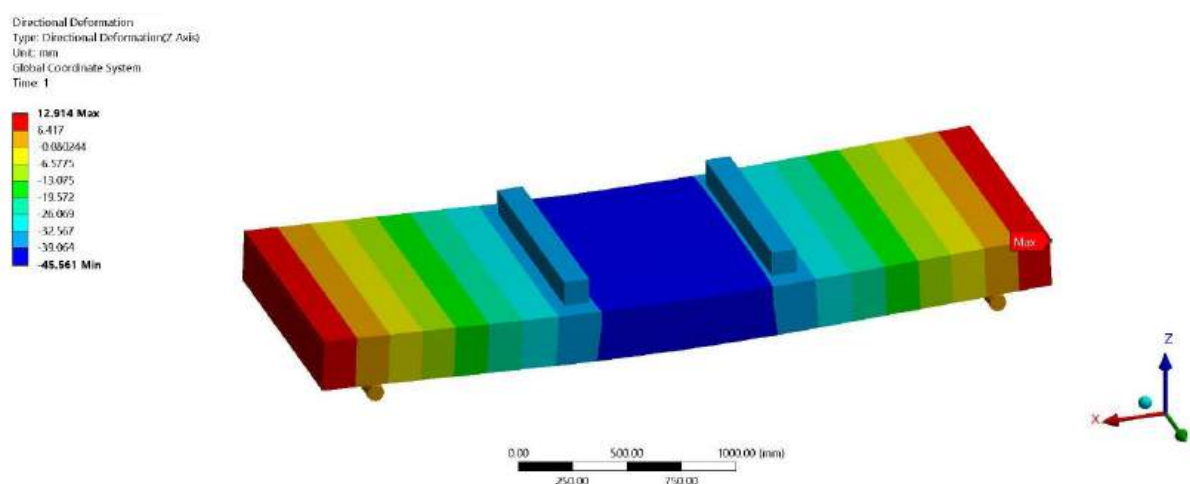


Slika 5.81: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 28,86 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,57 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 14,43 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 122,25 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 42,65 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 122,05 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,56 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.82, dok je na slici 5.83 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.83 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



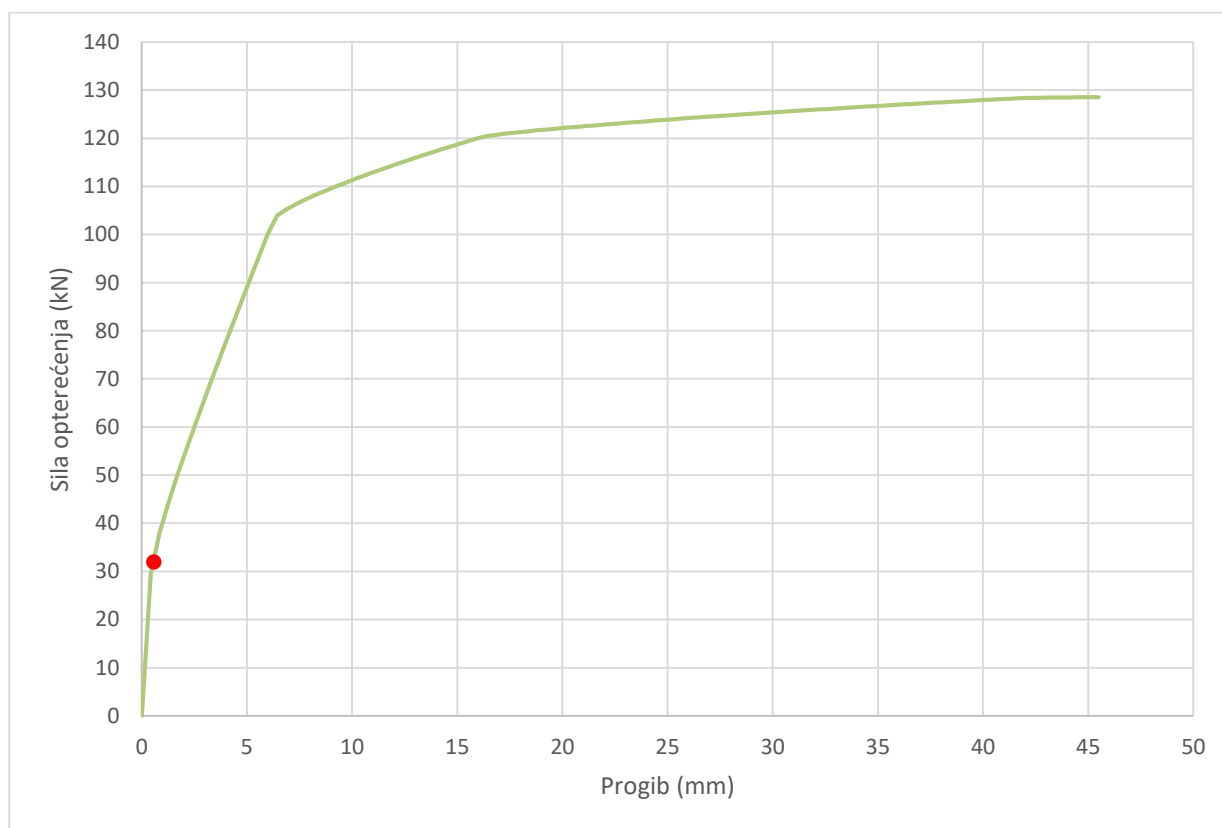
Slika 5.82: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30



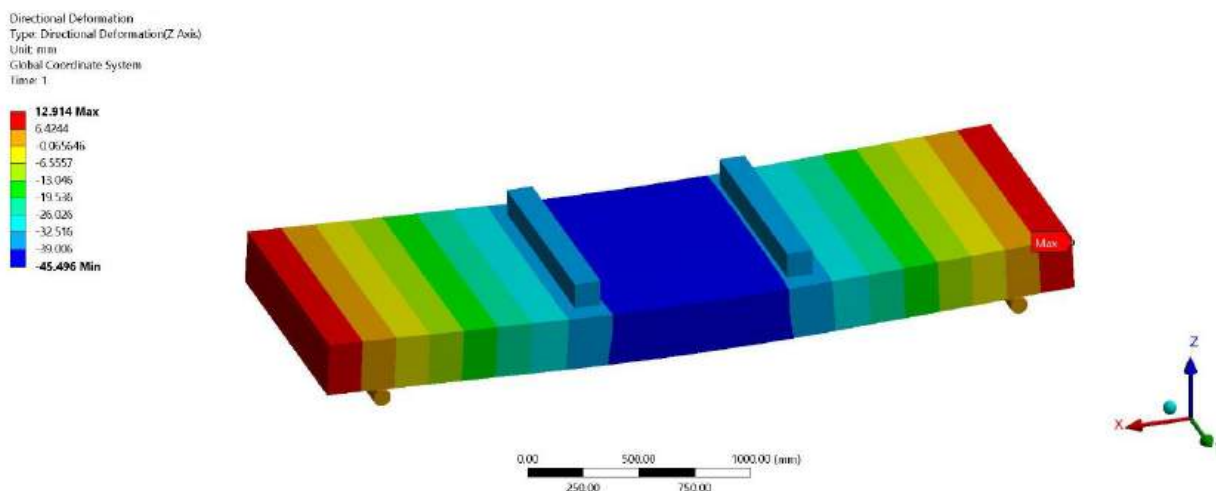
Slika 5.83: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 31,98 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,58 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 15,99 kNm. Maksimalna

nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 128,5 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,54 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 128,49 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,5 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.84, dok je na slici 5.85 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.85 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

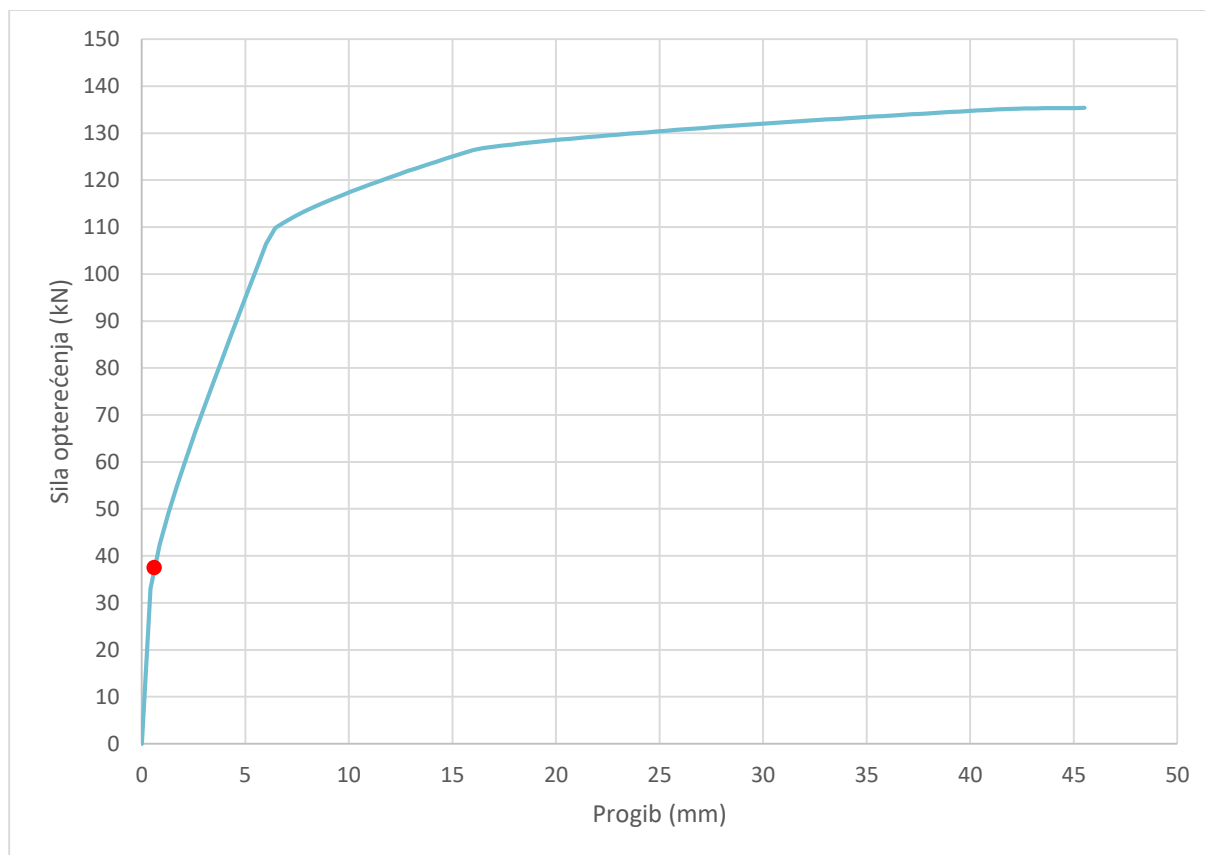


Slika 5.84: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37

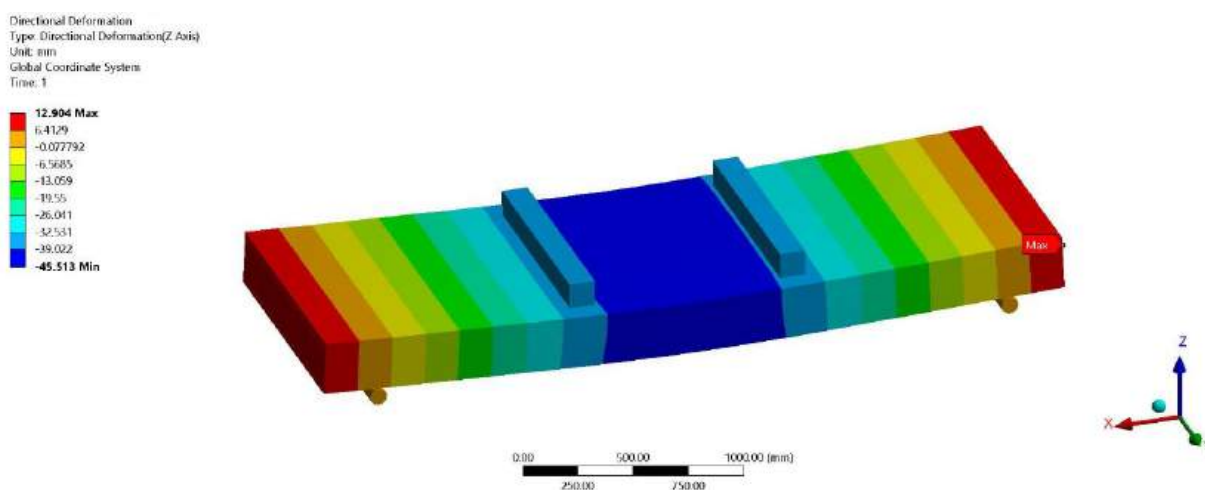


Slika 5.85: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 37,48 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,6 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 18,74 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 135,37 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 45,51 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri ukupnoj sili od 135,37 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,51 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.86, dok je na slici 5.87 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.87 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



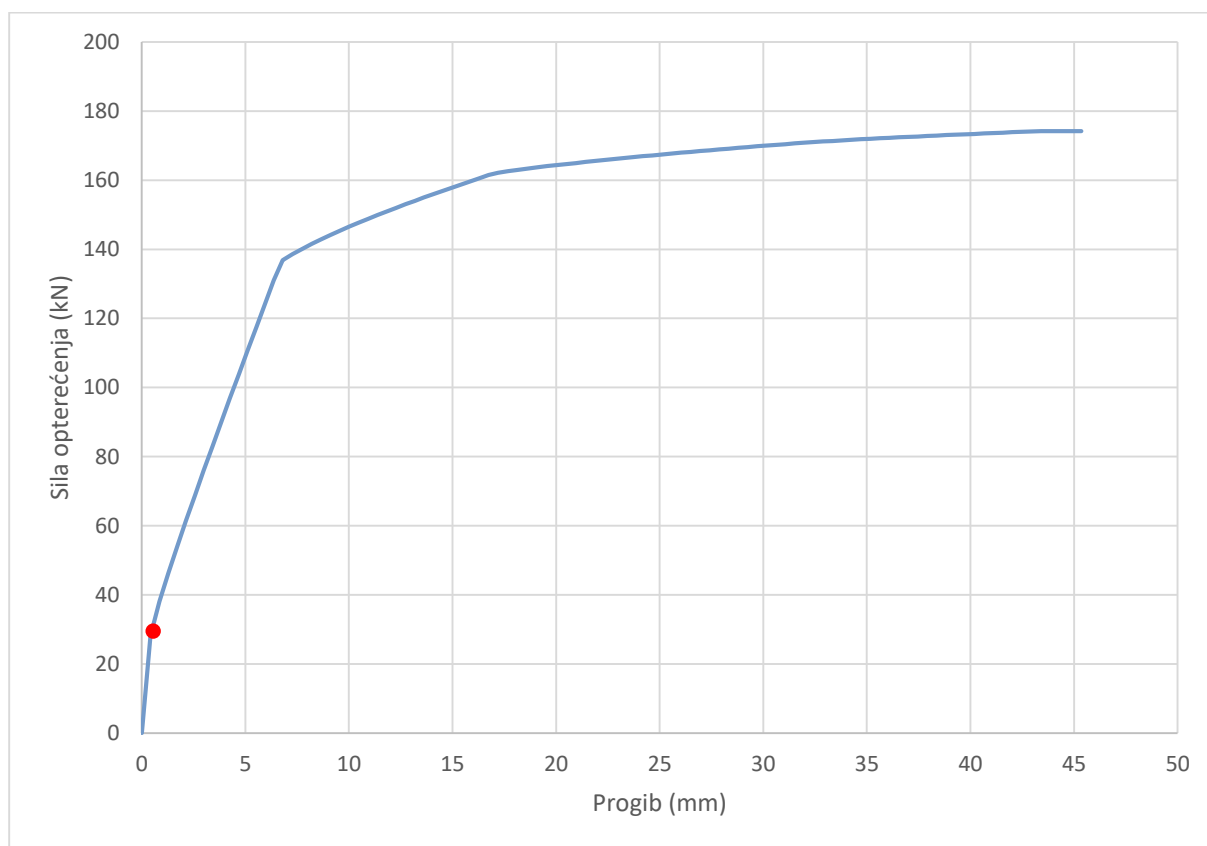
Slika 5.86: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45



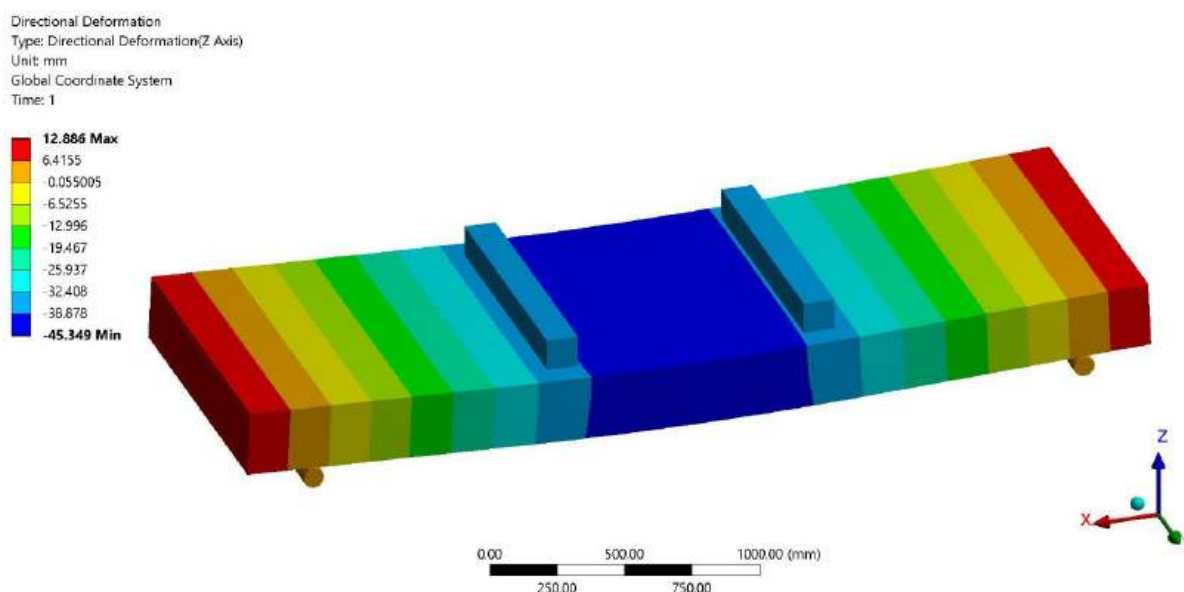
Slika 5.87: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45

Kod plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 29,54 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,55 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 14,77 kNm. Maksimalna

nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 174,22 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,86 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 174,21 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,35 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.88, dok je na slici 5.89 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.89 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

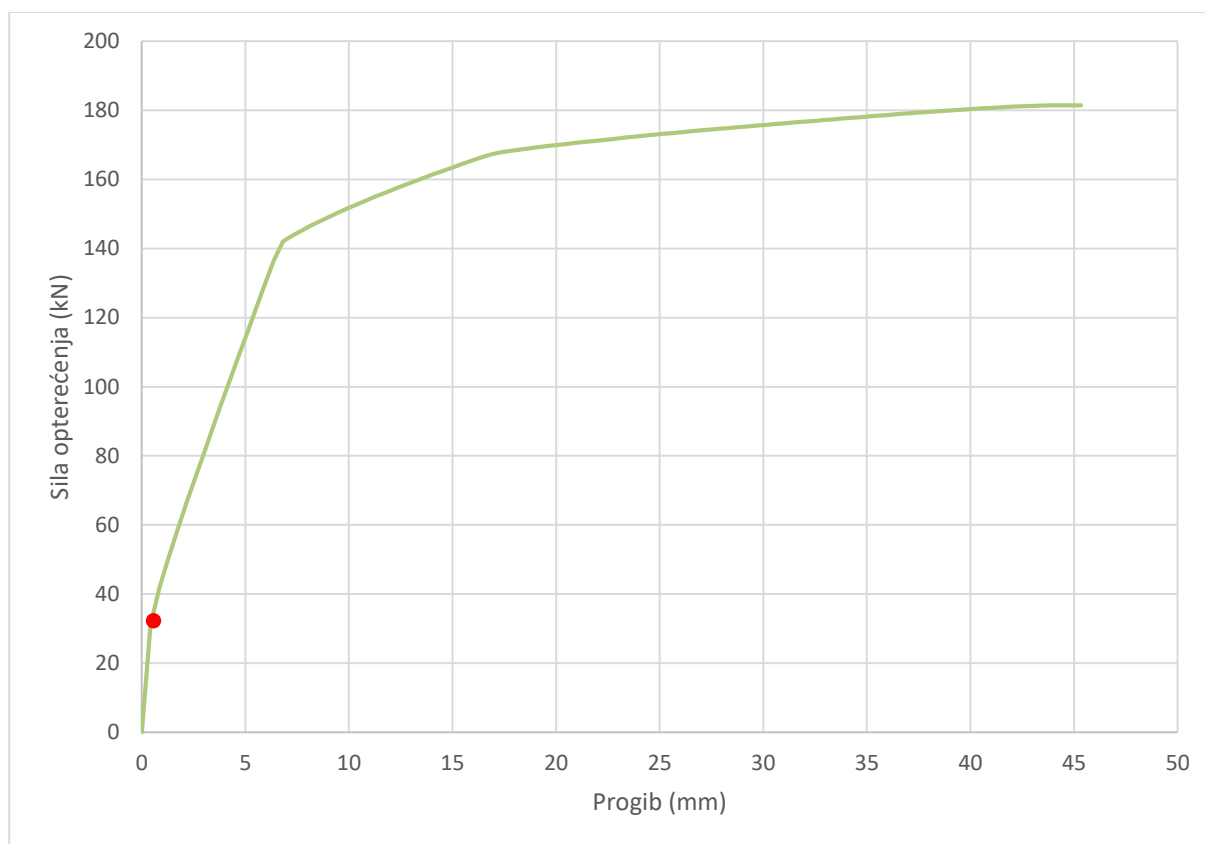


Slika 5.88: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30

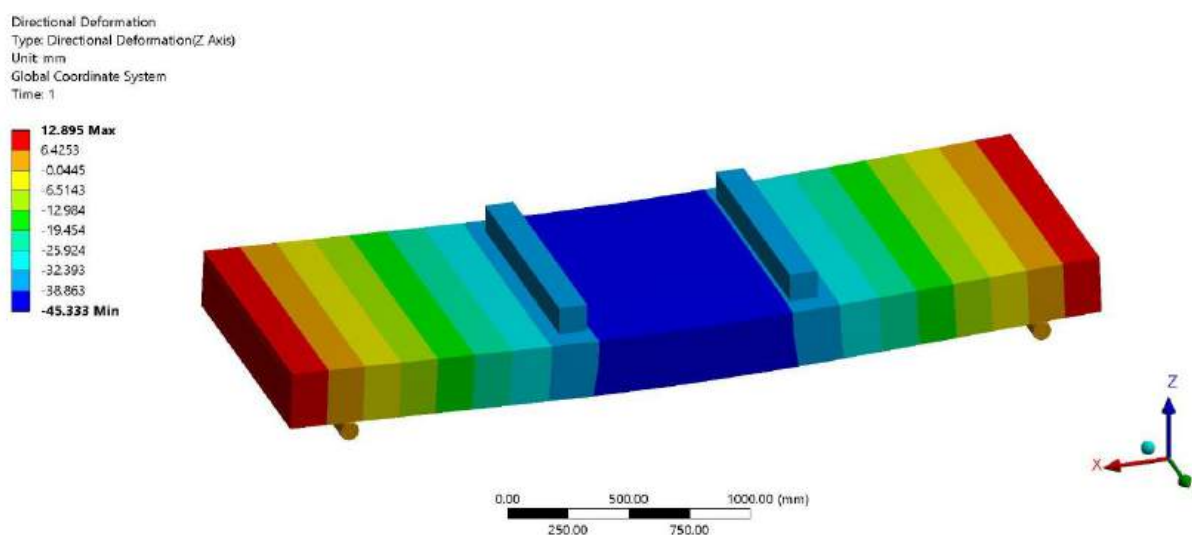


Slika 5.89: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30

Kod plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 32,24 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,56 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 16,12 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 181,47 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,85 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 181,46 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,33 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.90, dok je na slici 5.91 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.91 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



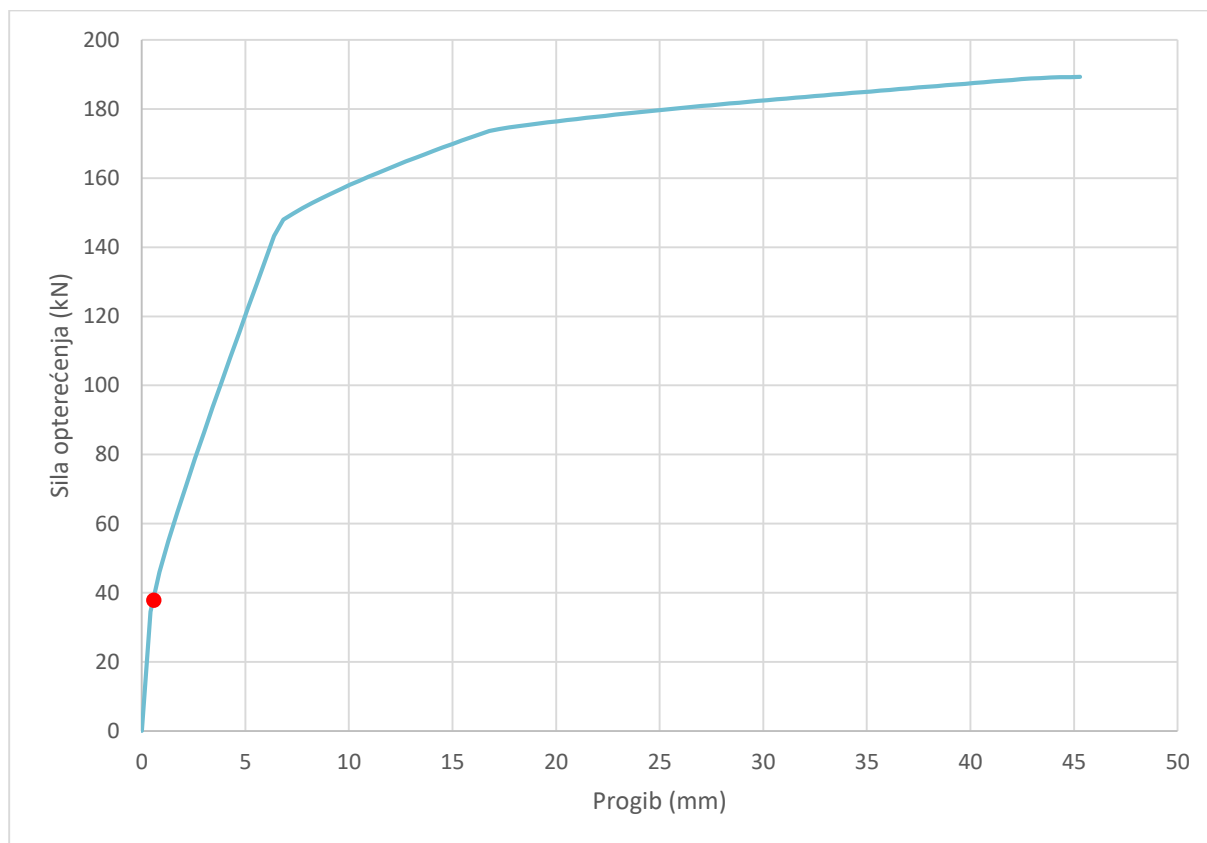
Slika 5.90: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37



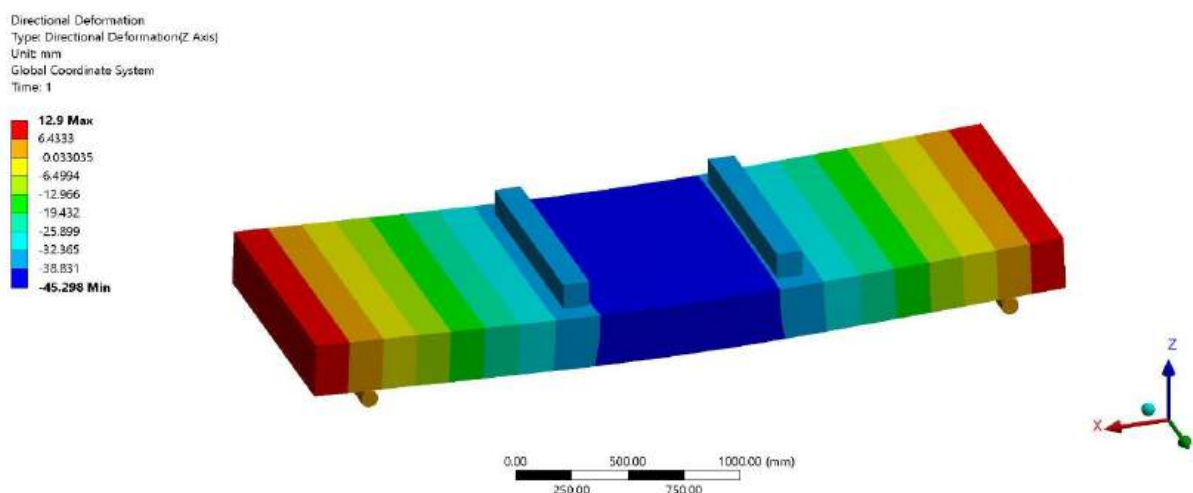
Slika 5.91: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37

Kod plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 37,84 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog

nosača je 0,59 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 18,92 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 189,33 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 45,3 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 189,33 kN i progibu 45,3 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.92, dok je na slici 5.93 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.93 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

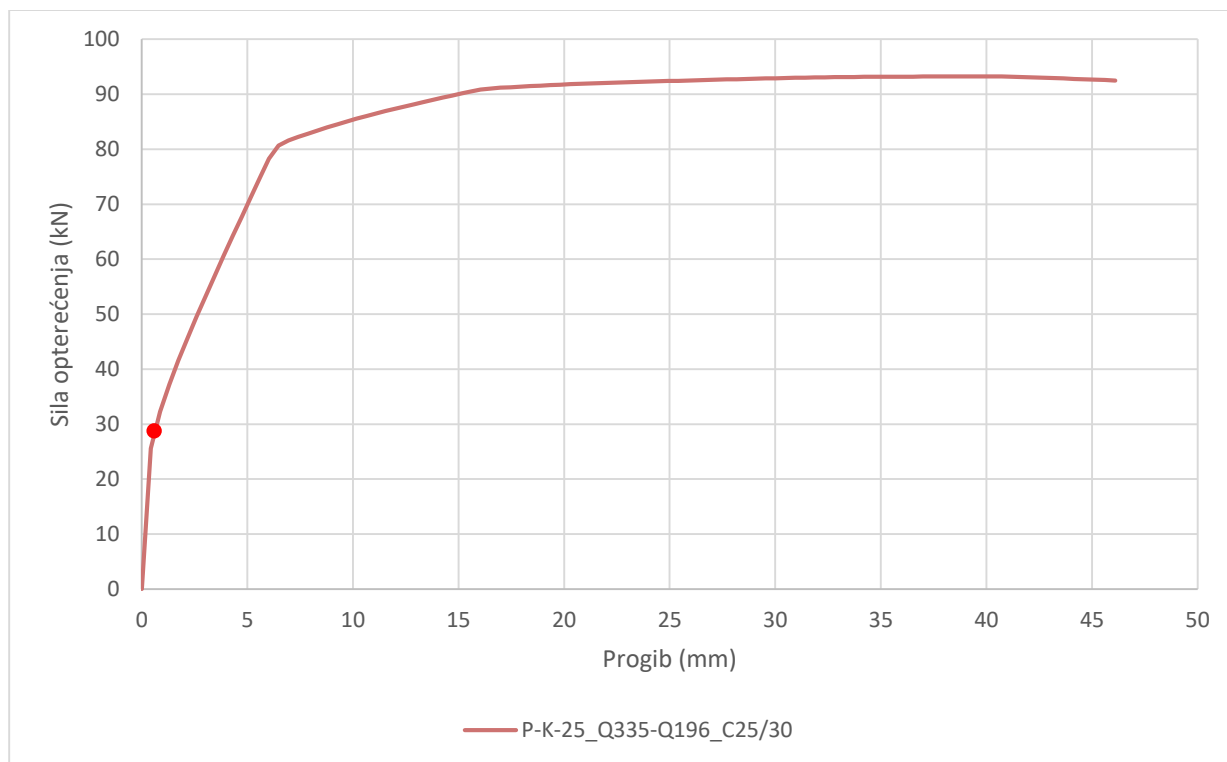


Slika 5.92: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45

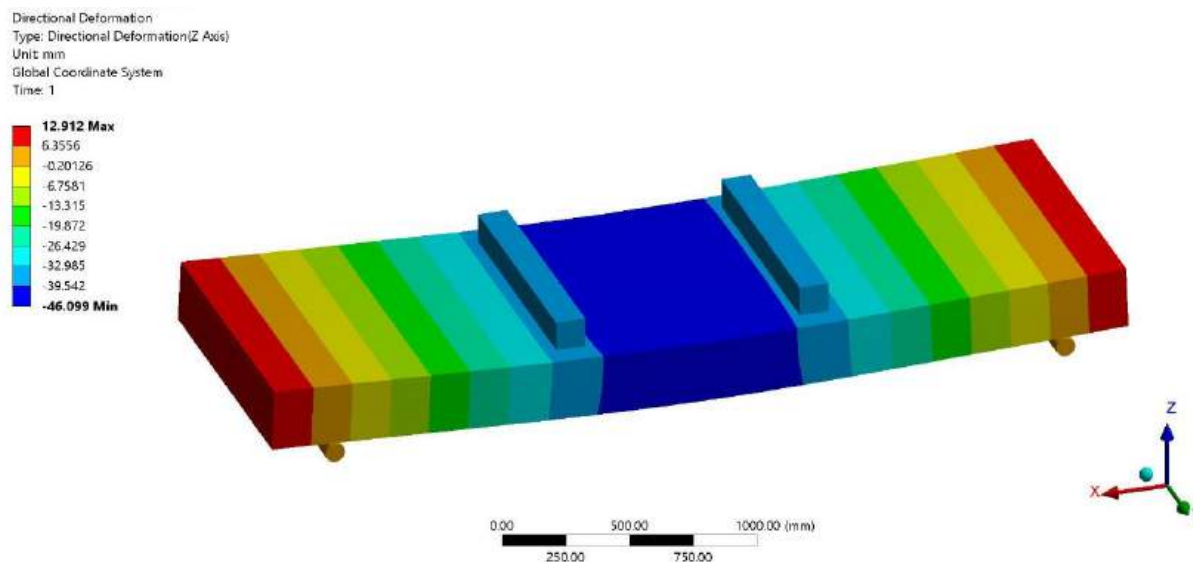


Slika 5.93: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 28,74 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,58 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 14,37 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 93,23 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 40,25 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 92,48 kN i pri tom je progib plošnog nosača 46,1 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.94, dok je na slici 5.95 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.95 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



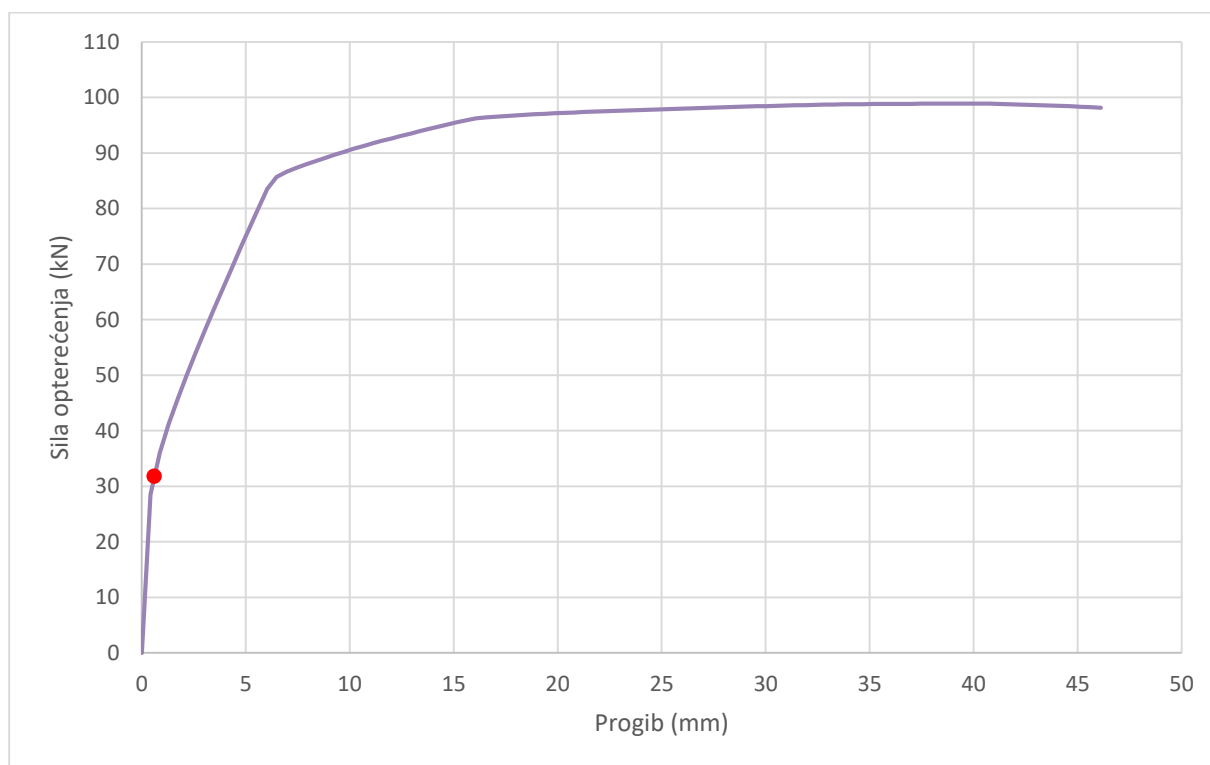
Slika 5.94: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30



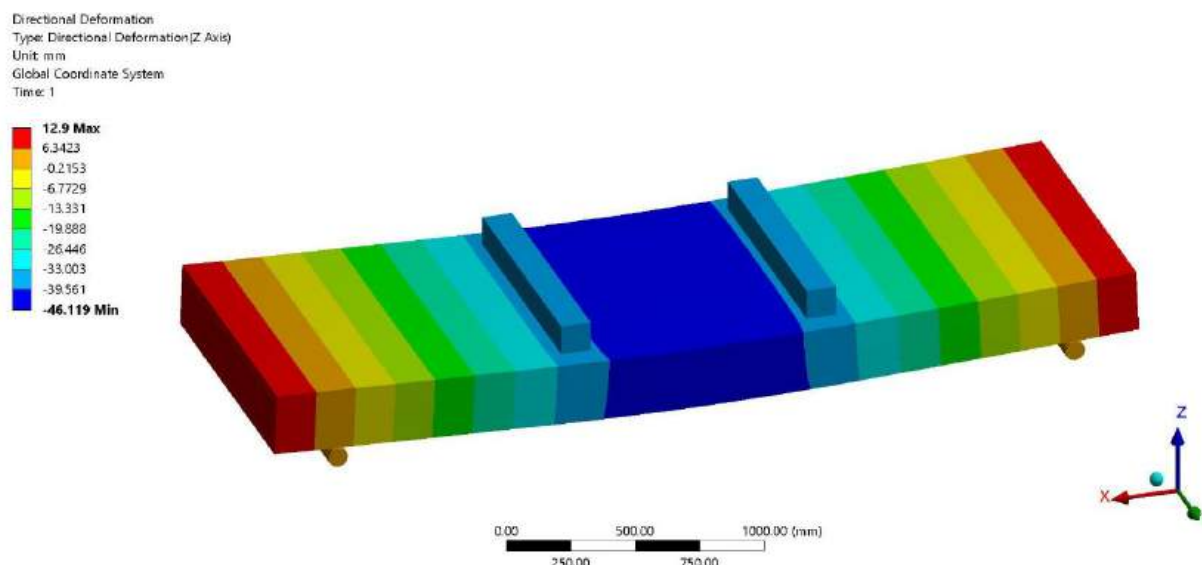
Slika 5.95: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 31,86 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,59 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 15,93 kNm. Maksimalna

nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 98,91 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 39,8 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 98,17 kN i pri tom je progib plošnog nosača 46,12 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.96, dok je na slici 5.97 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.97 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

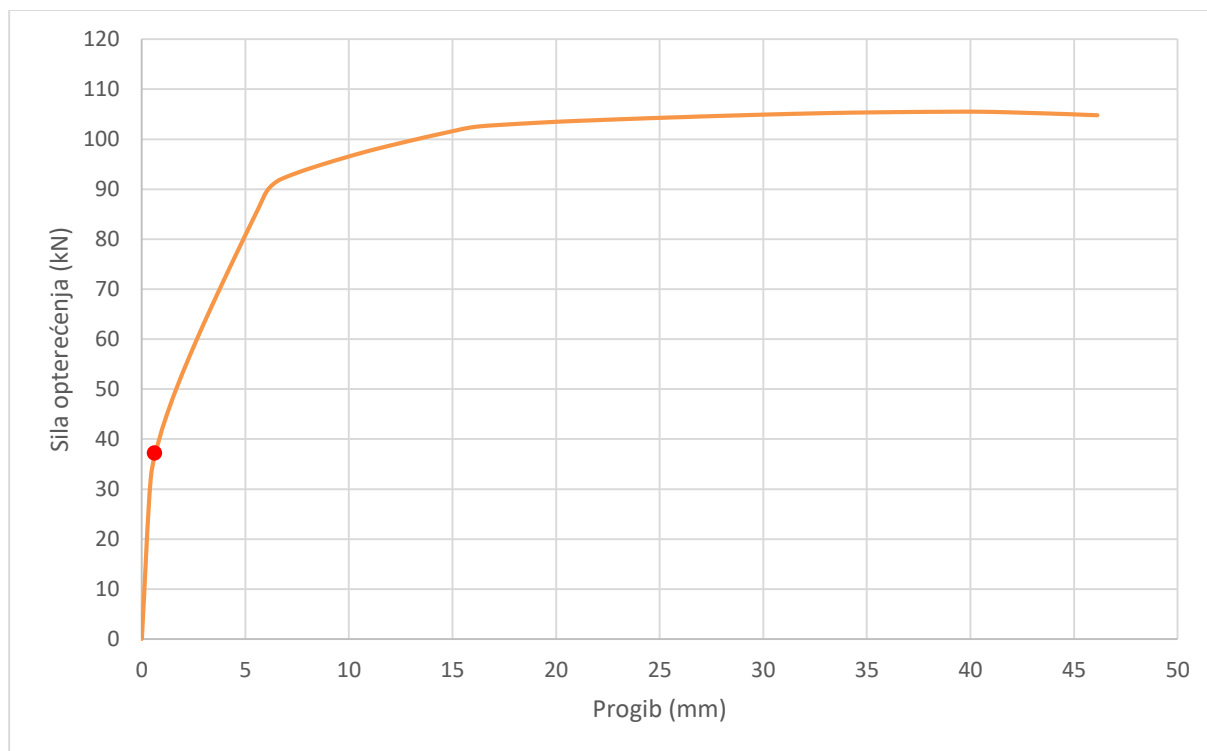


Slika 5.96: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37

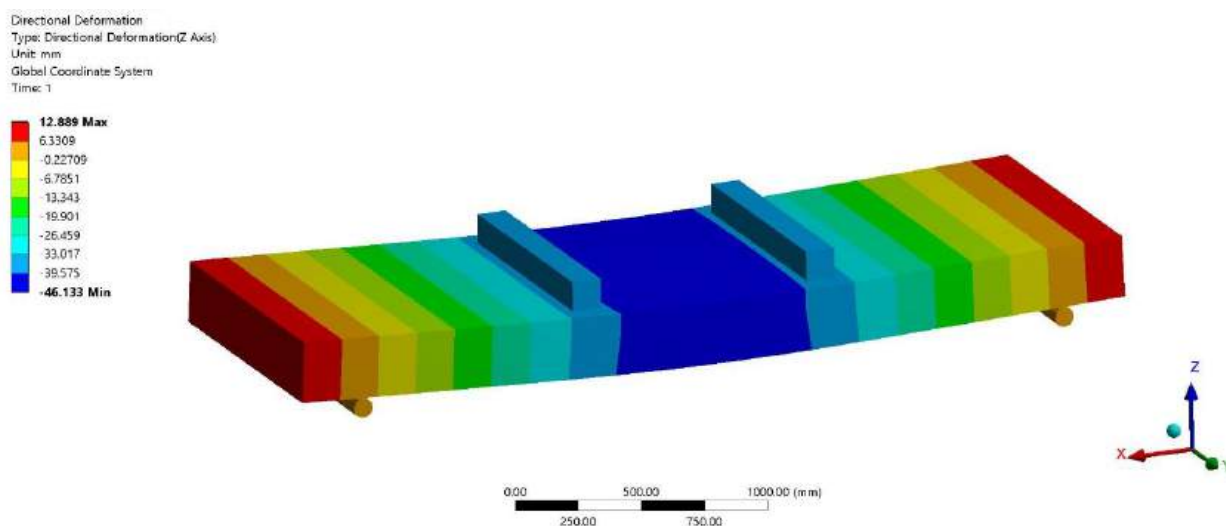


Slika 5.97: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 37,2 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,61 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 18,6 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 105,52 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 39,82 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 104,8 kN i pri tom je progib plošnog nosača 46,13 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.98, dok je na slici 5.99 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.99 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



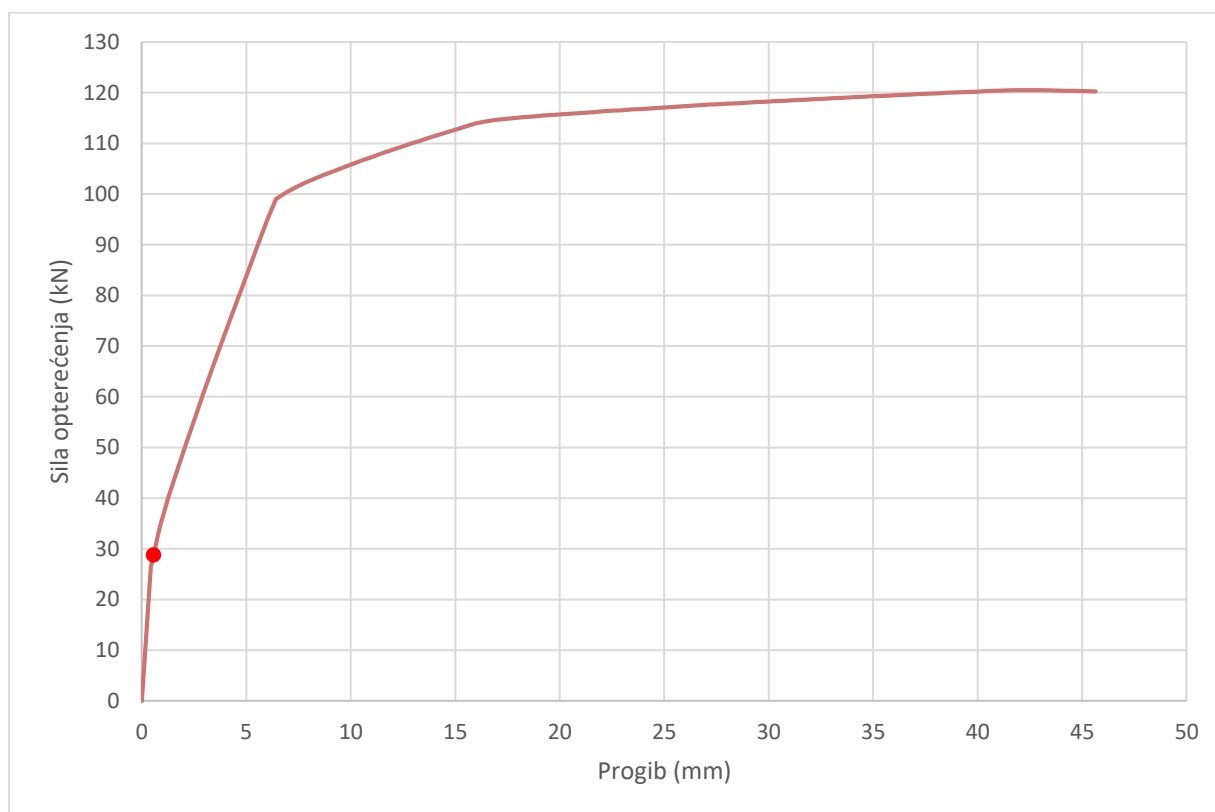
Slika 5.98: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45



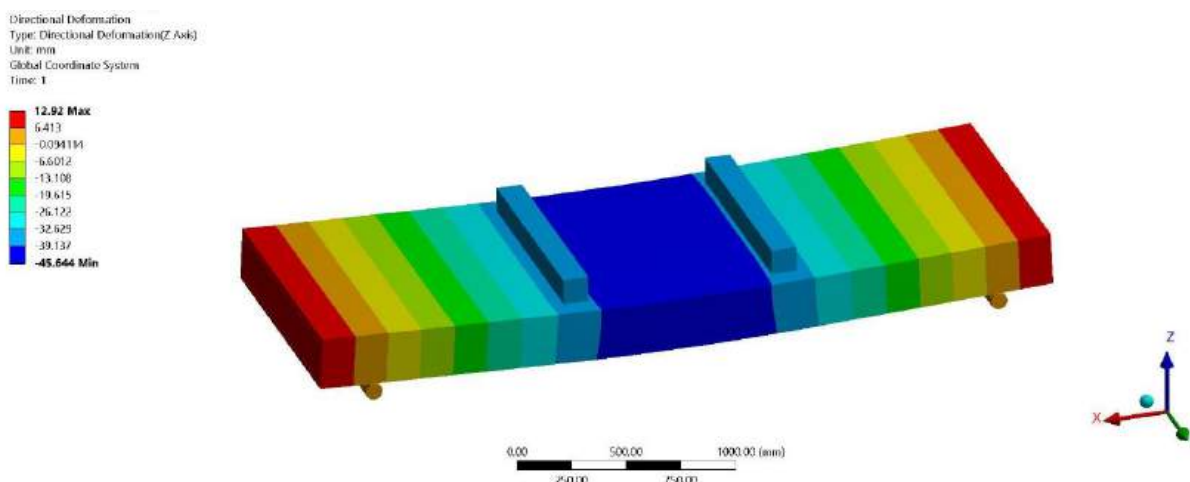
Slika 5.99: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 28,84 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,57 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 14,42 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 120,49 kN i pri tom

opterećenju progib plošnog nosača je 42,22 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 120,25 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,64 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.100, dok je na slici 5.101 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.101 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

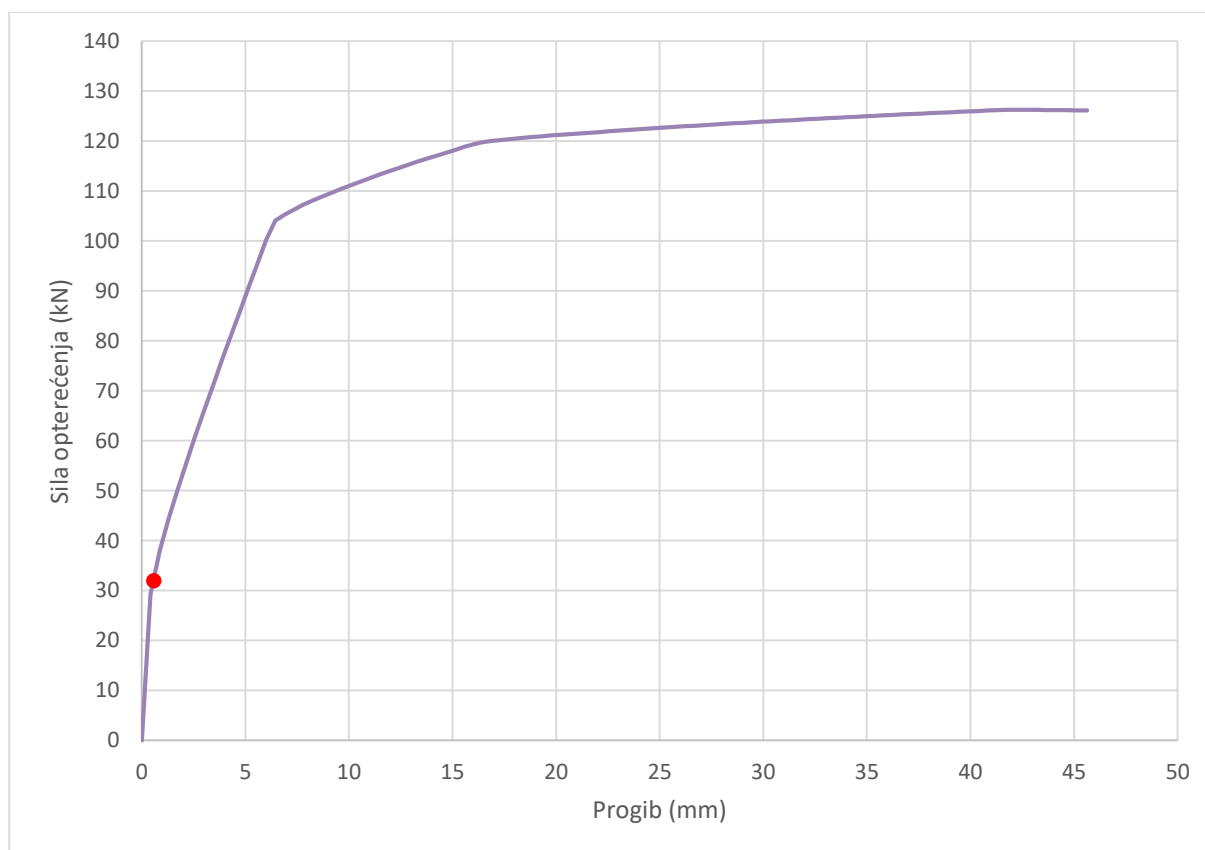


Slika 5.100: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30

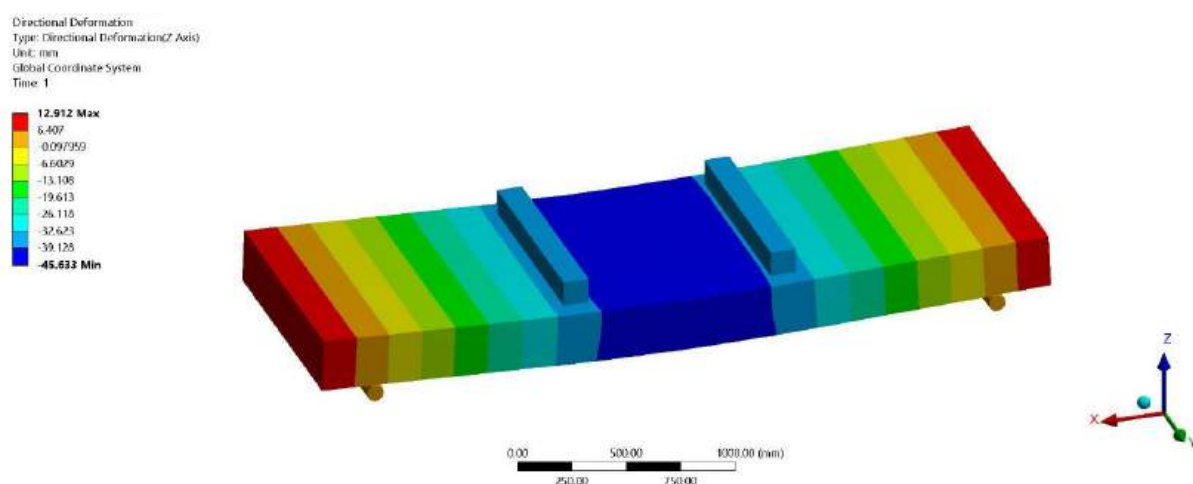


Slika 5.101: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 31,96 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,58 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 15,98 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 126,26 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 42,49 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 126,11 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,63 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.102, dok je na slici 5.103 prikazana simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.103 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

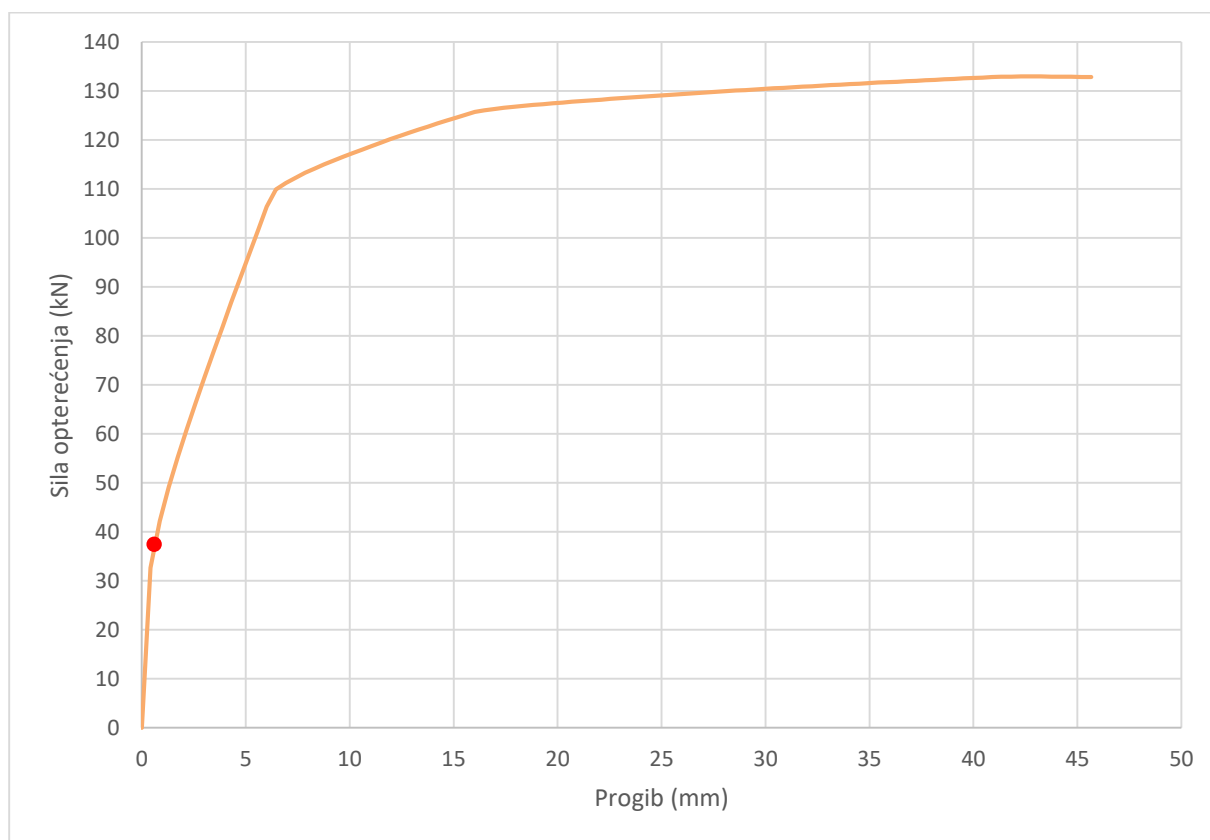


Slika 5.102: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37

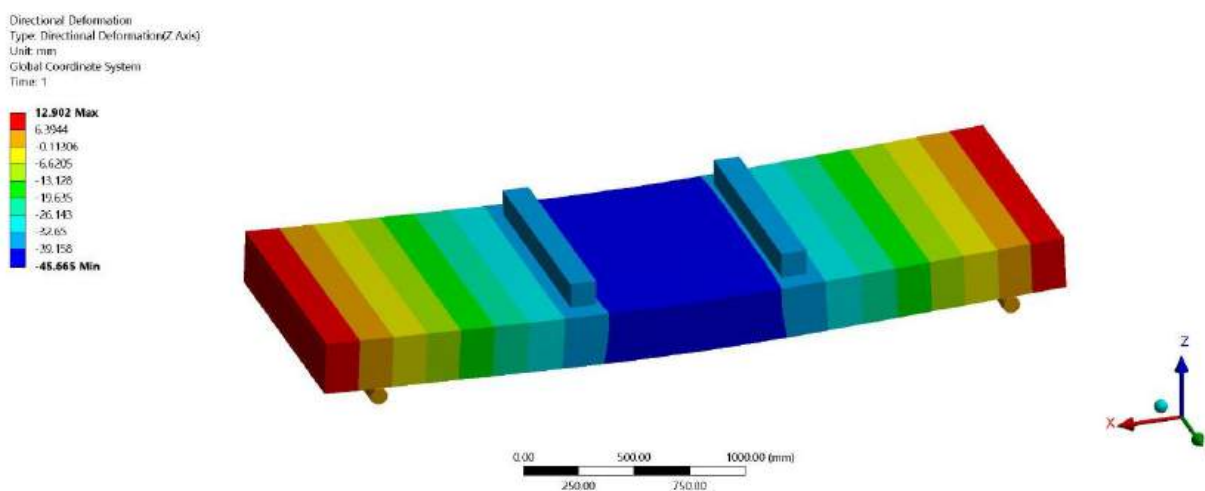


Slika 5.103: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 37,46 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,6 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 18,73 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 132,94 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 42,78 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 132,8 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,67 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.104, dok je na slici 5.105 prikazana je simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.105 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

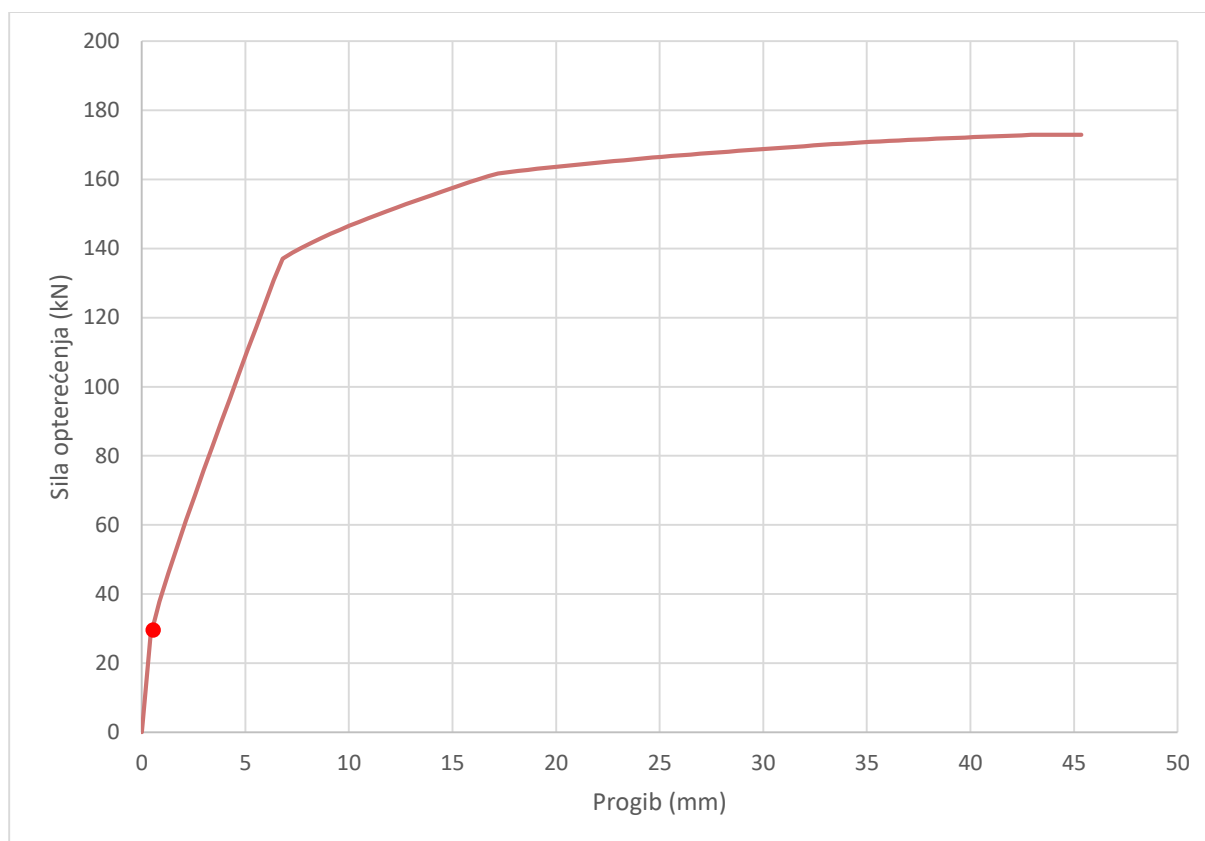


Slika 5.104: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45

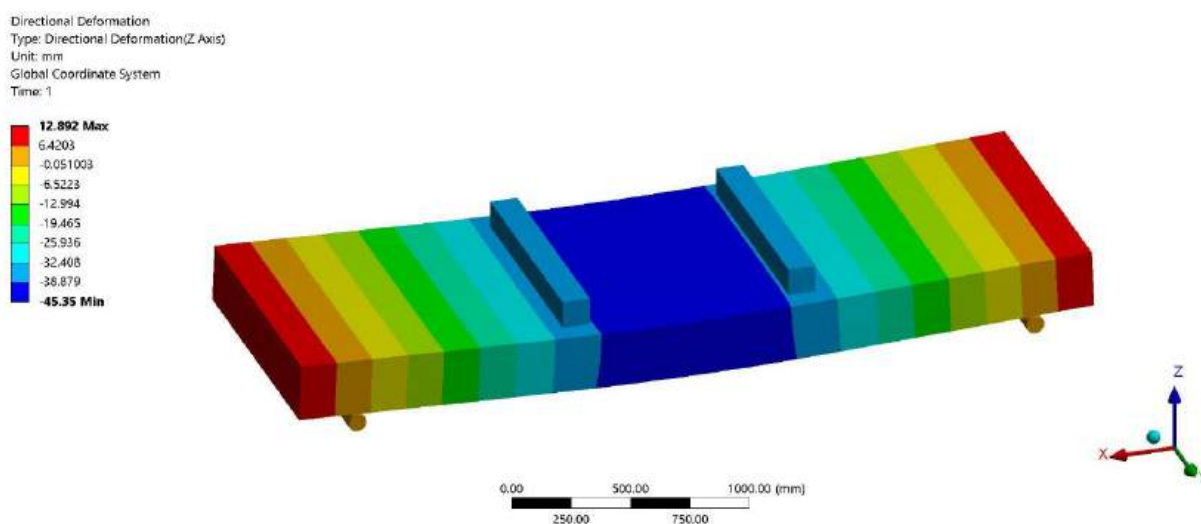


Slika 5.105: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45

Kod plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 29,54 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,55 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 14,77 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 172,95 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 43,64 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 172,89 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,35 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.106, dok je na slici 5.107 prikazana je simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.107 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

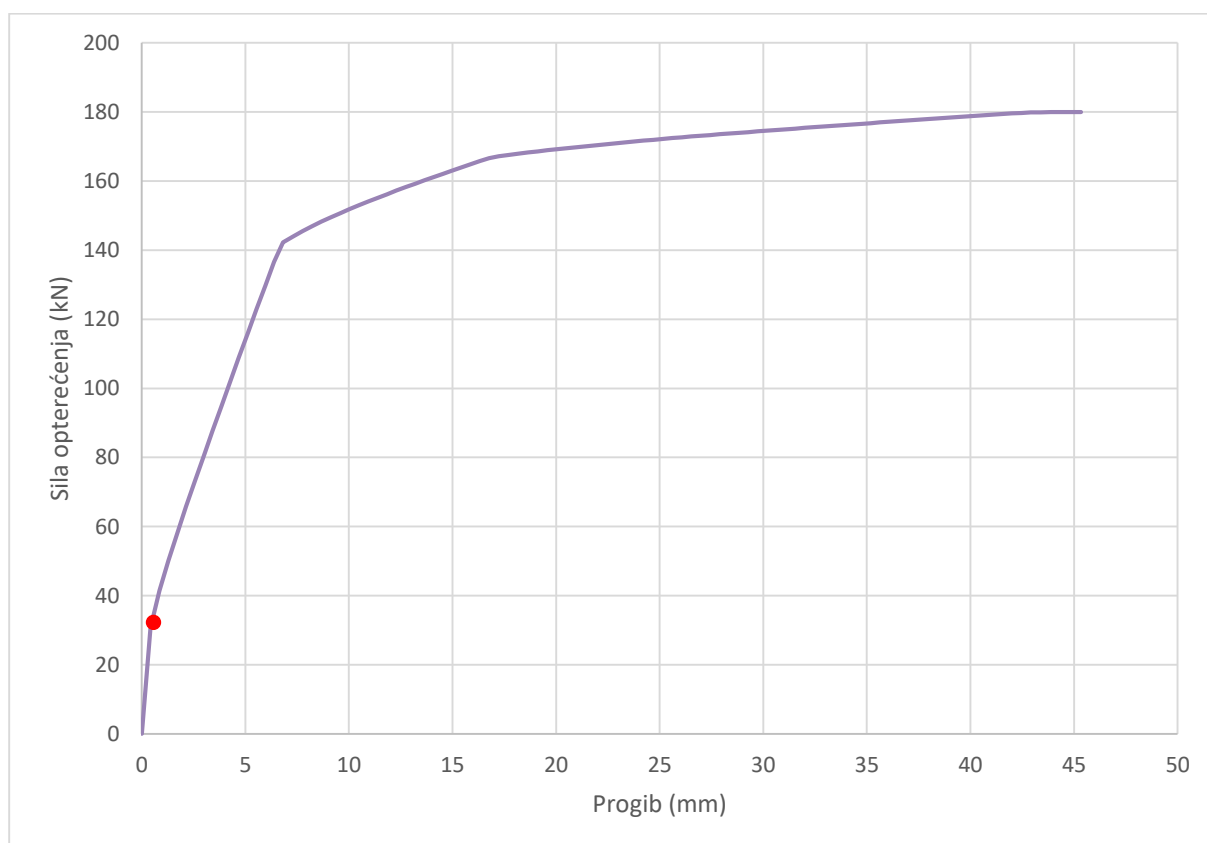


Slika 5.106: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30

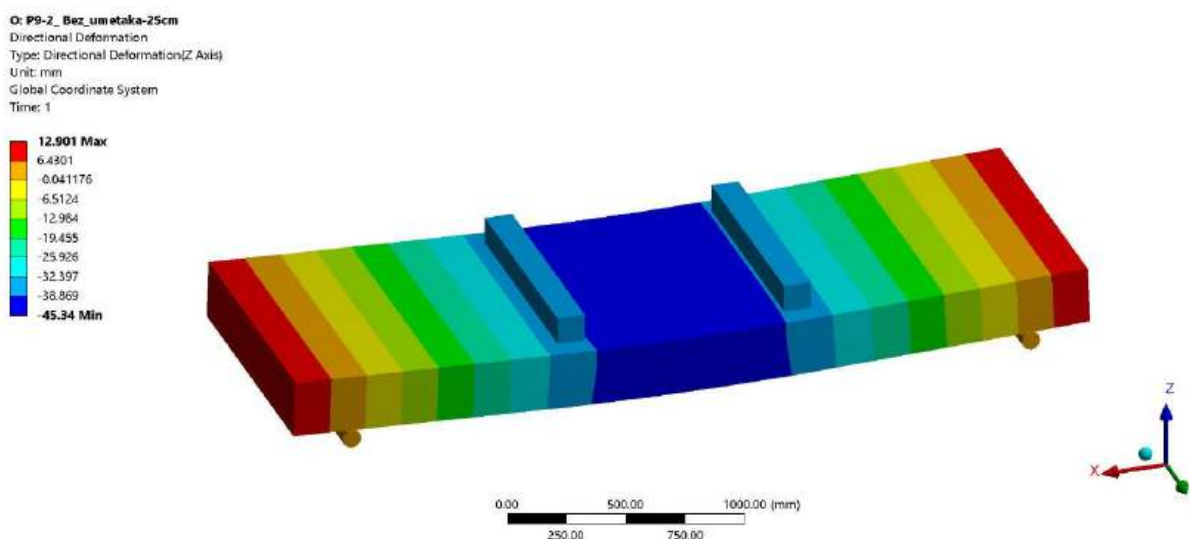


Slika 5.107: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30

Kod plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 32,24 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,56 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 16,12 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 179,97 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 44,85 mm. Otkazivanje nosivosti događa se pri ukupnoj sili od 179,96 kN i pri tom je progib plošnog nosača 45,34 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.108, dok je na slici 5.109 prikazana je simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.109 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.

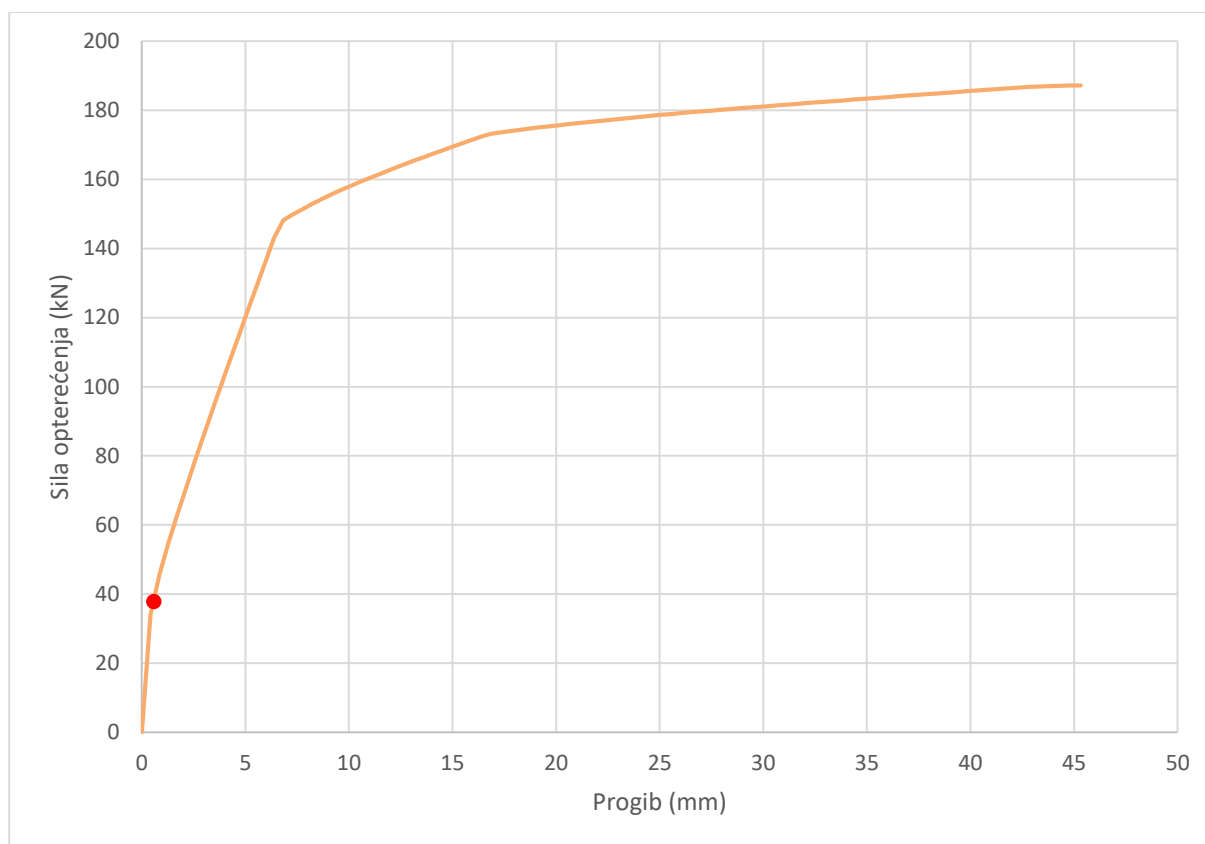


Slika 5.108: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37

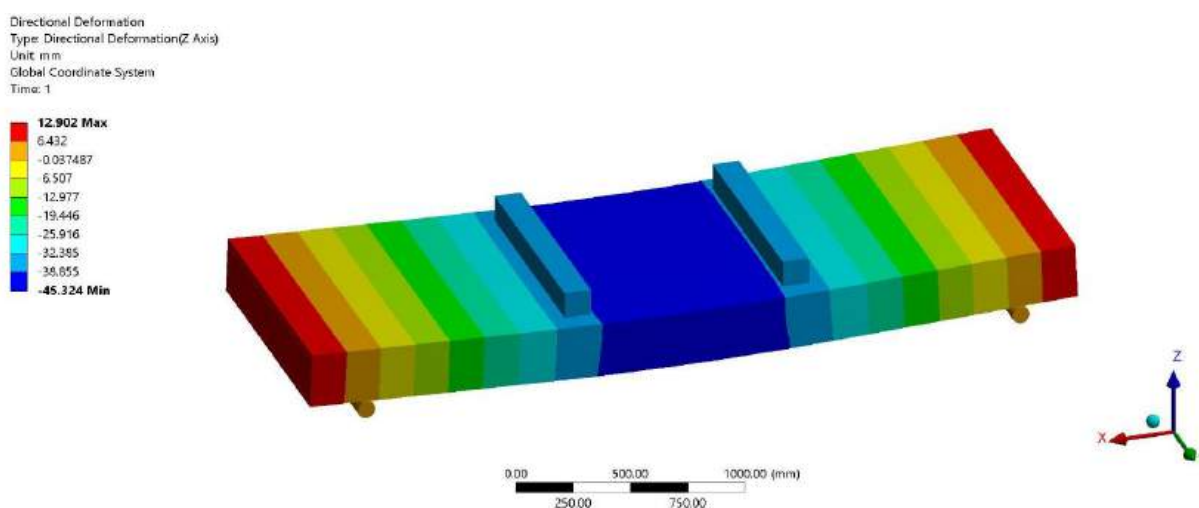


Slika 5.109: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37

Kod plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45 pojava prve pukotine javlja se pri ukupnom opterećenju od 37,84 kN i pri tom opterećenju srednji progib plošnog nosača je 0,59 mm. Moment pri pojavi prve pukotine je 18,92 kNm. Maksimalna nosivost tog plošnog nosača događa se pri opterećenju od 187,22 kN i pri tom opterećenju progib plošnog nosača je 45,32 mm. Otkazivanje nosivosti plošnog nosača događa se pri maksimalnoj nosivosti, znači pri opterećenju od 187,22 kN i progibu 45,32 mm. Dijagram sila-progib koji opisuje ponašanje plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45 tijekom opterećenja prikazan je na slici 5.110, dok je na slici 5.111 prikazana je simulacija ponašanja plošnog nosača tijekom opterećenja. Prikazani su također progibi na pojedinim dijelovima plošnog nosača. Svaka boja predstavlja određeni raspon progiba. Sa slike 5.111 vidi se kako se najveći progib događa na sredini plošnog nosača.



Slika 5.110: Dijagram ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45

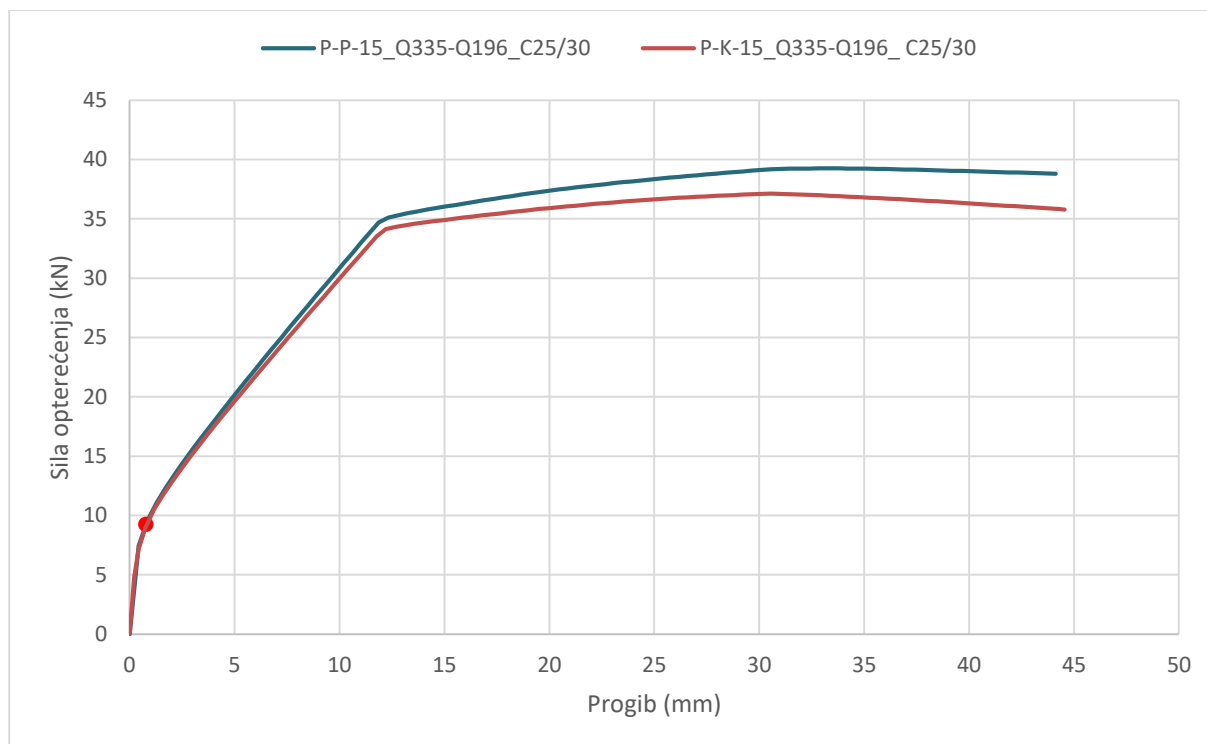


Slika 5.111: Simulacija ponašanja plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45

5.3.2 Usporedba plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima s plošnim nosačima bez mikrovalnih rezonatora

Uspoređeni su i analizirani plošni nosači jednake debljine, armature i klase betona, ali u jedne plošne nosače su ugrađeni čelični mikrovalni rezonatori, dok u druge nisu. Svrha ove točke je procjena utjecaja mikrovalnih rezonatora na nosivost plošnih nosača na savijanje.

Plošni nosač P-P-15_Q335-Q196_C25/30 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q335-Q196_C25/30 ima 1,06 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 1,09 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30. Na slici 5.112 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 i P-K-15_Q335-Q196_C25/30, dok je u tablici 5.3 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 i P-K-15_Q335-Q196_C25/30.



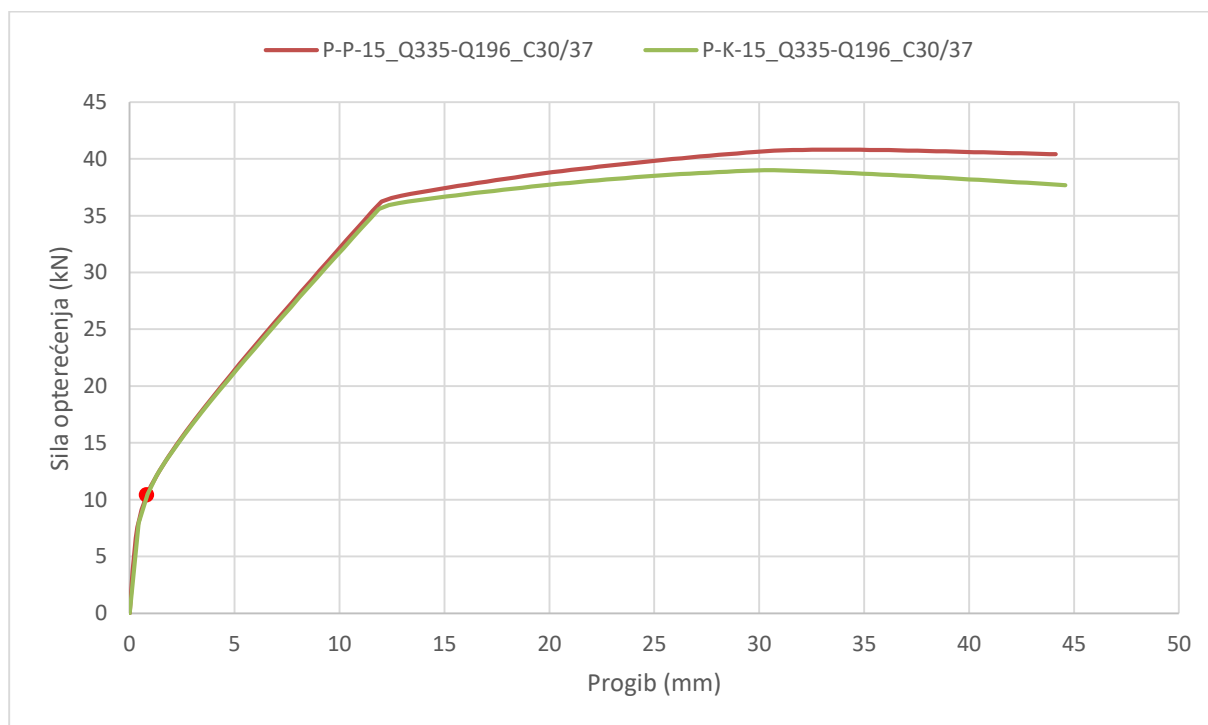
Slika 5.112: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 i P-K-15_Q335-Q196_C25/30

Tablica 5.3: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 i P-K-15_Q335-Q196_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C25/30	4,62	0,78	39,26	33,3
P-K-15_Q335-Q196_C25/30	4,61	0,78	37,12	30,55

Plošni nosač P-P-15_Q335-Q196_C30/37 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q335-Q196_C30/37 ima 1,05 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 1,11 puta

veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37. Na slici 5.113 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 i P-K-15_Q335-Q196_C30/37, dok je u tablici 5.4 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 i P-K-15_Q335-Q196_C30/37.

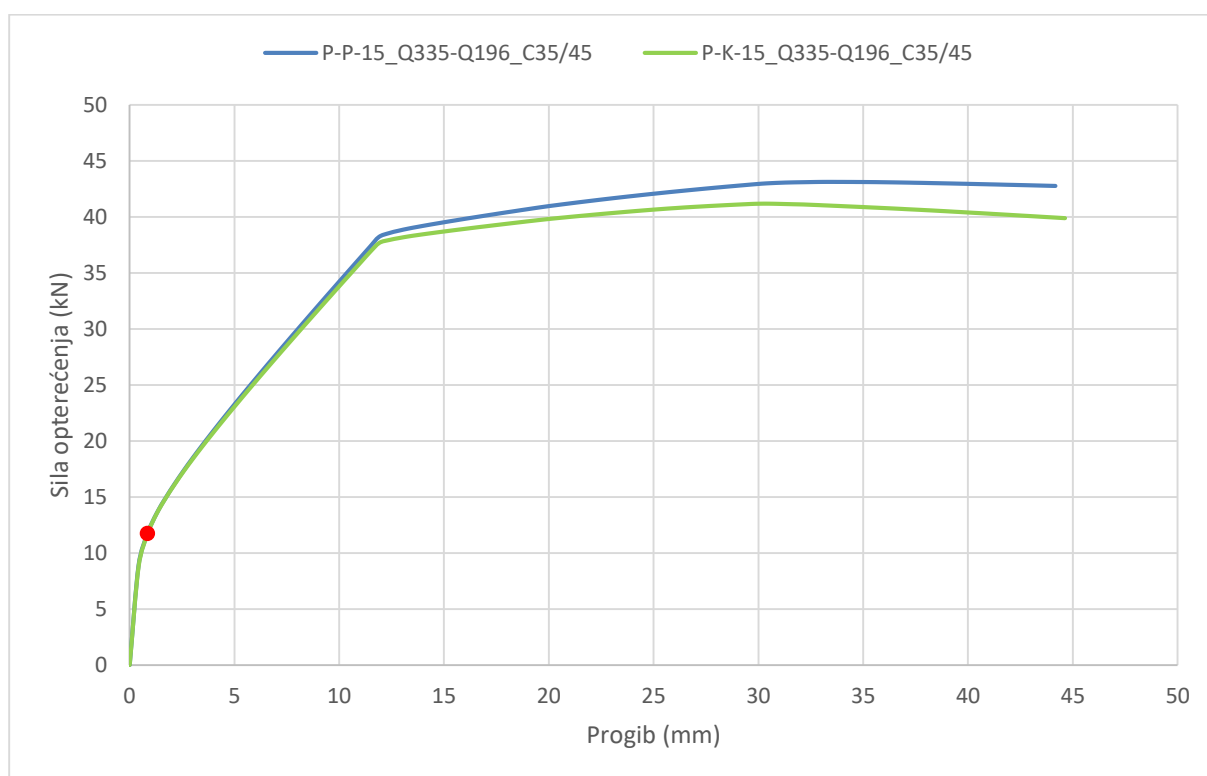


Slika 5.113: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 i P-K-15_Q335-Q196_C30/37

Tablica 5.4: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 i P-K-15_Q335-Q196_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C30/37	5,22	0,81	40,82	33,45
P-K-15_Q335-Q196_C30/37	5,21	0,81	39	30,24

Plošni nosač P-P-15_Q335-Q196_C35/45 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q335-Q196_C35/45 ima 1,05 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 1,1 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45. Na slici 5.114 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 i P-K-15_Q335-Q196_C35/45, dok je u tablici 5.5 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 i P-K-15_Q335-Q196_C35/45.

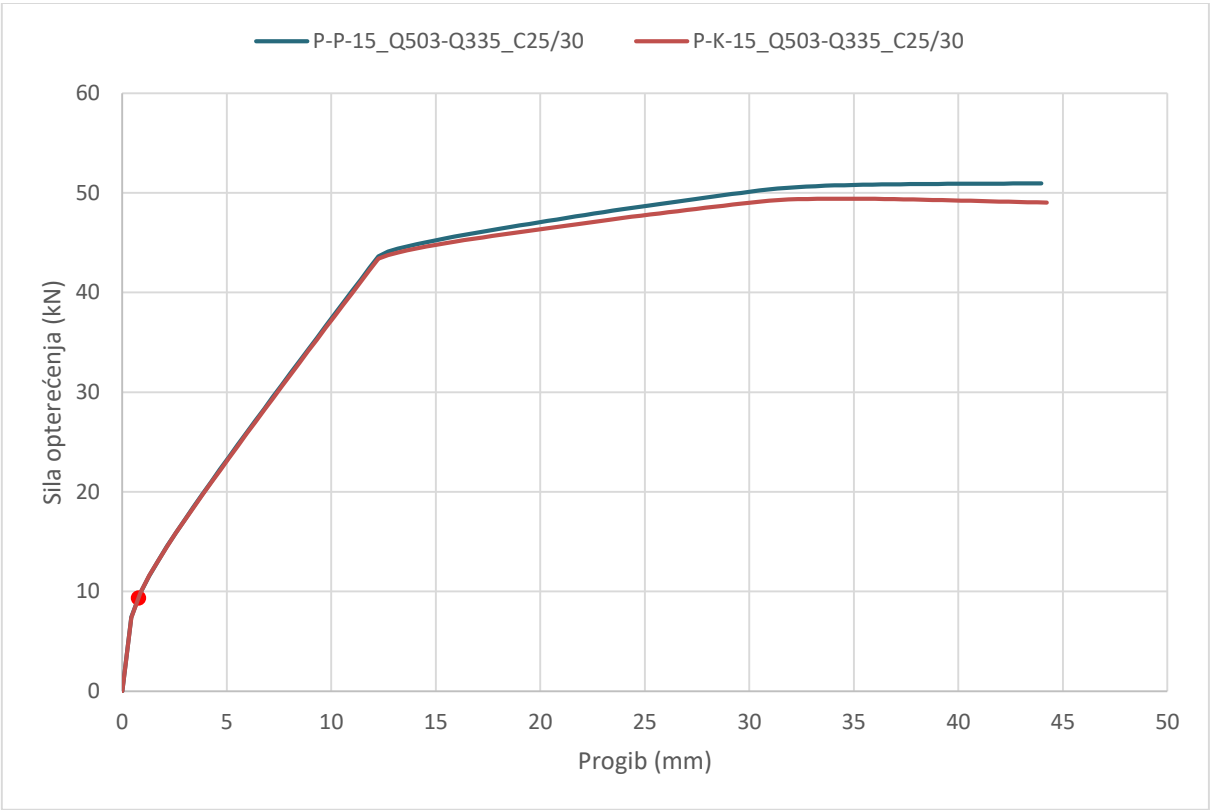


Slika 5.114: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 i P-K-15_Q335-Q196_C35/45

Tablica 5.5: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 i P-K-15_Q335-Q196_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C35/45	5,87	0,85	43,12	33,34
P-K-15_Q335-Q196_C35/45	5,86	0,85	41,19	30,29

Plošni nosač P-P-15_Q503-Q335_C25/30 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q503-Q335_C25/30 ima 1,03 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 1,26 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30. Na slici 5.115 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 i P-K-15_Q503-Q335_C25/30, dok je u tablici 5.6 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 i P-K-15_Q503-Q335_C25/30.



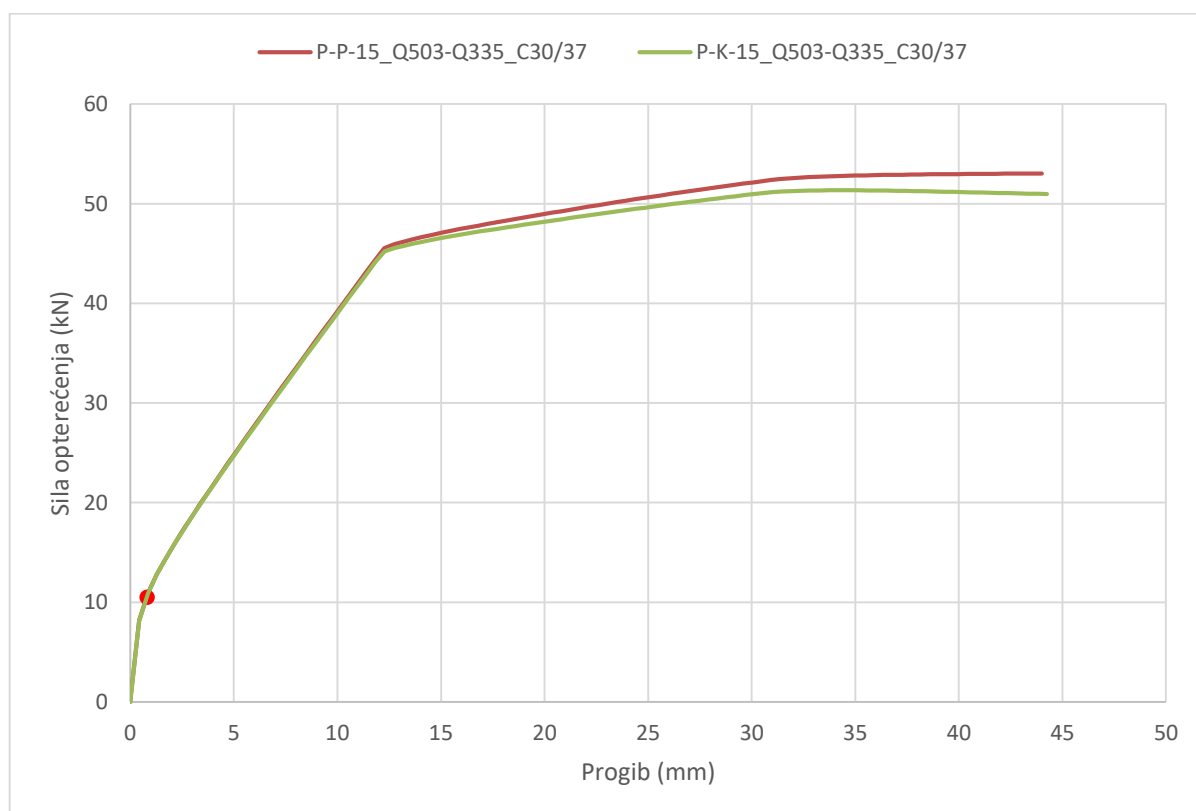
Slika 5.115: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 i P-K-15_Q503-Q335_C25/30

Tablica 5.6: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 i P-K-15_Q503-Q335_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q503-Q335_C25/30	4,66	0,77	50,94	43,08
P-K-15_Q503-Q335_ C25/30	4,65	0,77	49,43	34,17

Plošni nosač P-P-15_Q503-Q335_C30/37 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q503-Q335_C30/37 ima 1,03 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37, dok je

progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 1,28 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37. Na slici 5.116 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 i P-K-15_Q503-Q335_C30/37, dok je u tablici 5.7 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 i P-K-15_Q503-Q335_C30/37.

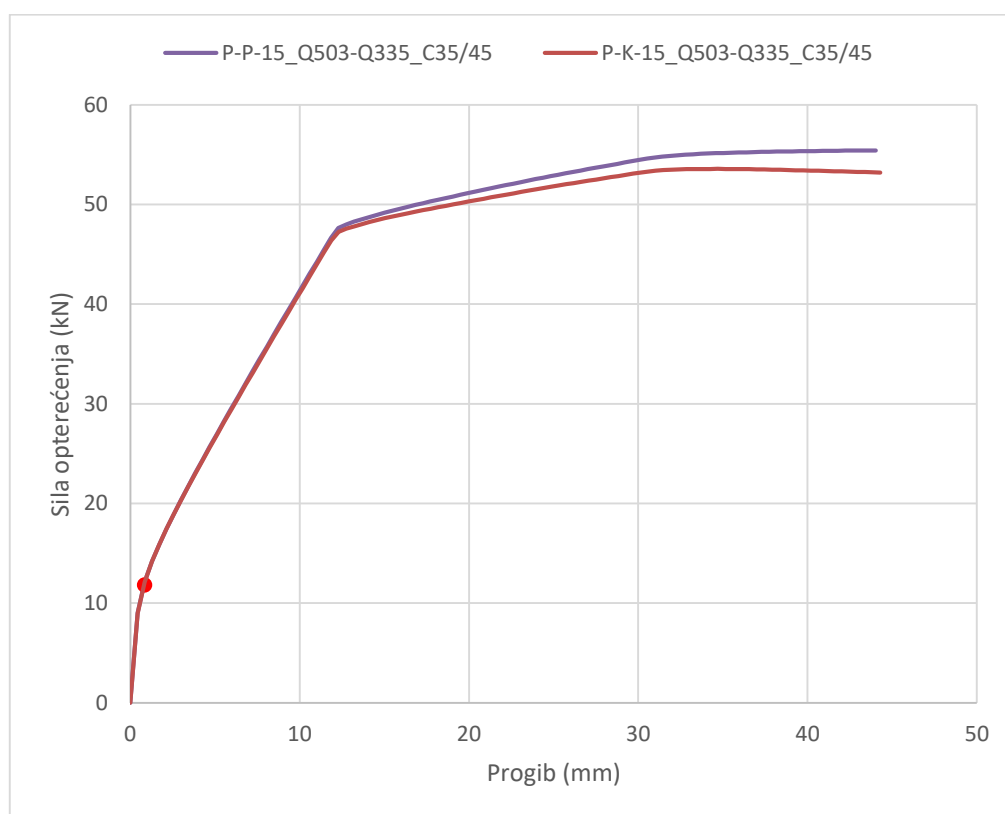


Slika 5.116: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 i P-K-15_Q503-Q335_C30/37

Tablica 5.7: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 i P-K-15_Q503-Q335_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q503-Q335_C30/37	5,26	0,8	53,02	44
P-K-15_Q503-Q335_C30/37	5,25	0,8	51,35	34,43

Plošni nosač P-P-15_Q503-Q335_C35/45 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q503-Q335_C35/45 ima 1,03 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 1,27 puta veći/manji od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45. Na slici 5.117 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 i P-K-15_Q503-Q335_C35/45, dok je u tablici 5.8 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 i P-K-15_Q503-Q335_C35/45.

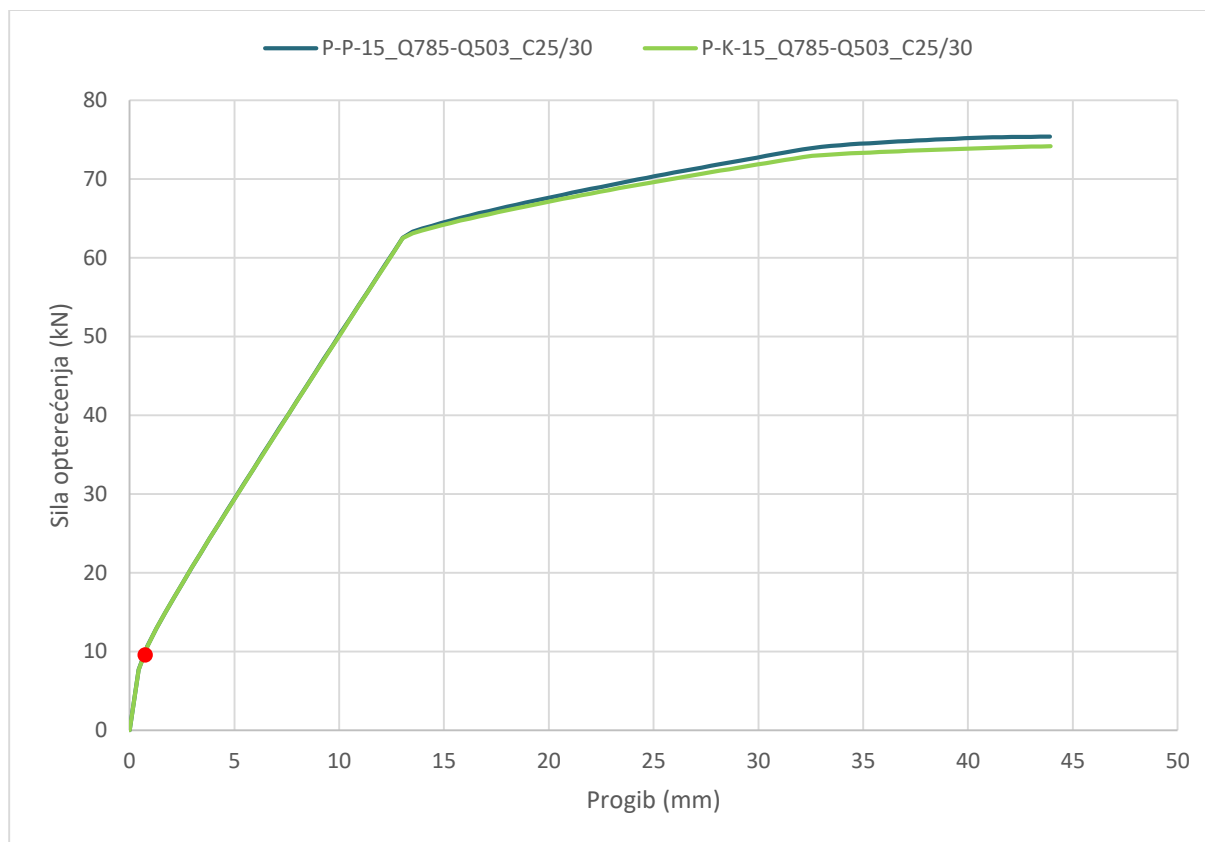


Slika 5.117: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 i P-K-15_Q503-Q335_C35/45

Tablica 5.8: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 i P-K-15_Q503-Q335_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q503-Q335_C35/45	5,91	0,84	55,43	44,03
P-K-15_Q503-Q335_C35/45	5,9	0,84	53,57	34,7

Plošni nosač P-P-15_Q785-Q503_C25/30 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q785-Q503_C25/30 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30. Na slici 5.118 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 i P-K-15_Q785-Q503_C25/30, dok je u tablici 5.9 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 i P-K-15_Q785-Q503_C25/30.



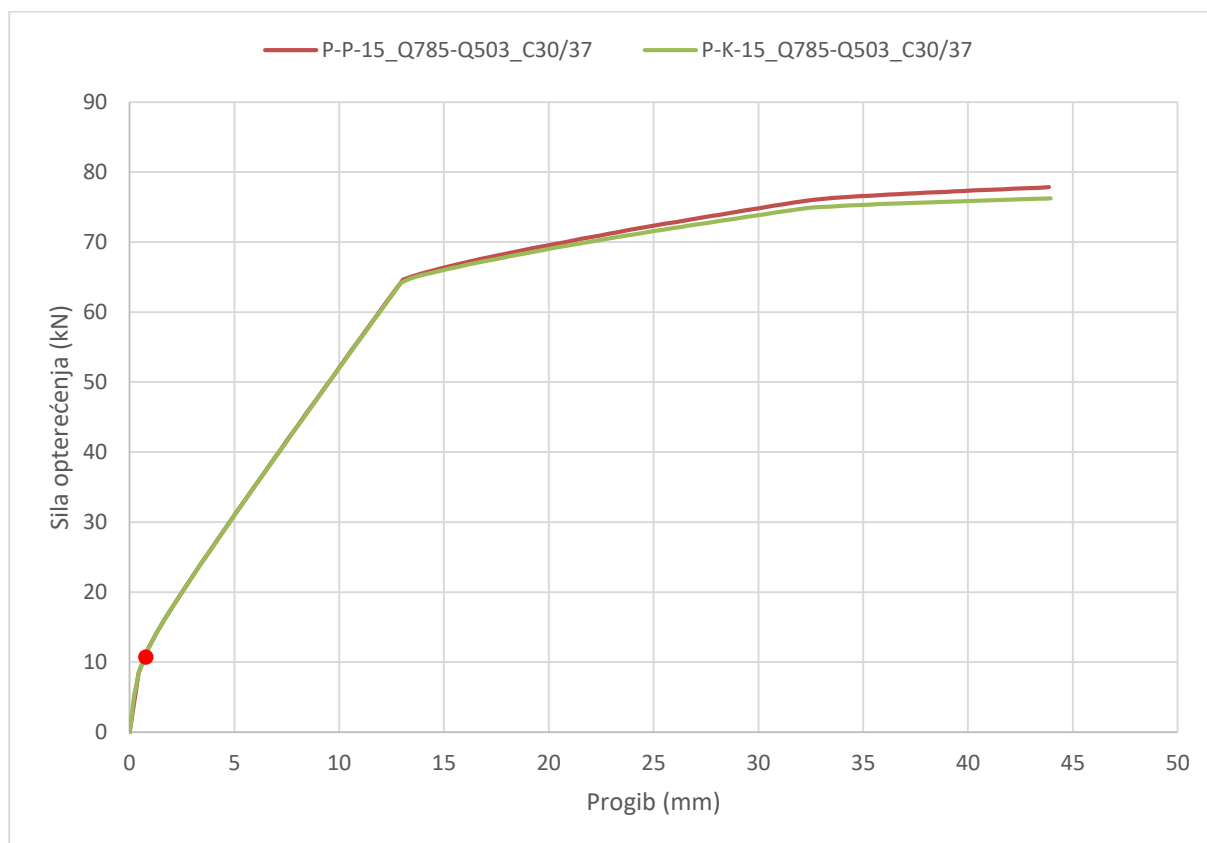
Slika 5.118: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 i P-K-15_Q785-Q503_C25/30

Tablica 5.9: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 i P-K-15_Q785-Q503_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	75,36	43,91
P-K-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	74,15	43,94

Plošni nosač P-P-15_Q785-Q503_C30/37 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q785-Q503_C30/37 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q785-

Q503_C30/37 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37. Na slici 5.119 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 i P-K-15_Q785-Q503_C30/37, dok je u tablici 5.10 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 i P-K-15_Q785-Q503_C30/37.

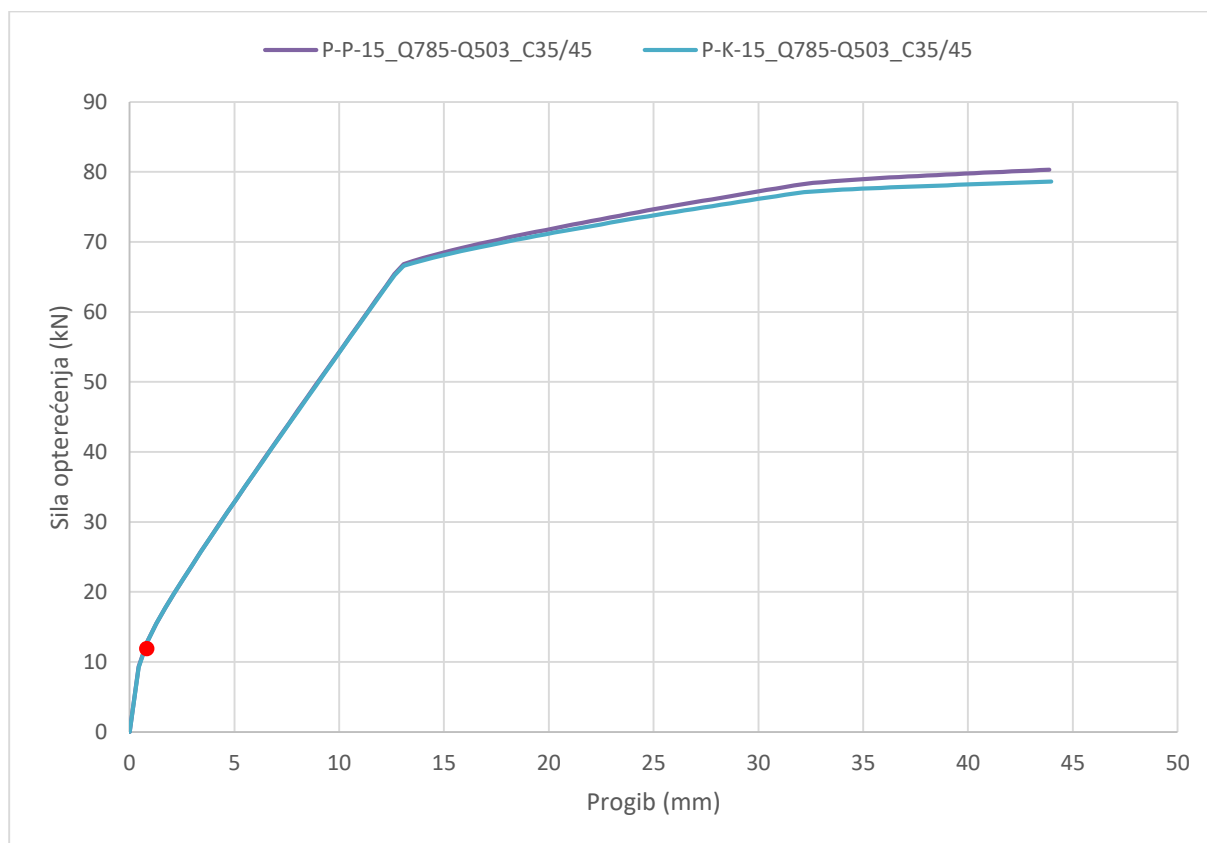


Slika 5.119: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 i P-K-15_Q785-Q503_C30/37

Tablica 5.10: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 i P-K-15_Q785-Q503_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	77,83	43,86
P-K-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	76,25	43,94

Plošni nosač P-P-15_Q785-Q503_C35/45 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-15_Q785-Q503_C35/45 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45. Na slici 5.120 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 i P-K-15_Q785-Q503_C35/45, dok je u tablici 5.11 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 i P-K-15_Q785-Q503_C35/45.

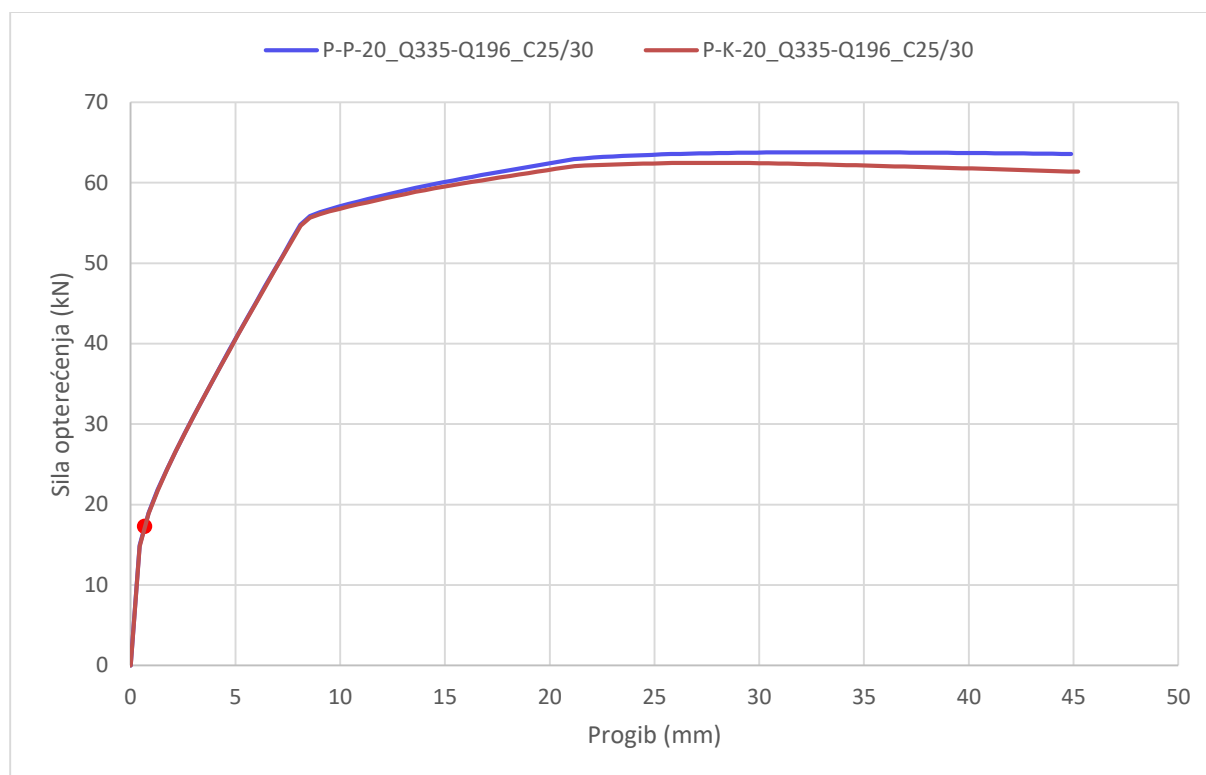


Slika 5.120: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 i P-K-15_Q785-Q503_C35/45

Tablica 5.11: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 i P-K-15_Q785-Q503_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	80,31	43,88
P-K-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	78,61	43,97

Plošni nosač P-P-20_Q335-Q196_C25/30 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q335-Q196_C25/30 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 1,19 puta veći/manji od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30. Na slici 5.121 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 i P-K-20_Q335-Q196_C25/30, dok je u tablici 5.12 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 i P-K-20_Q335-Q196_C25/30.



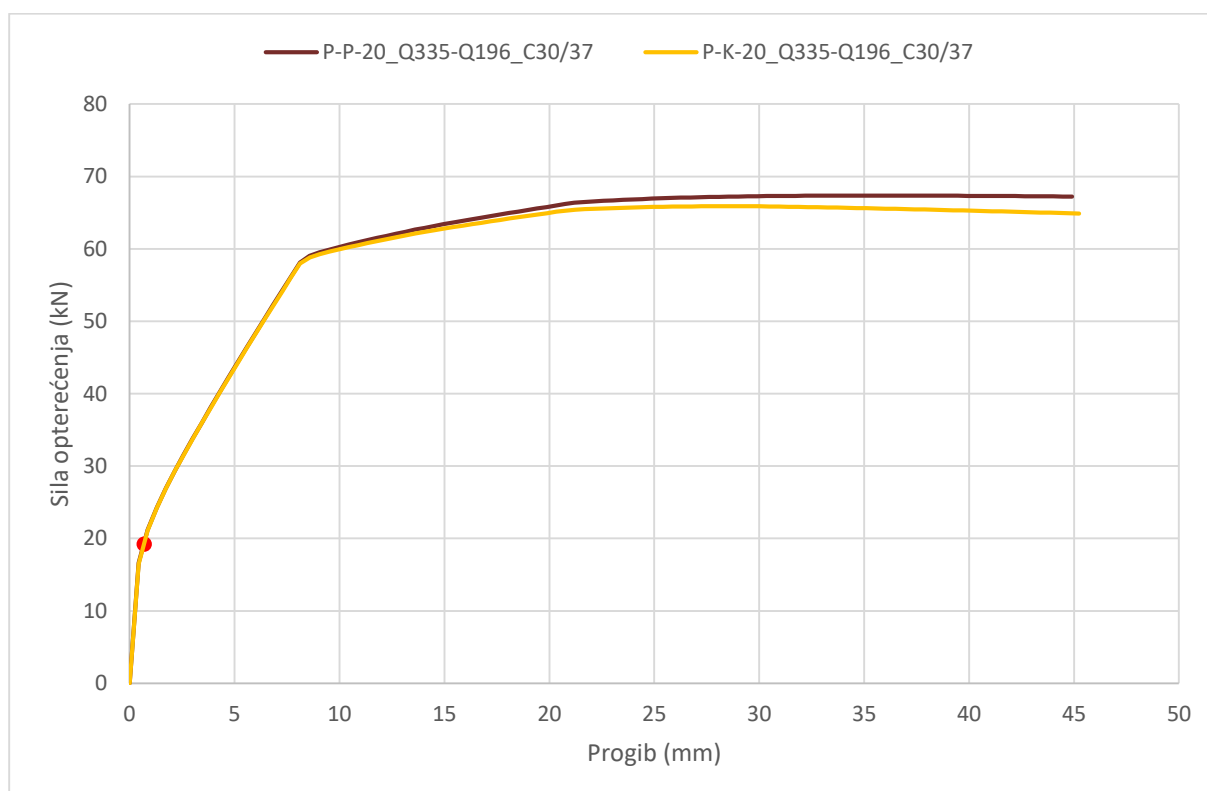
Slika 5.121: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 i P-K-20_Q335-Q196_C25/30

Tablica 5.12: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 i P-K-20_Q335-Q196_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q335-Q196_C25/30	8,63	0,67	63,77	33,3
P-K-20_Q335-Q196_C25/30	8,62	0,67	62,47	27,91

Plošni nosač P-P-20_Q335-Q196_C30/37 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q335-Q196_C30/37 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37, dok je

progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 1,24 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37. Na slici 5.122 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 i P-K-20_Q335-Q196_C30/37, dok je u tablici 5.13 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 i P-K-20_Q335-Q196_C30/37.

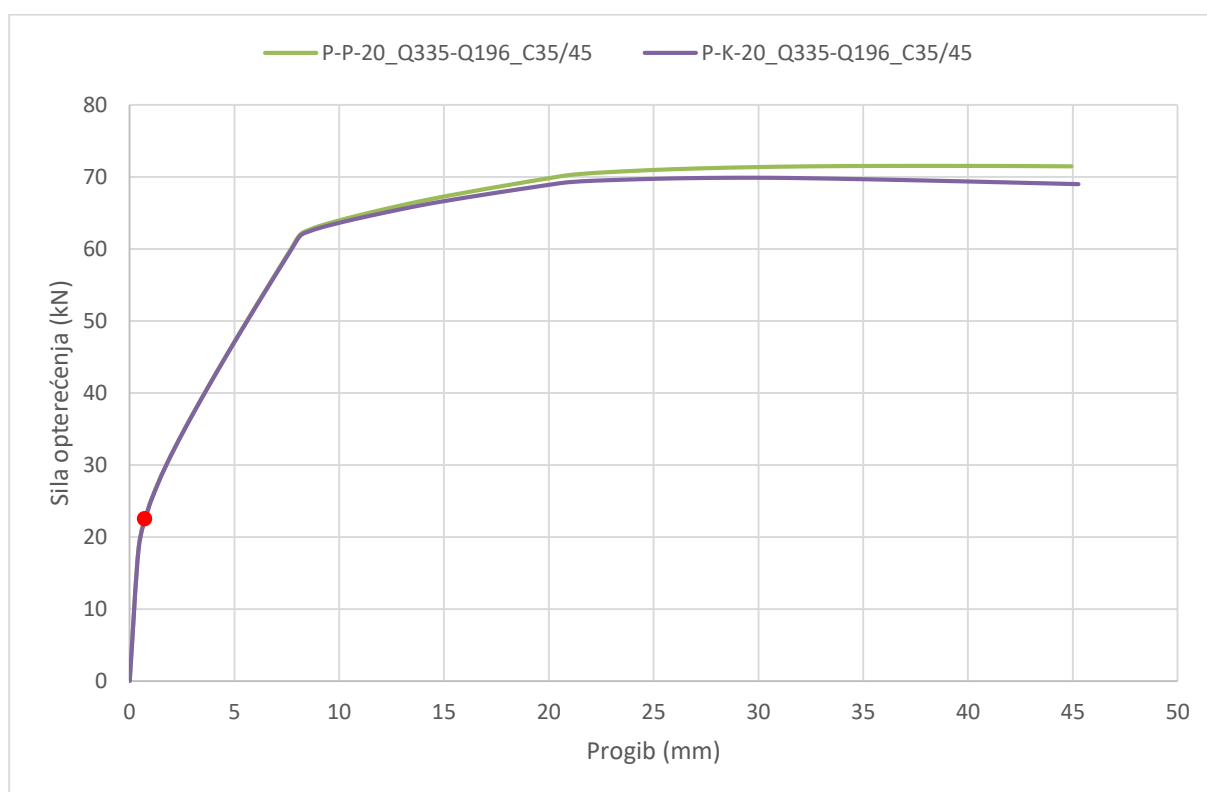


Slika 5.122: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 i P-K-20_Q335-Q196_C30/37

Tablica 5.13: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 i P-K-20_Q335-Q196_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q335-Q196_C30/37	9,62	0,69	67,35	35,37
P-K-20_Q335-Q196_C30/37	9,61	0,69	65,89	28,63

Plošni nosač P-P-20_Q335-Q196_C35/45 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q335-Q196_C35/45 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 1,29 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45. Na slici 5.123 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 i P-K-20_Q335-Q196_C35/45, dok je u tablici 5.14 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 i P-K-20_Q335-Q196_C35/45.

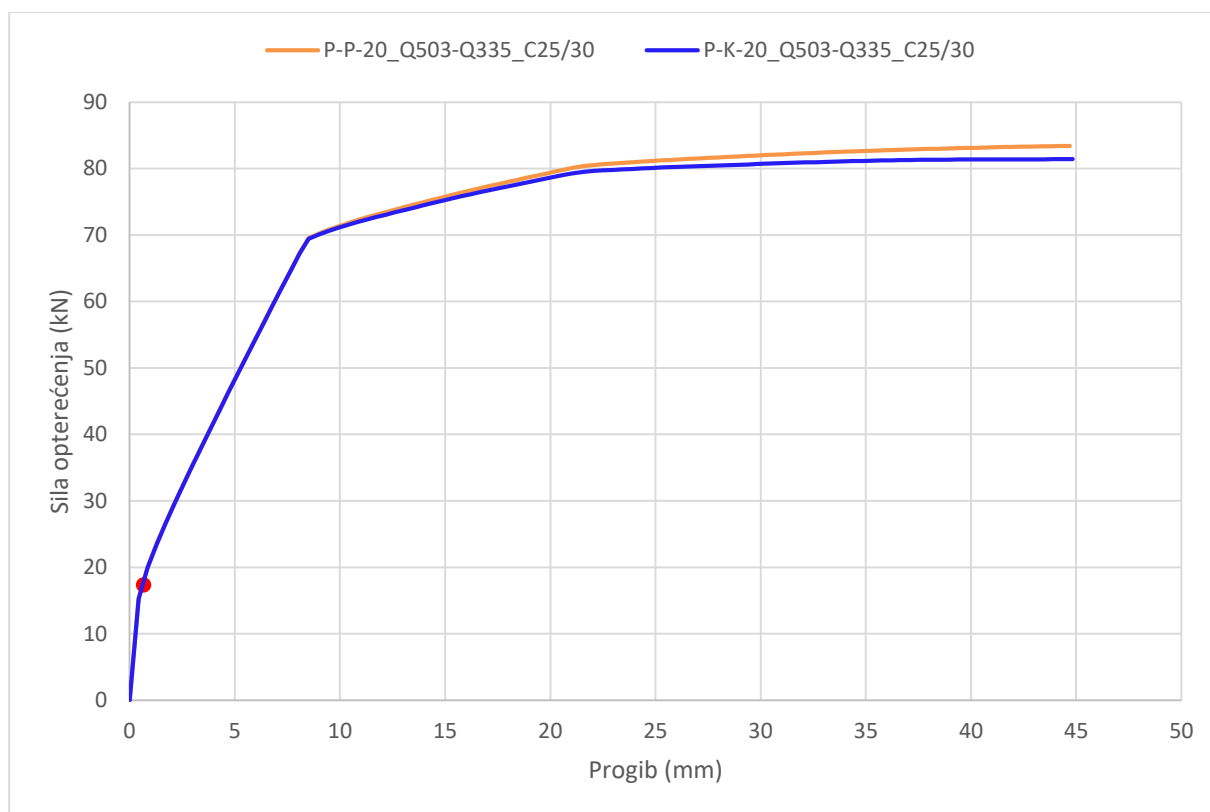


Slika 5.123: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 i P-K-20_Q335-Q196_C35/45

Tablica 5.14: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 i P-K-20_Q335-Q196_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q335-Q196_C35/45	11,26	0,72	71,53	38,12
P-K-20_Q335-Q196_C35/45	11,25	0,72	69,87	29,58

Plošni nosač P-P-20_Q503-Q335_C25/30 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q503-Q335_C25/30 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30. Na slici 5.124 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 i P-K-20_Q503-Q335_C25/30, dok je u tablici 5.15 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 i P-K-20_Q503-Q335_C25/30.



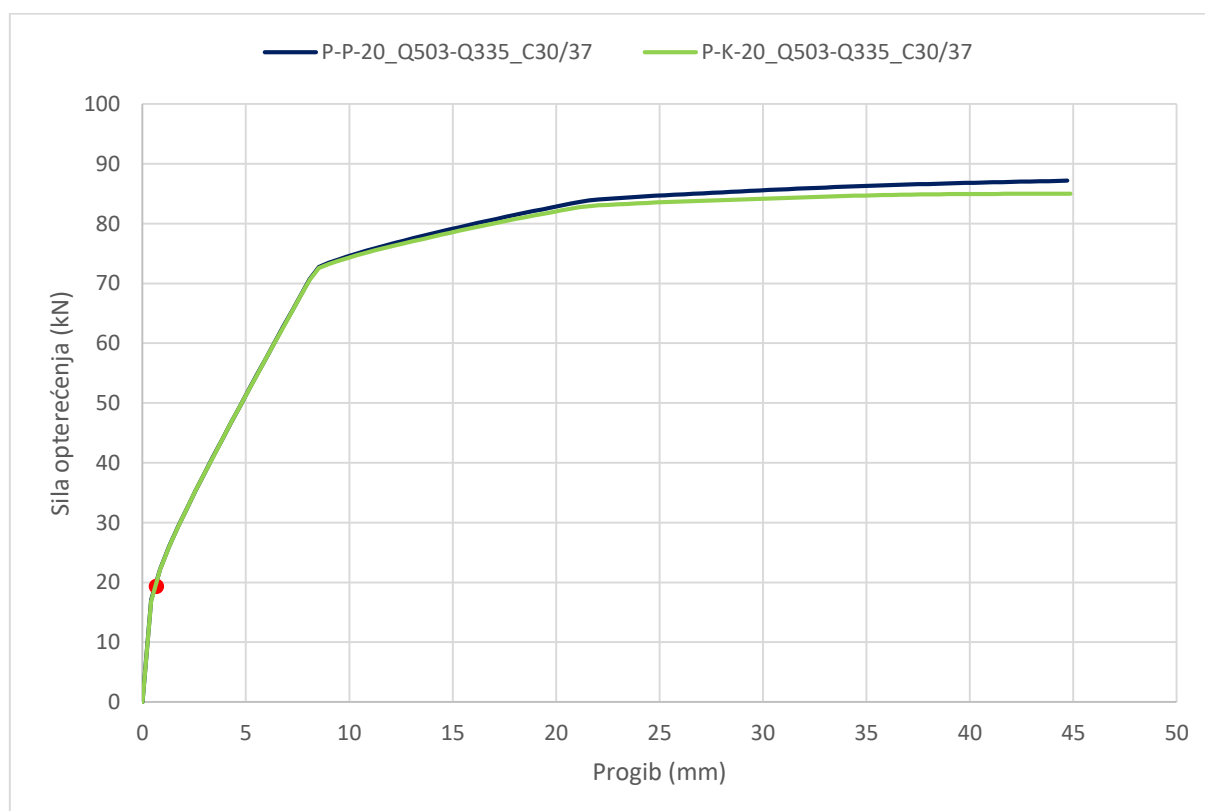
Slika 5.124: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 i P-K-20_Q503-Q335_C25/30

Tablica 5.15: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 i P-K-20_Q503-Q335_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q503-Q335_C25/30	8,67	0,66	83,43	44,69
P-K-20_Q503-Q335_C25/30	8,66	0,66	81,42	44,83

Plošni nosač P-P-20_Q503-Q335_C30/37 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q503-Q335_C30/37 ima 1,03 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37, dok je

progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37. Na slici 5.125 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 i P-K-20_Q503-Q335_C30/37, dok je u tablici 5.16 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 i P-K-20_Q503-Q335_C30/37.

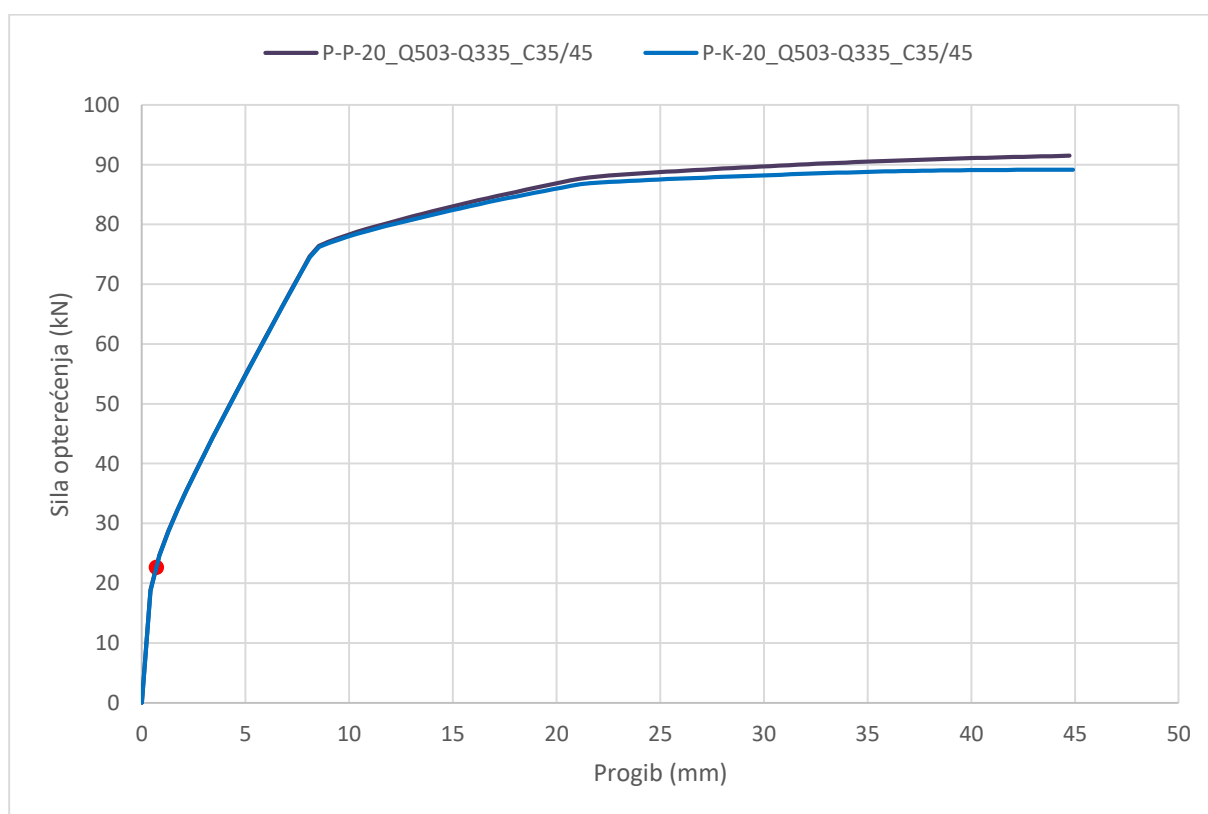


Slika 5.125: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 i P-K-20_Q503-Q335_C30/37

Tablica 5.16: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 i P-K-20_Q503-Q335_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q503-Q335_C30/37	9,67	0,68	87,18	44,71
P-K-20_Q503-Q335_C30/37	9,66	0,68	85,01	44,87

Plošni nosač P-P-20_Q503-Q335_C35/45 ima moment pri pojavi prve pukotine gotovo jednak momentu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q503-Q335_C35/45 ima 1,03 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45. Na slici 5.126 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 i P-K-20_Q503-Q335_C35/45, dok je u tablici 5.17 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 i P-K-20_Q503-Q335_C35/45.

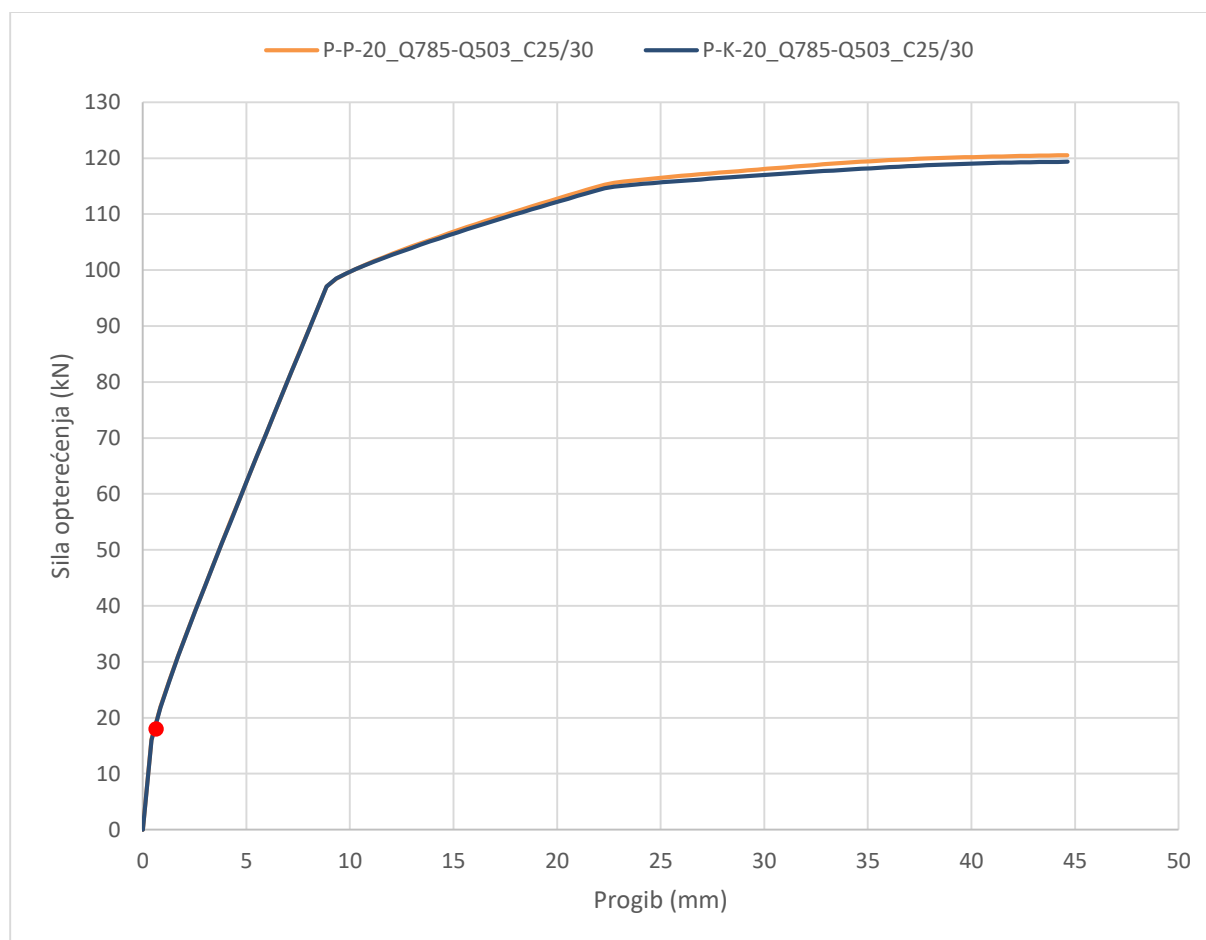


Slika 5.126: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 i P-K-20_Q503-Q335_C35/45

Tablica 5.17: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 i P-K-20_Q503-Q335_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q503-Q335_C35/45	11,3	0,71	91,49	44,74
P-K-20_Q503-Q335_C35/45	11,29	0,71	89,18	44,91

Plošni nosač P-P-20_Q785-Q503_C25/30 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q785-Q503_C25/30 ima 1,01 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30. Na slici 5.127 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 i P-K-20_Q785-Q503_C25/30, dok je u tablici 5.18 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 i P-K-20_Q785-Q503_C25/30.



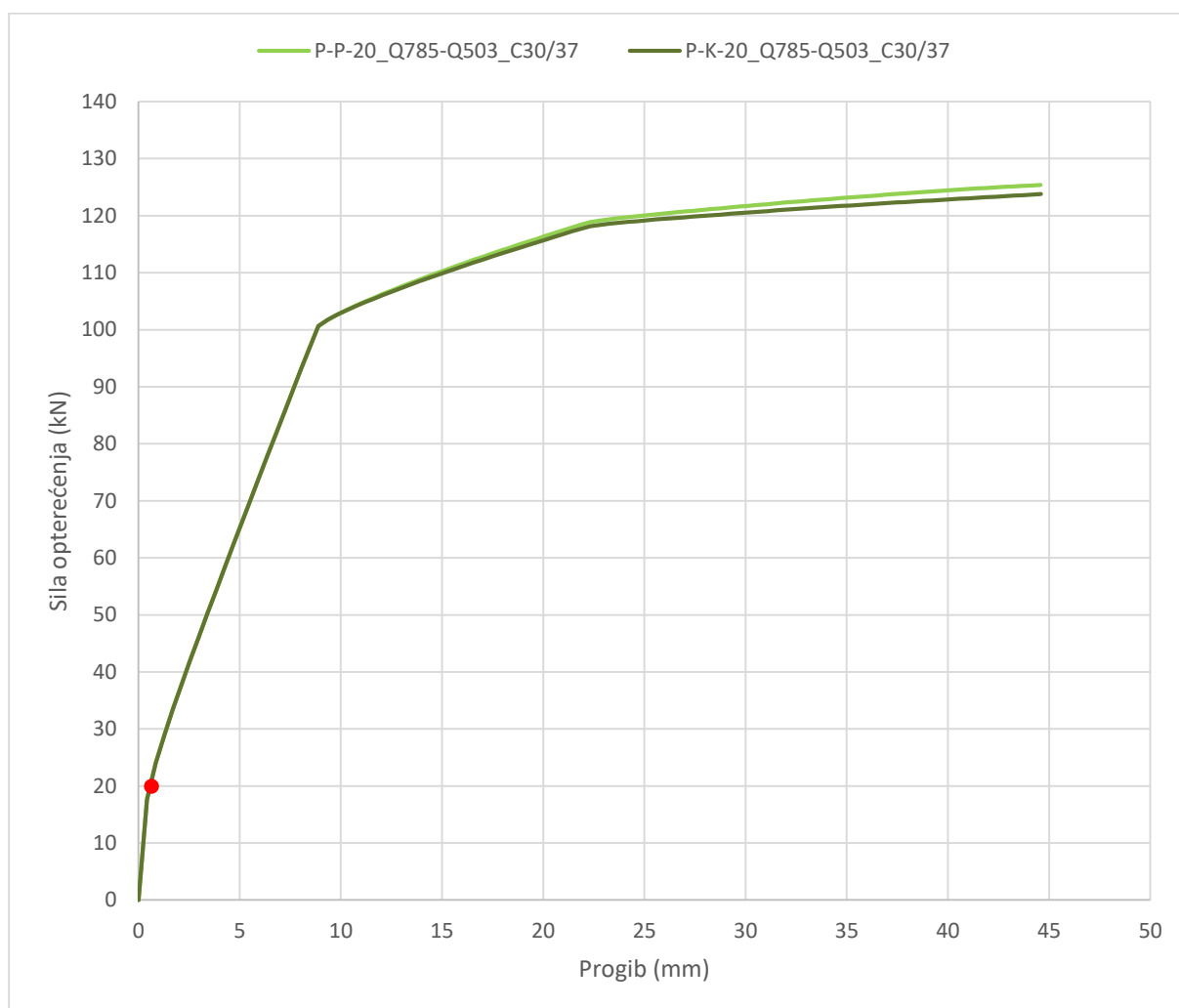
Slika 5.127: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 i P-K-20_Q785-Q503_C25/30

Tablica 5.18: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 i P-K-20_Q785-Q503_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	120,54	44,63
P-K-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	119,38	44,64

Plošni nosač P-P-20_Q785-Q503_C30/37 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q785-Q503_C30/37 ima 1,01

puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37. Na slici 5.128 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37, dok je u tablici 5.19 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37.

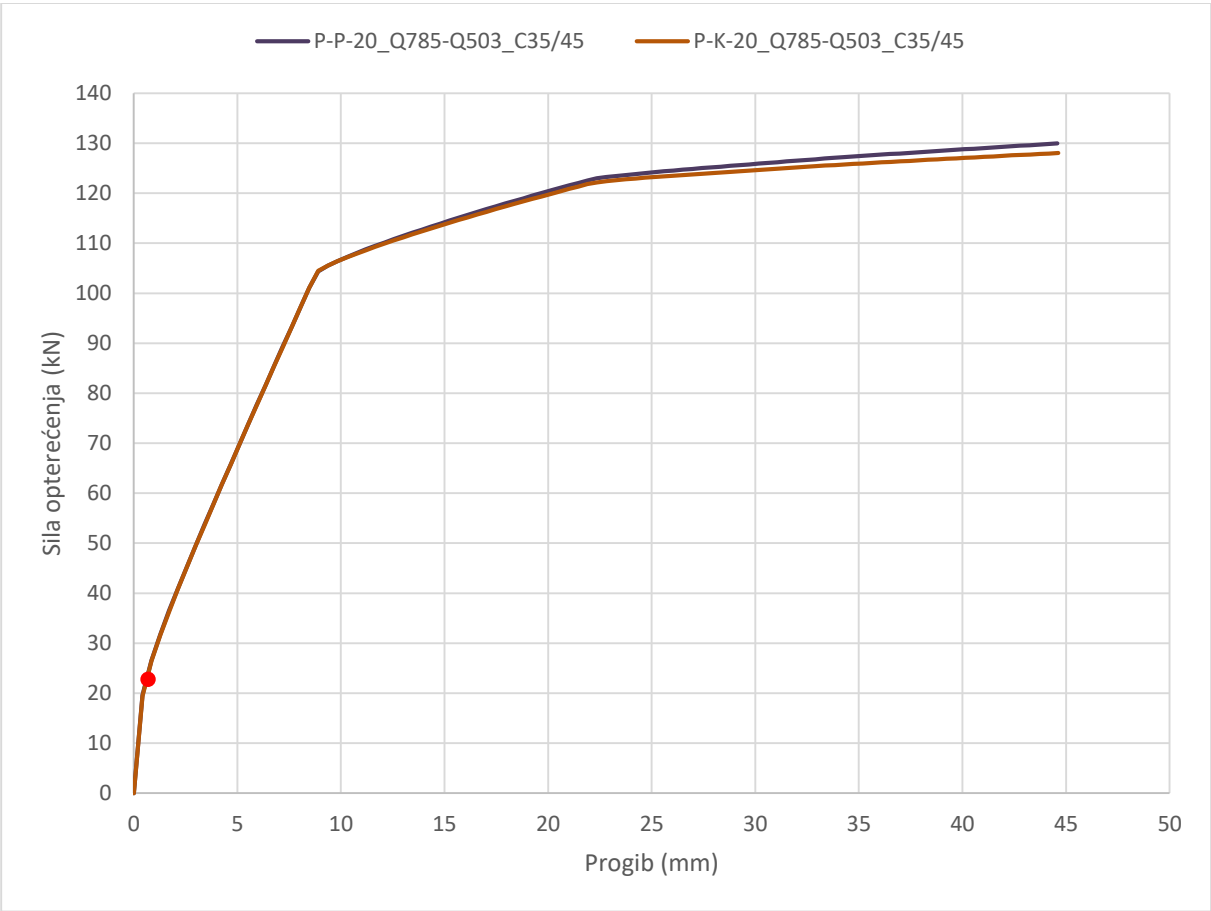


Slika 5.128: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37

Tablica 5.19: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	125,36	44,58
P-K-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	123,78	44,59

Plošni nosač P-P-20_Q785-Q503_C35/45 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-20_Q785-Q503_C35/45 ima 1,01 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45. Na slici 5.129 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 i P-K-20_Q785-Q503_C35/45, dok je u tablici 5.20 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 i P-K-20_Q785-Q503_C35/45.



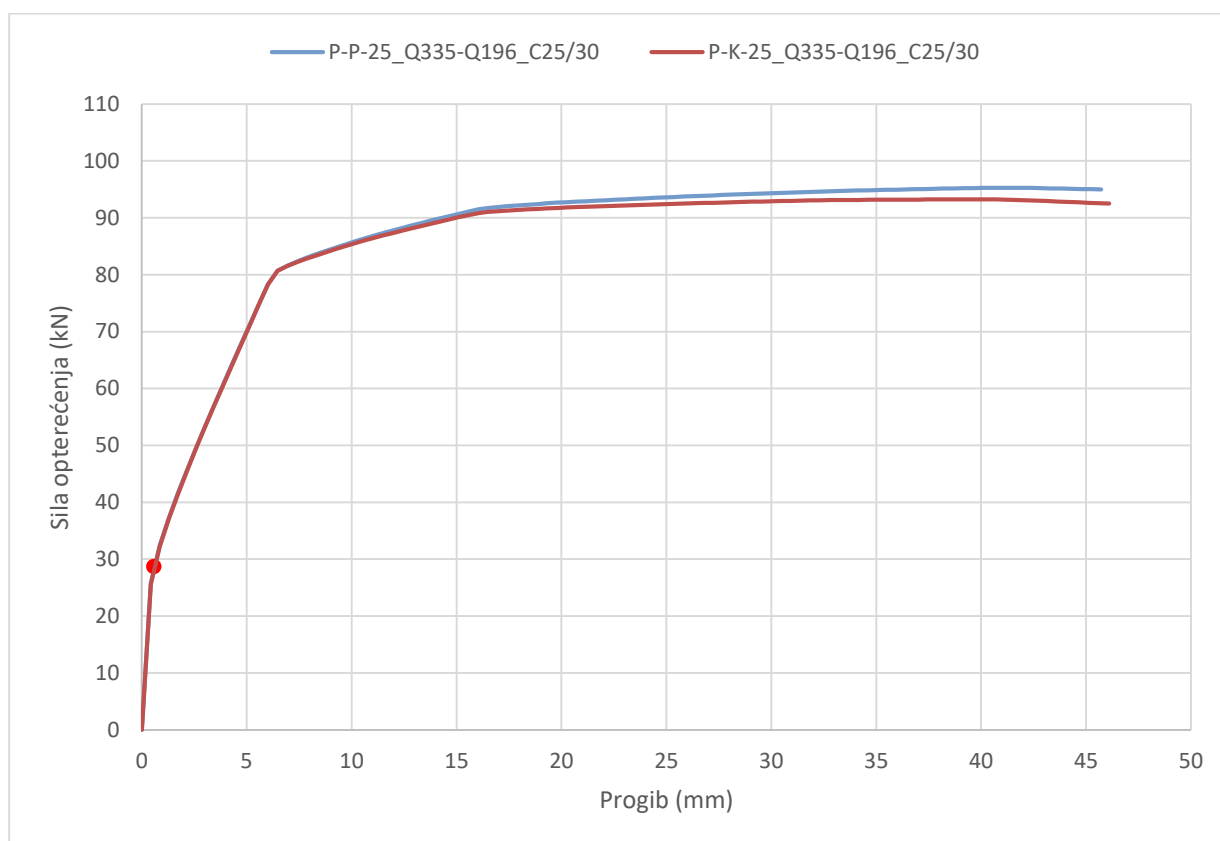
Slika 5.129: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 i P-K-20_Q785-Q503_C35/45

Tablica 5.20: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 i P-K-20_Q785-Q503_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	129,94	44,58
P-K-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	128,04	44,62

Plošni nosač P-P-25_Q335-Q196_C25/30 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30.

Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q335-Q196_C25/30 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 također 1,02 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30. Na slici 5.130 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 i P-K-25_Q335-Q196_C25/30, dok je u tablici 5.21 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 i P-K-25_Q335-Q196_C25/30.

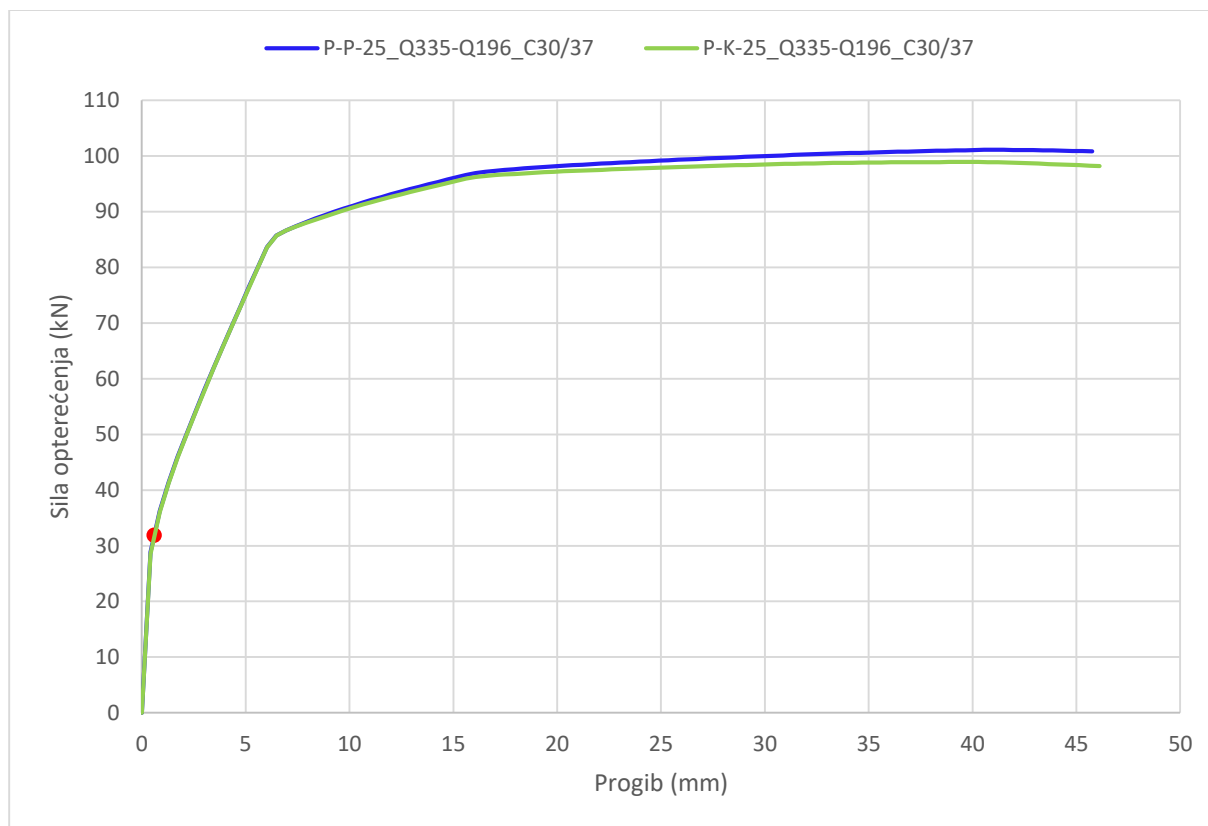


Slika 5.130: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 i P-K-25_Q335-Q196_C25/30

Tablica 5.21: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 i P-K-25_Q335-Q196_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q335-Q196_C25/30	28,76	0,58	95,29	41
P-K-25_Q335-Q196_C25/30	28,74	0,58	93,23	40,25

Plošni nosač P-P-25_Q335-Q196_C30/37 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q335-Q196_C30/37 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 1,04 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37. Na slici 5.131 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 i P-K-25_Q335-Q196_C30/37, dok je u tablici 5.22 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 i P-K-25_Q335-Q196_C30/37.



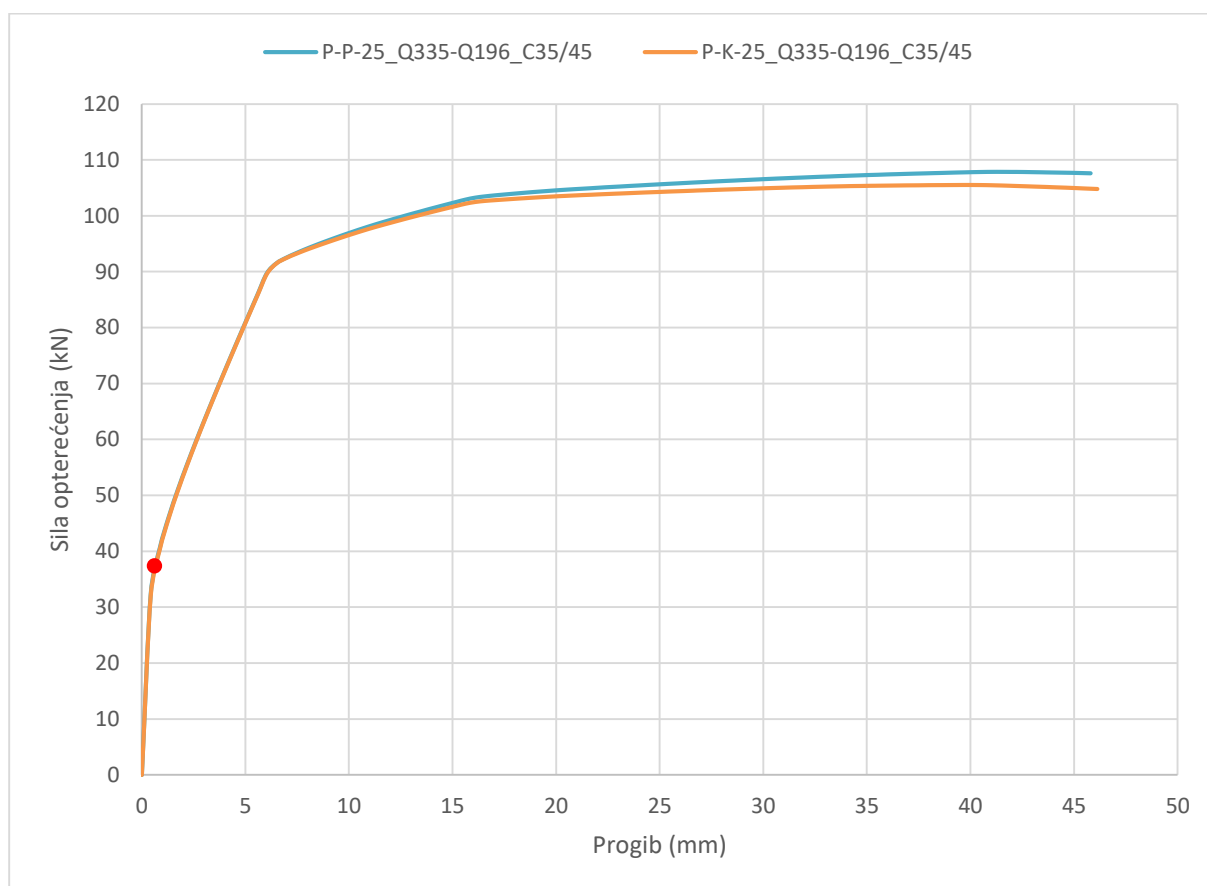
Slika 5.131: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 i P-K-25_Q335-Q196_C30/37

Tablica 5.22: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 i P-K-25_Q335-Q196_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q335-Q196_C30/37	15,94	0,59	101,1	41,26
P-K-25_Q335-Q196_C30/37	15,93	0,59	98,91	39,8

Plošni nosač P-P-25_Q335-Q196_C35/45 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45.

Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q335-Q196_C35/45 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 1,04 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45. Na slici 5.132 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 i P-K-25_Q335-Q196_C35/45, dok je u tablici 5.23 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 i P-K-25_Q335-Q196_C35/45.

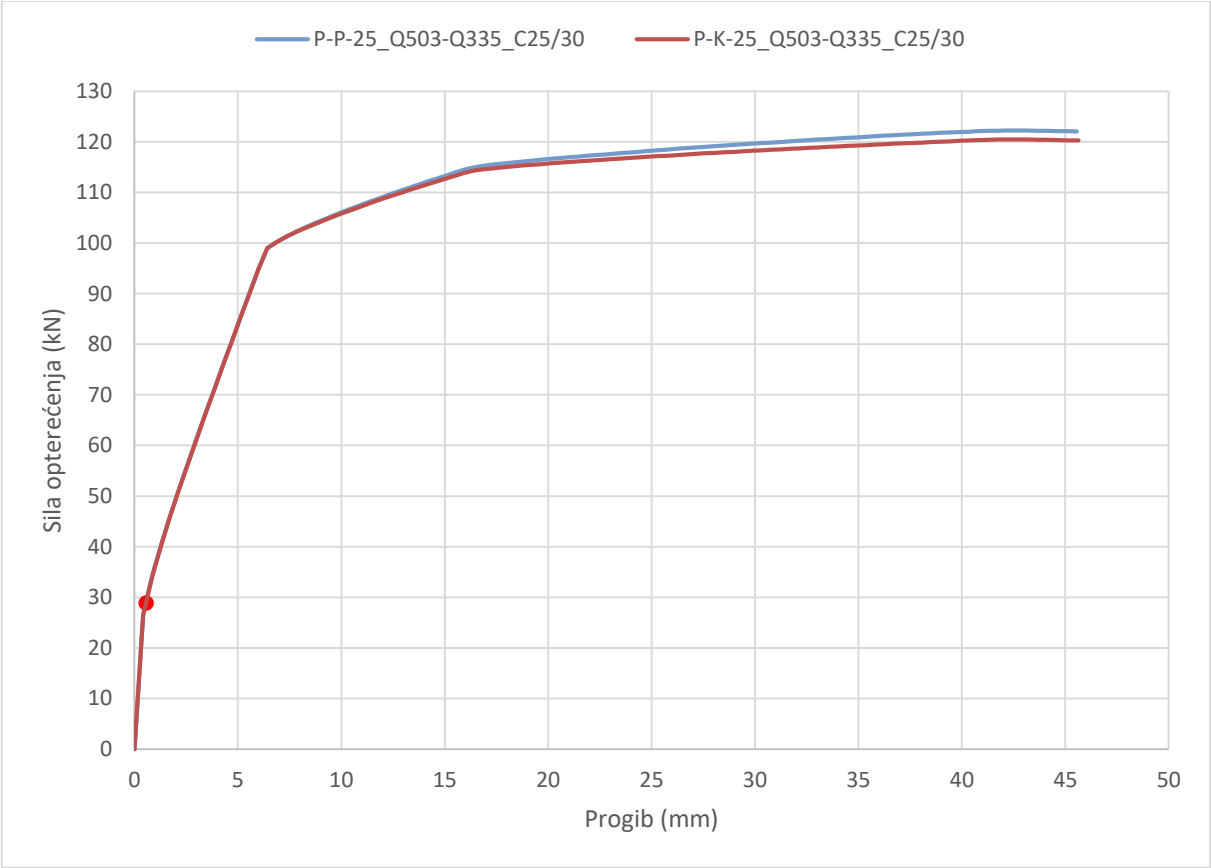


Slika 5.132: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 i P-K-25_Q335-Q196_C35/45

Tablica 5.23: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 i P-K-25_Q335-Q196_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q335-Q196_C35/45	18,7	0,61	107,84	41,28
P-K-25_Q335-Q196_C35/45	18,6	0,61	105,52	39,82

Plošni nosač P-P-25_Q503-Q335_C25/30 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q503-Q335_C25/30 ima 1,01 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 1,01 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30. Na slici 5.133 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 i P-K-25_Q503-Q335_C25/30, dok je u tablici 5.24 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 i P-K-25_Q503-Q335_C25/30.



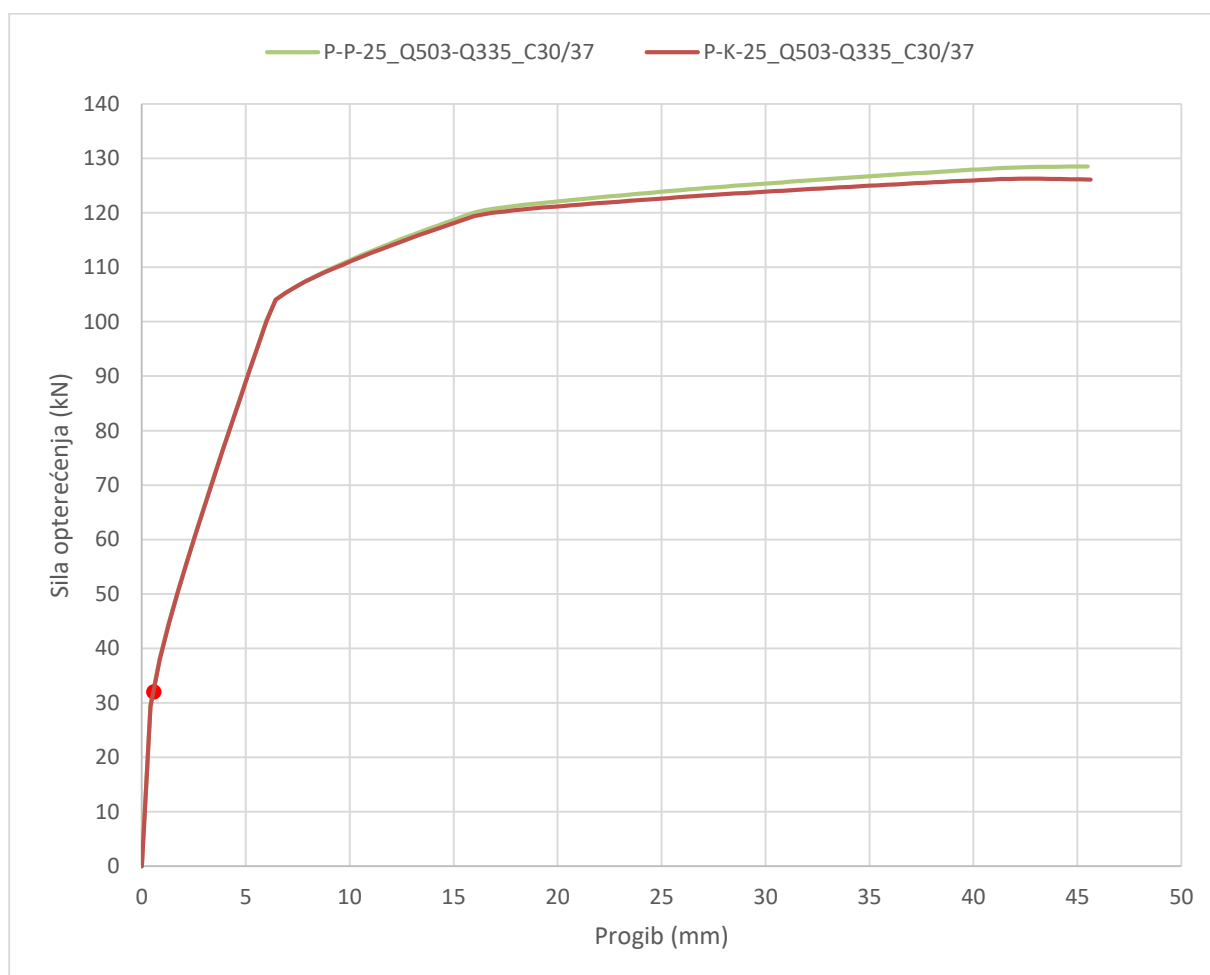
Slika 5.133: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 i P-K-25_Q503-Q335_C25/30

Tablica 5.24: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 i P-K-25_Q503-Q335_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q503-Q335_C25/30	14,43	0,57	122,25	42,65
P-K-25_Q503-Q335_C25/30	14,42	0,57	120,49	42,22

Plošni nosač P-P-25_Q503-Q335_C30/37 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 jednak

progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q503-Q335_C30/37 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 1,05 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37. Na slici 5.134 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 i P-K-25_Q503-Q335_C30/37, dok je u tablici 5.25 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 i P-K-25_Q503-Q335_C30/37.

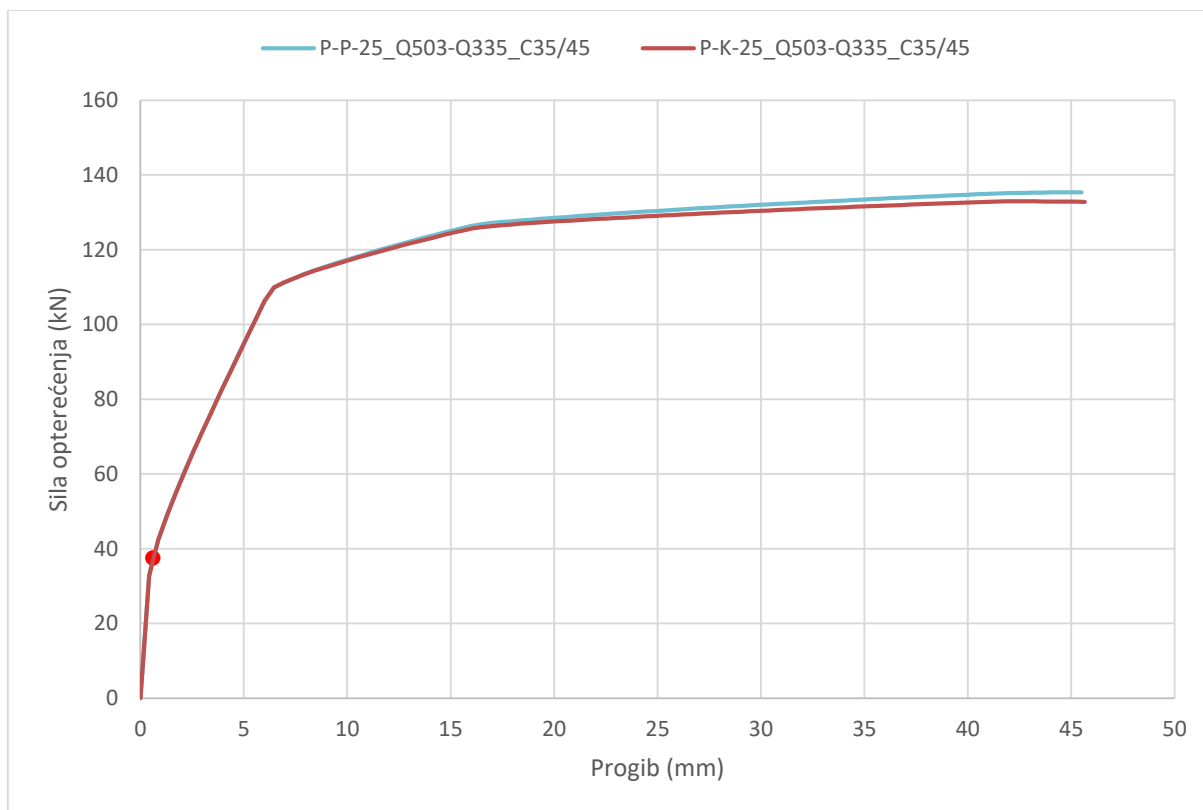


Slika 5.134: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 i P-K-25_Q503-Q335_C30/37

Tablica 5.25: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 i P-K-25_Q503-Q335_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q503-Q335_C30/37	15,99	0,58	128,5	44,54
P-K-25_Q503-Q335_C30/37	15,98	0,58	126,26	42,49

Plošni nosač P-P-25_Q503-Q335_C35/45 ima moment pri pojavi prve pukotine približno jednak momentu prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45, dok je progib pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 jednak progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q503-Q335_C35/45 ima 1,02 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 1,06 puta veći/manji od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45. Na slici 5.135 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 i P-K-25_Q503-Q335_C35/45, dok je u tablici 5.26 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 i P-K-25_Q503-Q335_C35/45.



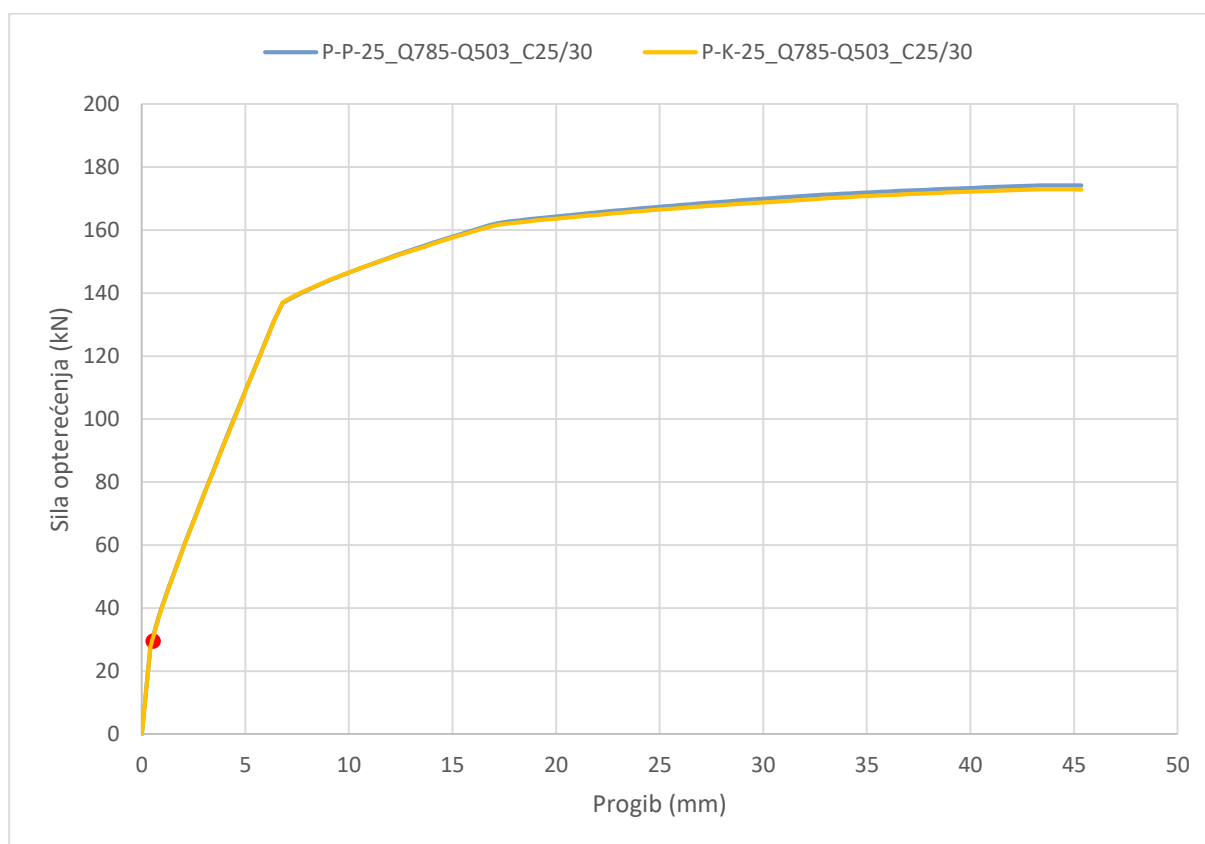
Slika 5.135: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 i P-K-25_Q503-Q335_C35/45

Tablica 5.26: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 i P-K-25_Q503-Q335_C35/45

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q503-Q335_C35/45	18,74	0,6	135,37	45,51
P-K-25_Q503-Q335_C35/45	18,73	0,6	132,94	42,78

Plošni nosač P-P-25_Q785-Q503_C25/30 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q785-Q503_C25/30 ima 1,01 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q785-

Q503_C25/30, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 1,03 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30. Na slici 5.136 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 i P-K-25_Q785-Q503_C25/30, dok je u tablici 5.27 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 i P-K-25_Q785-Q503_C25/30.

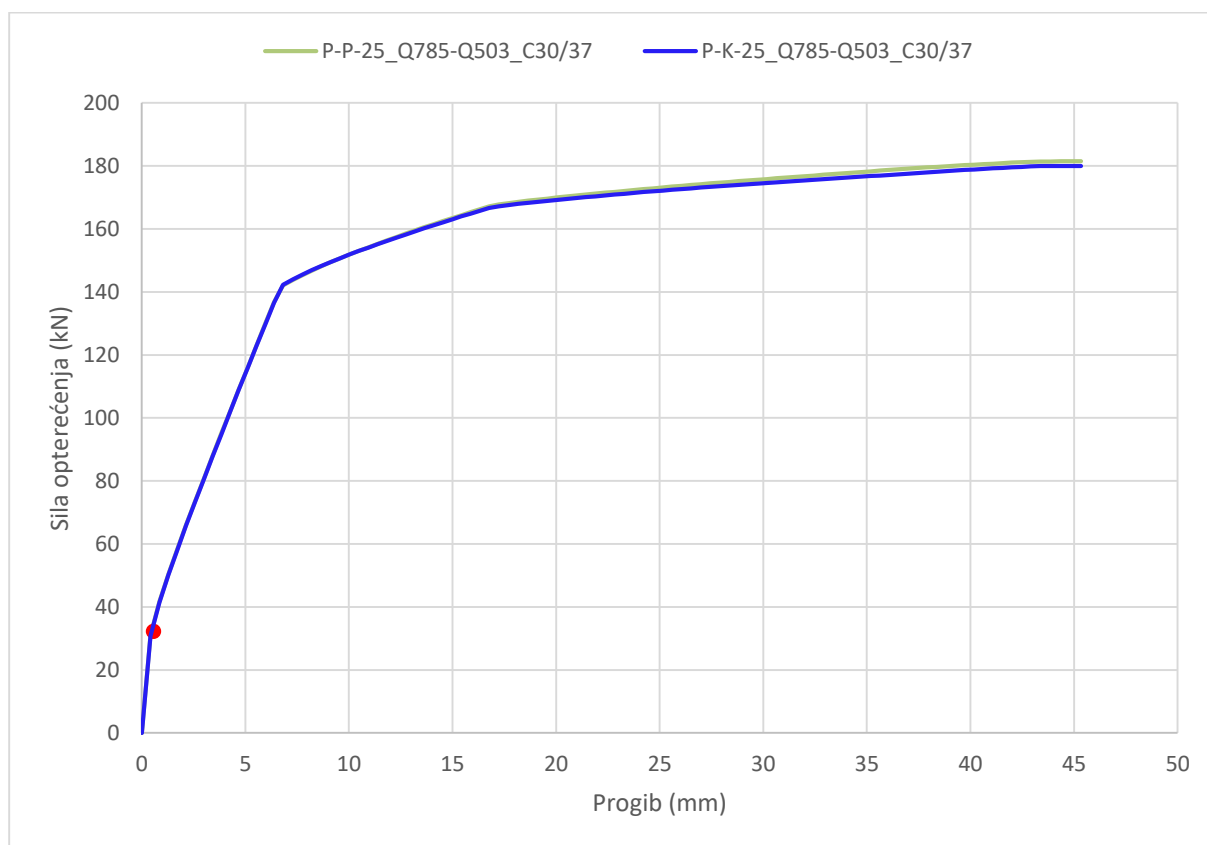


Slika 5.136: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 i P-K-25_Q785-Q503_C25/30

Tablica 5.27: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 i P-K-25_Q785-Q503_C25/30

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	174,21	44,86
P-K-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	172,94	43,64

Plošni nosač P-P-25_Q785-Q503_C30/37 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q785-Q503_C30/37 ima 1,01 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 također 1,01 puta veći od progiba pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37. Na slici 5.137 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 i P-K-25_Q785-Q503_C30/37, dok je u tablici 5.28 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 i P-K-25_Q785-Q503_C30/37.

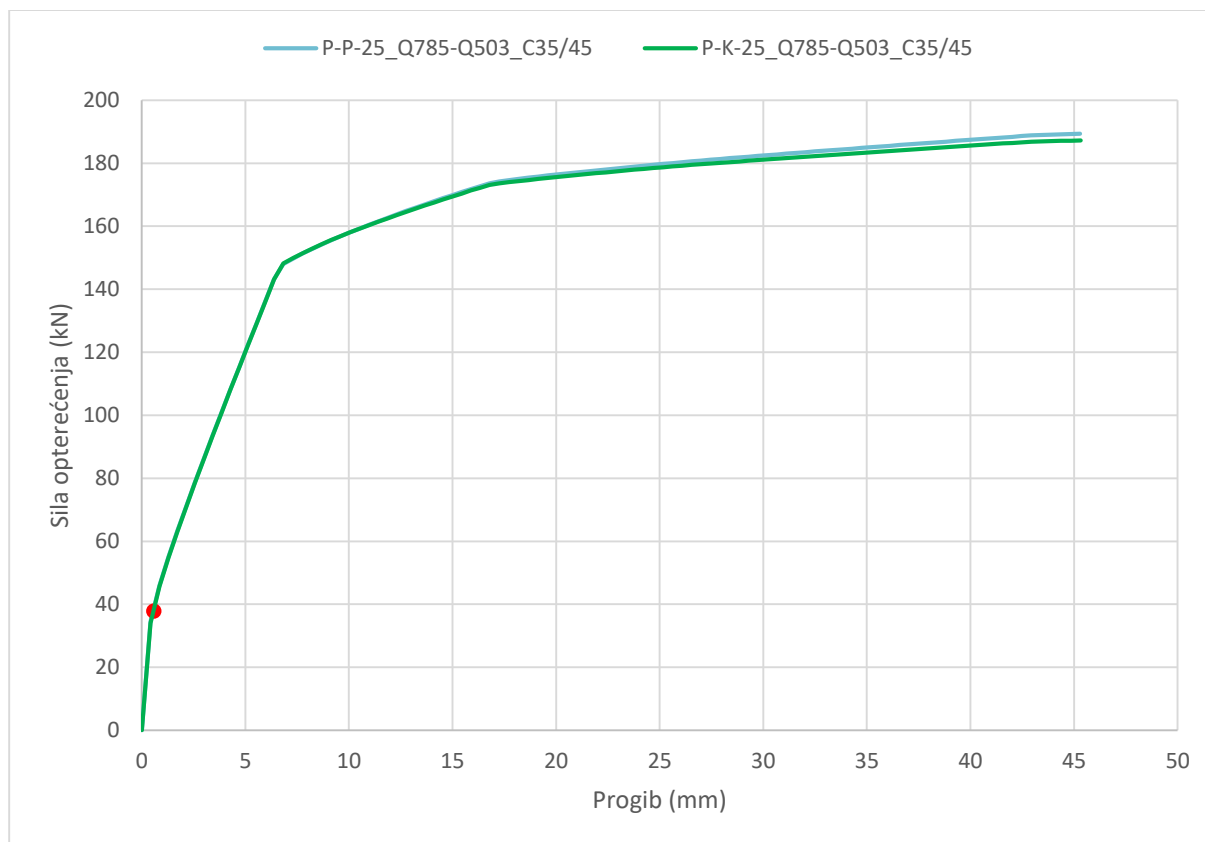


Slika 5.137: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 i P-K-25_Q785-Q503_C30/37

Tablica 5.28: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 i P-K-20_Q785-Q503_C30/37

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	181,46	45,09
P-K-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	179,96	44,85

Plošni nosač P-P-25_Q785-Q503_C35/45 ima moment i progib pri pojavi prve pukotine jednake momentu i progibu pri pojavi prve pukotine plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45. Maksimalnu nosivost plošni nosač P-P-25_Q785-Q503_C35/45 ima 1,01 puta veću u odnosu na maksimalnu nosivost plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45, dok je progib pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 približno jednak progibu pri maksimalnoj nosivosti plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45. Na slici 5.138 prikazan je grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 i P-K-25_Q785-Q503_C35/45, dok je u tablici 5.29 prikazan tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 i P-K-25_Q785-Q503_C35/45.



Slika 5.138: Grafički prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 i P-K-25_Q785-Q503_C35/45

Tablica 5.29: Tablični prikaz usporedbe ponašanja plošnih nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 i P-K-25_Q785-Q503_C35/45

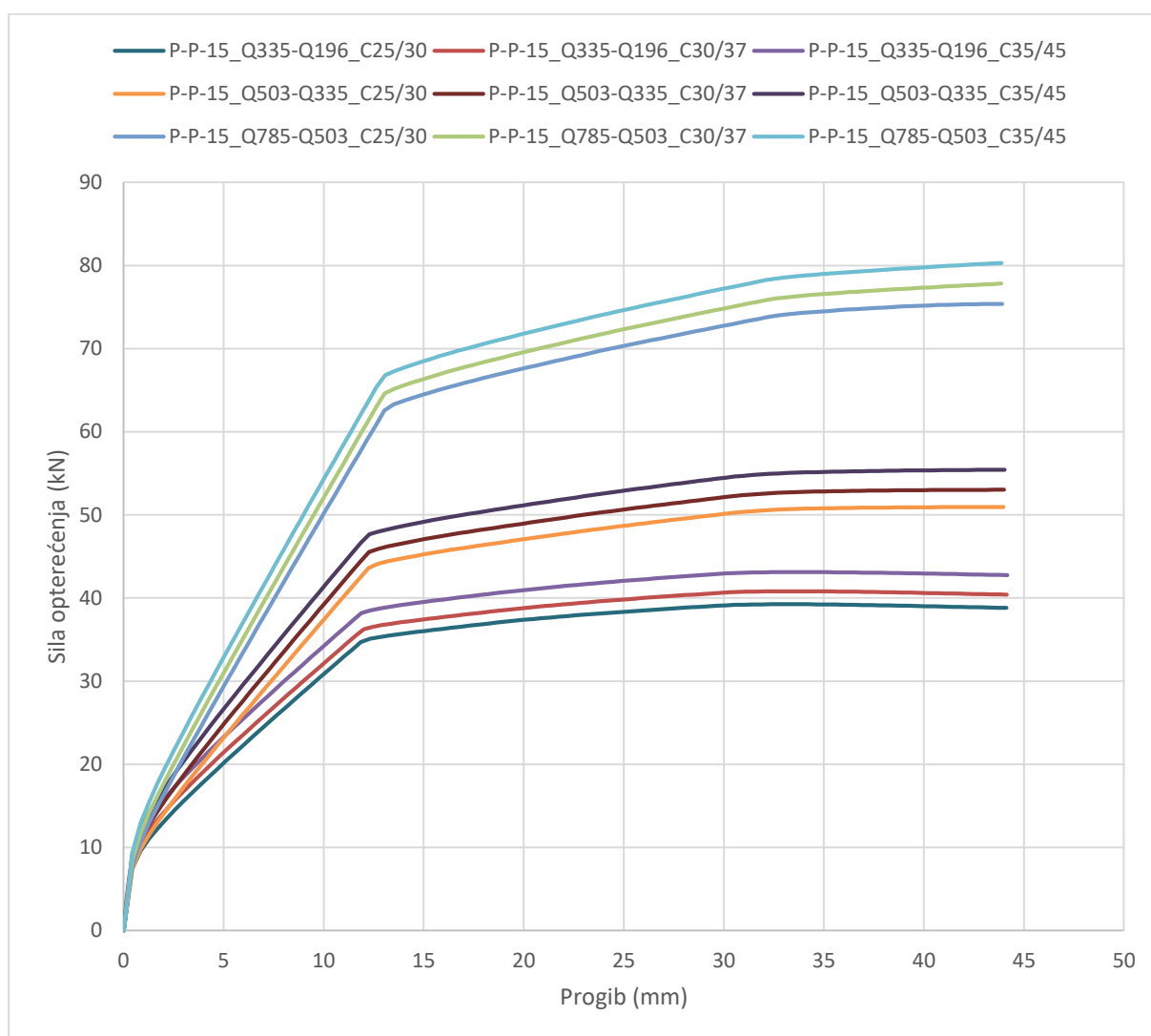
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	189,33	45,3
P-K-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	187,22	45,32

5.3.3 Debljina 15 cm

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača debljine 15 cm od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima, a preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalno povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 29 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 45 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 85 do 95 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najčešće rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju povećanja armature plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za oko 4 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 4,5 do 5,5 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 8,5 do 9,5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom

armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.139, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.30.



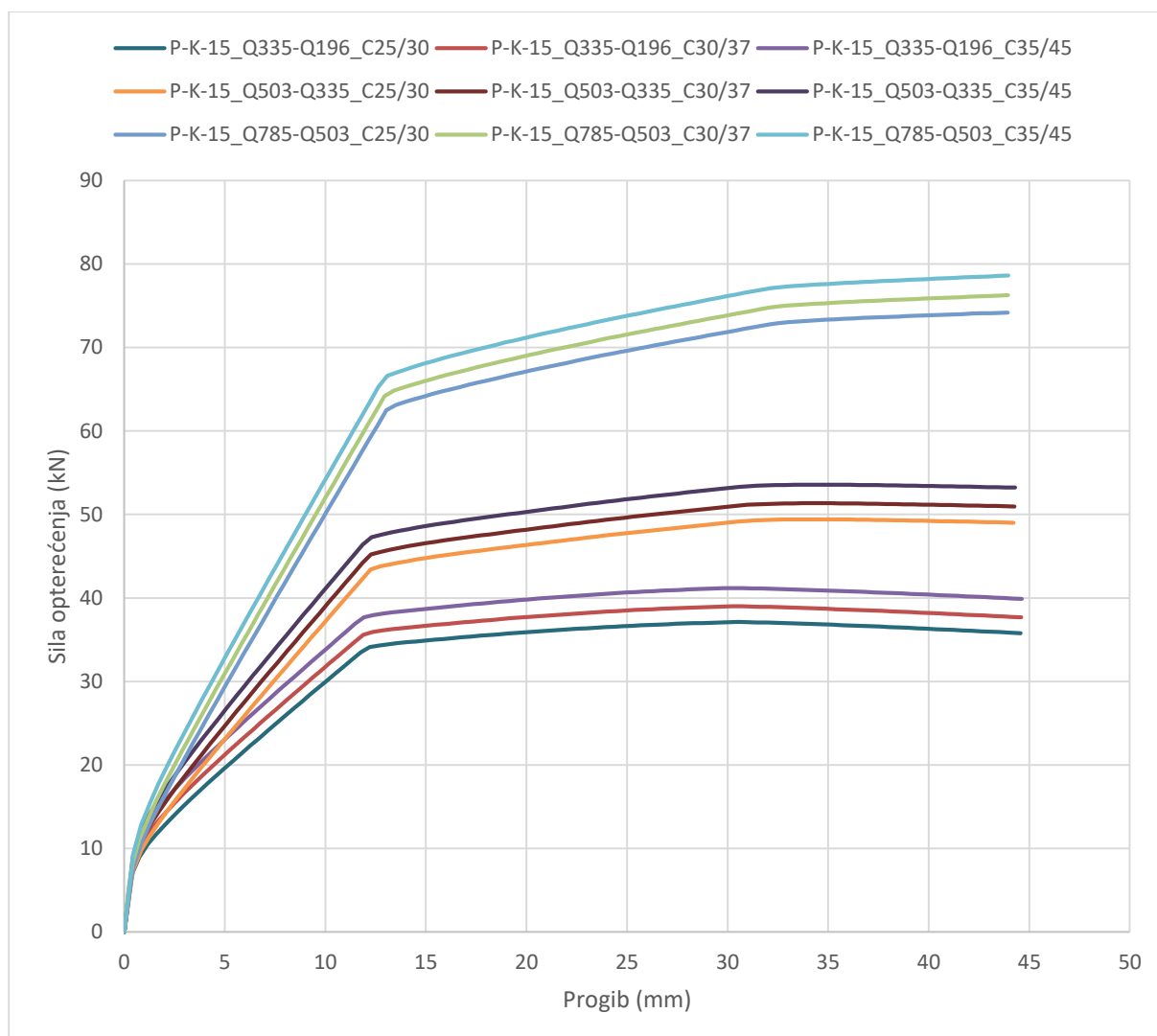
Slika 5.139: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.30: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C25/30	4,62	0,78	39,26	33,3
P-P-15_Q335-Q196_C30/37	5,22	0,81	40,82	33,45
P-P-15_Q335-Q196_C35/45	5,87	0,85	43,12	33,34
P-P-15_Q503-Q335_C25/30	4,66	0,77	50,94	43,08
P-P-15_Q503-Q335_C30/37	5,26	0,8	53,02	44
P-P-15_Q503-Q335_C35/45	5,91	0,84	55,43	44,03
P-P-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	75,36	43,91
P-P-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	77,83	43,86
P-P-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	80,31	43,88

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora minimalno povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 30 do 33 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 45 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 90 do 100 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom

Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju povećanja armature plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 4 do 5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 4,5 do 5,5 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 8,5 do 9,5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.140, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.31.



Slika 5.140: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.31: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 15 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

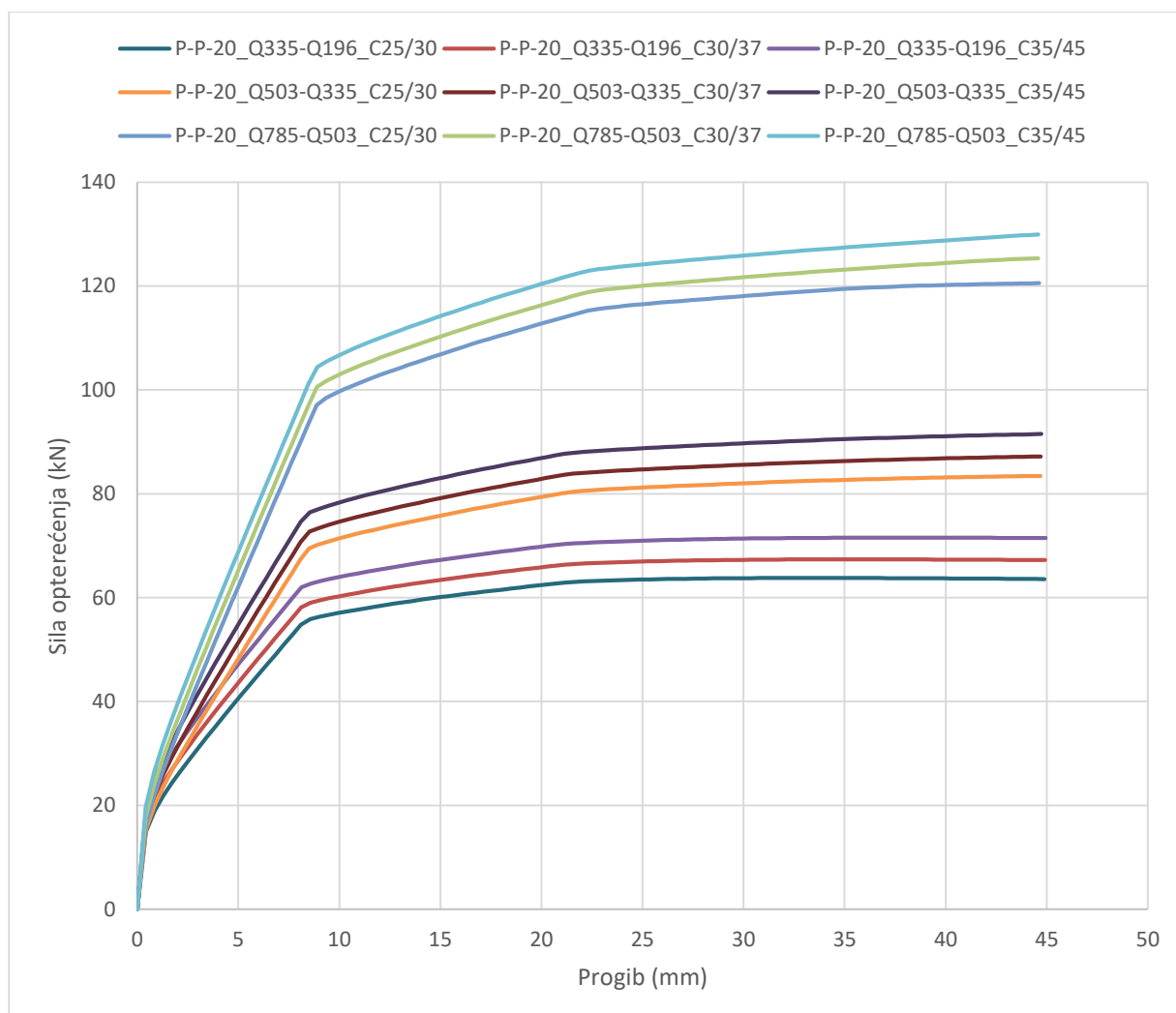
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q335-Q196_C25/30	4,61	0,78	37,12	30,55
P-K-15_Q335-Q196_C30/37	5,21	0,81	39	30,24
P-K-15_Q335-Q196_C35/45	5,86	0,85	41,19	30,29
P-K-15_Q503-Q335_C25/30	4,65	0,77	49,43	34,17
P-K-15_Q503-Q335_C30/37	5,25	0,8	51,35	34,43
P-K-15_Q503-Q335_C35/45	5,9	0,84	53,57	34,7
P-K-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	74,15	43,94
P-K-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	76,25	43,94
P-K-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	78,61	43,97

5.3.4 Debljina 20 cm

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača debljine 20 cm od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalno povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 29 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj,

a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 45 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 80 do 90 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najčešće rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju povećanja armature plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 4,5 do 5,5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 5,5 do 6 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 9,5 do 12 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.141, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.32.



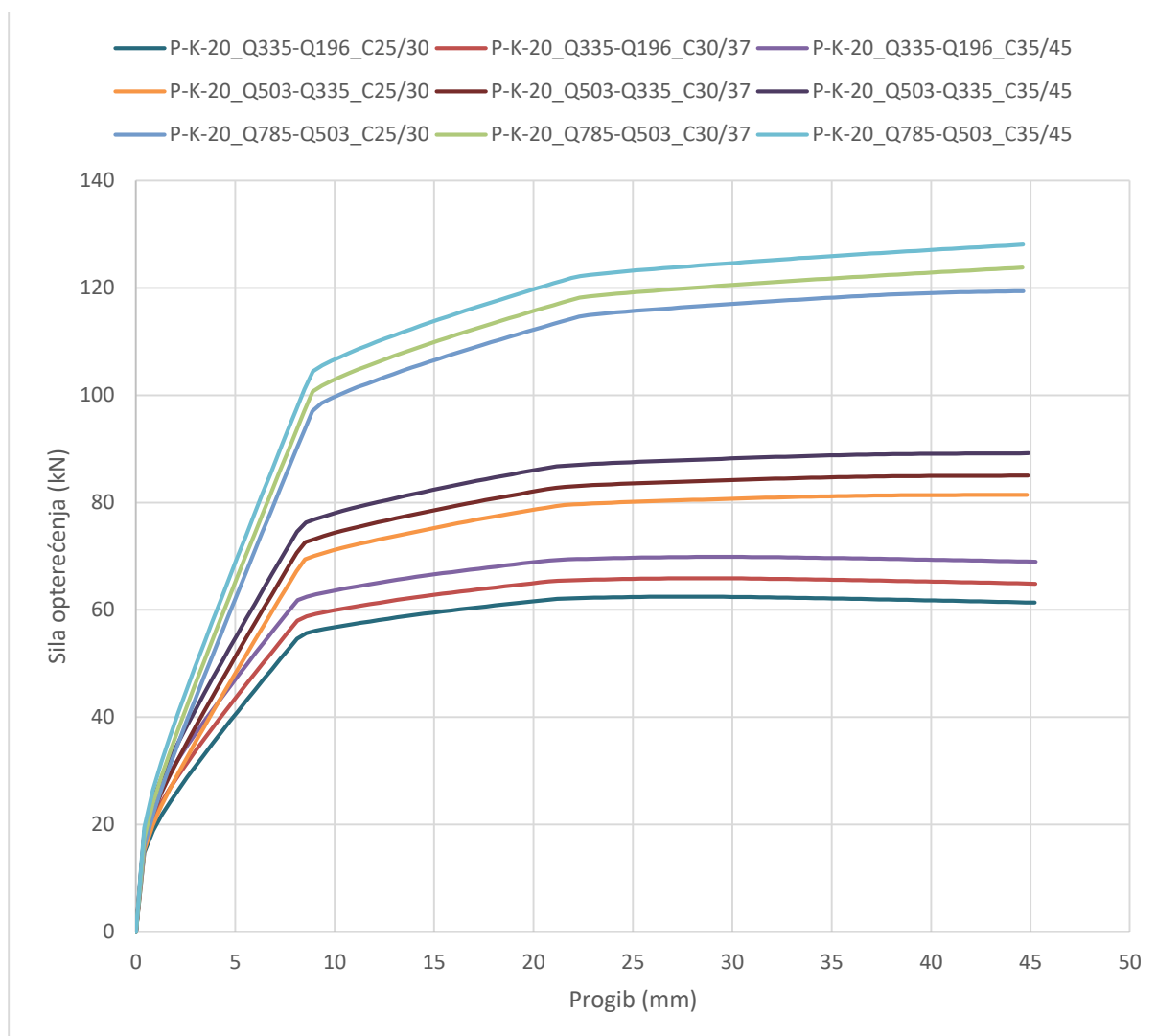
Slika 5.141: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.32: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-20_Q335-Q196_C25/30	8,63	0,67	63,77	33,3
P-P-20_Q335-Q196_C30/37	9,62	0,69	67,35	35,37
P-P-20_Q335-Q196_C35/45	11,26	0,72	71,53	38,12
P-P-20_Q503-Q335_C25/30	8,67	0,66	83,43	44,69
P-P-20_Q503-Q335_C30/37	9,67	0,68	87,18	44,71
P-P-20_Q503-Q335_C35/45	11,3	0,71	91,49	44,74
P-P-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	120,54	44,63
P-P-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	125,36	44,58
P-P-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	129,94	44,58

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora minimalno povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 30 do 33 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 43 do 47 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 83 do 92 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom

Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najčešće rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju povećanja armature plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 4,5 do 5,5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 5 do 6 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 9,5 do 12 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.142, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.33.



Slika 5.142: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.33: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 20 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

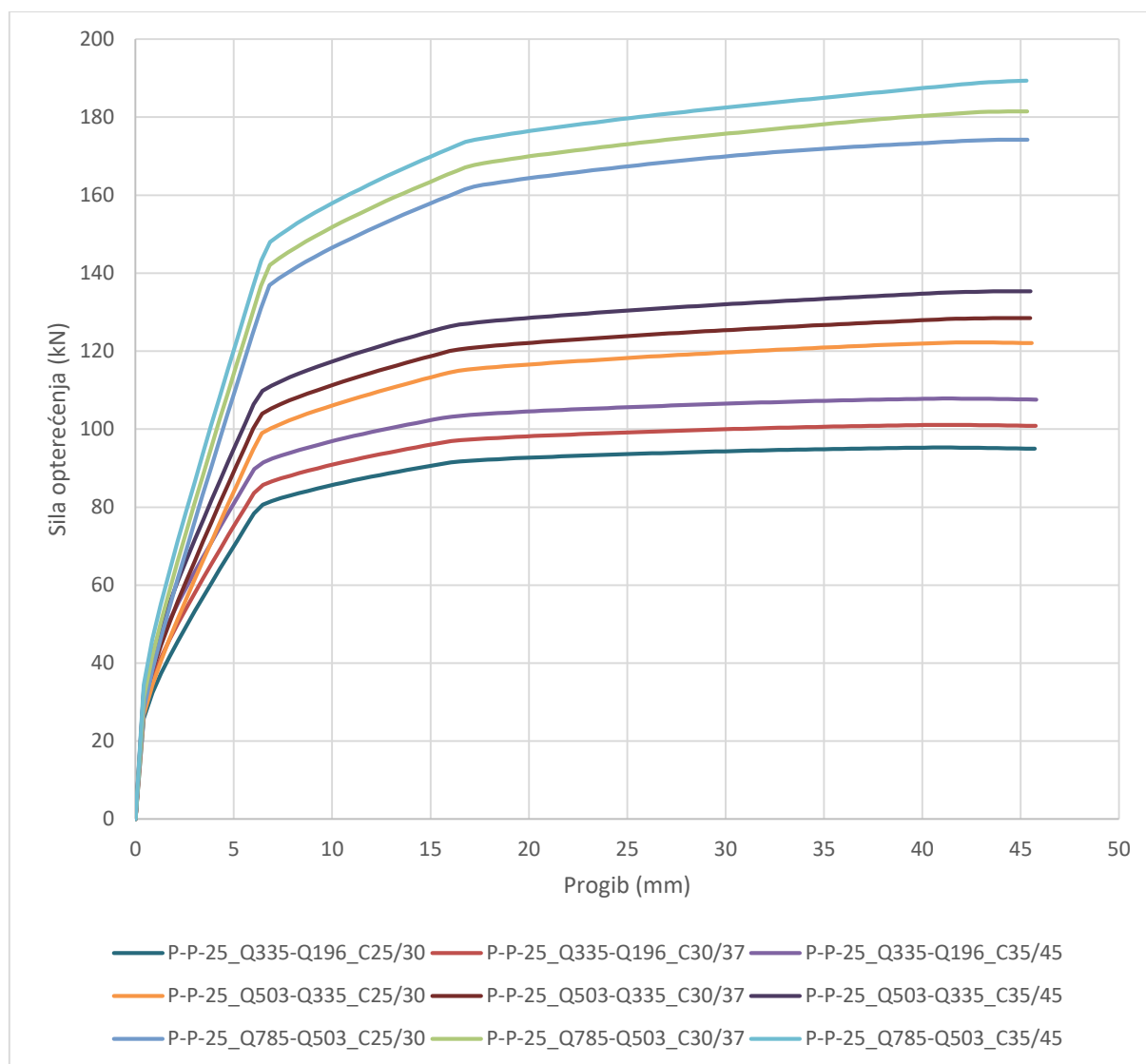
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-20_Q335-Q196_C25/30	8,62	0,67	62,47	27,91
P-K-20_Q335-Q196_C30/37	9,61	0,69	65,89	28,63
P-K-20_Q335-Q196_C35/45	11,25	0,72	69,87	29,58
P-K-20_Q503-Q335_C25/30	8,66	0,66	81,42	44,83
P-K-20_Q503-Q335_C30/37	9,66	0,68	85,01	44,87
P-K-20_Q503-Q335_C35/45	11,29	0,71	89,18	44,91
P-K-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	119,38	44,64
P-K-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	123,78	44,59
P-K-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	128,04	44,62

5.3.5 Debljina 25 cm

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača debljine 25 cm od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalno povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 25 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj,

a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 45 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 75 do 85 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti uglavnom rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju povećanja armature plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 5 do 6 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 5,5 do 6,5 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 10 do 13 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.143, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.34.



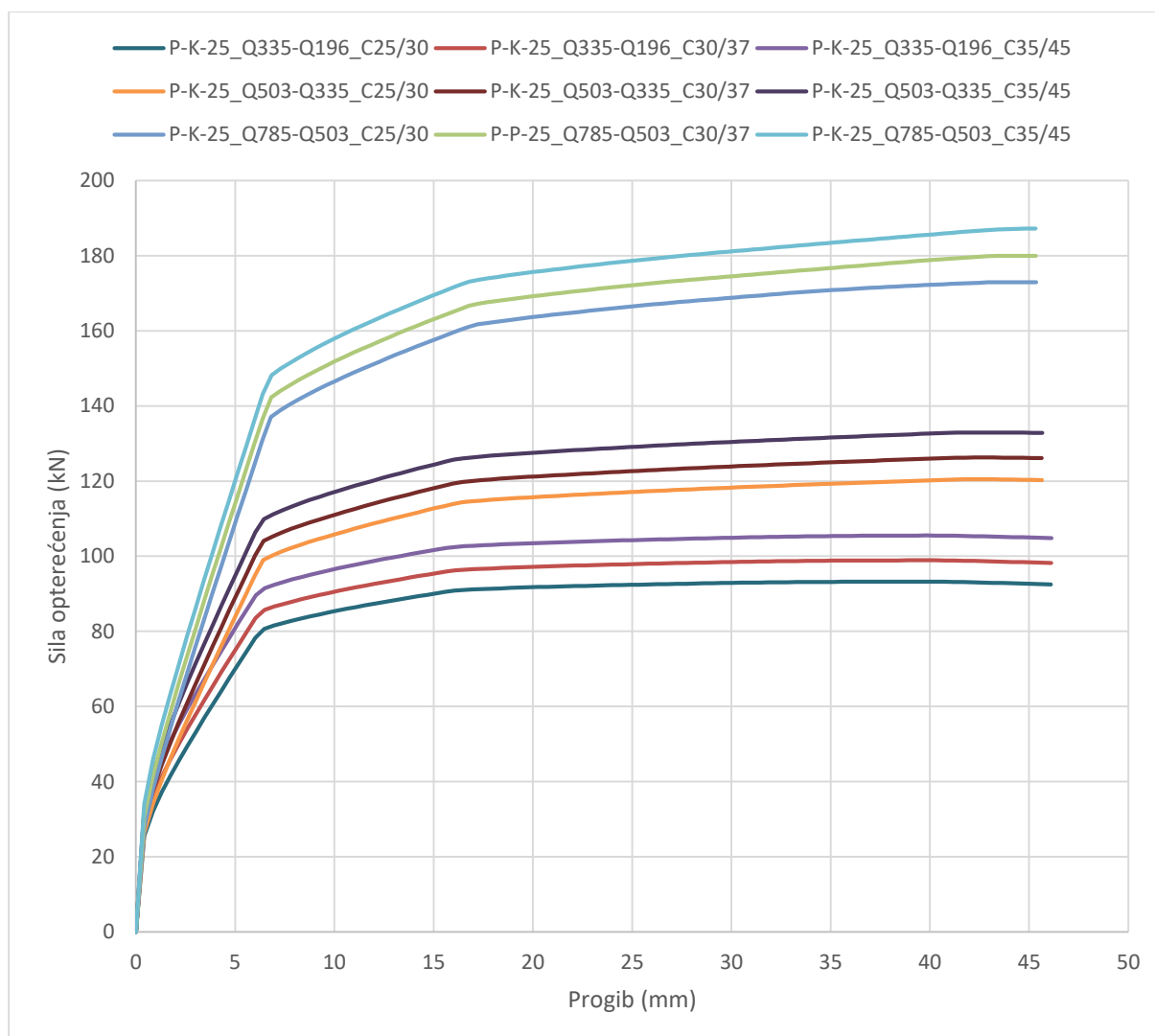
Slika 5.143: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.34: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom i čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-25_Q335-Q196_C25/30	28,76	0,58	95,29	41
P-P-25_Q335-Q196_C30/37	15,94	0,59	101,1	41,26
P-P-25_Q335-Q196_C35/45	18,7	0,61	107,84	41,28
P-P-25_Q503-Q335_C25/30	14,43	0,57	122,25	42,65
P-P-25_Q503-Q335_C30/37	15,99	0,58	128,5	44,54
P-P-25_Q503-Q335_C35/45	18,74	0,6	135,37	45,51
P-P-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	174,21	44,86
P-P-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	181,46	45,09
P-P-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	189,33	45,3

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora minimalno povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 30 do 33 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 45 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 75 do 85 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom

Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju povećanja armature plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 5 do 6 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju također za otprilike 5 do 6 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 10 do 13 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.144, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.35.



Slika 5.144: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.35: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača debljine 25 cm armiranih mrežastom armaturom bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

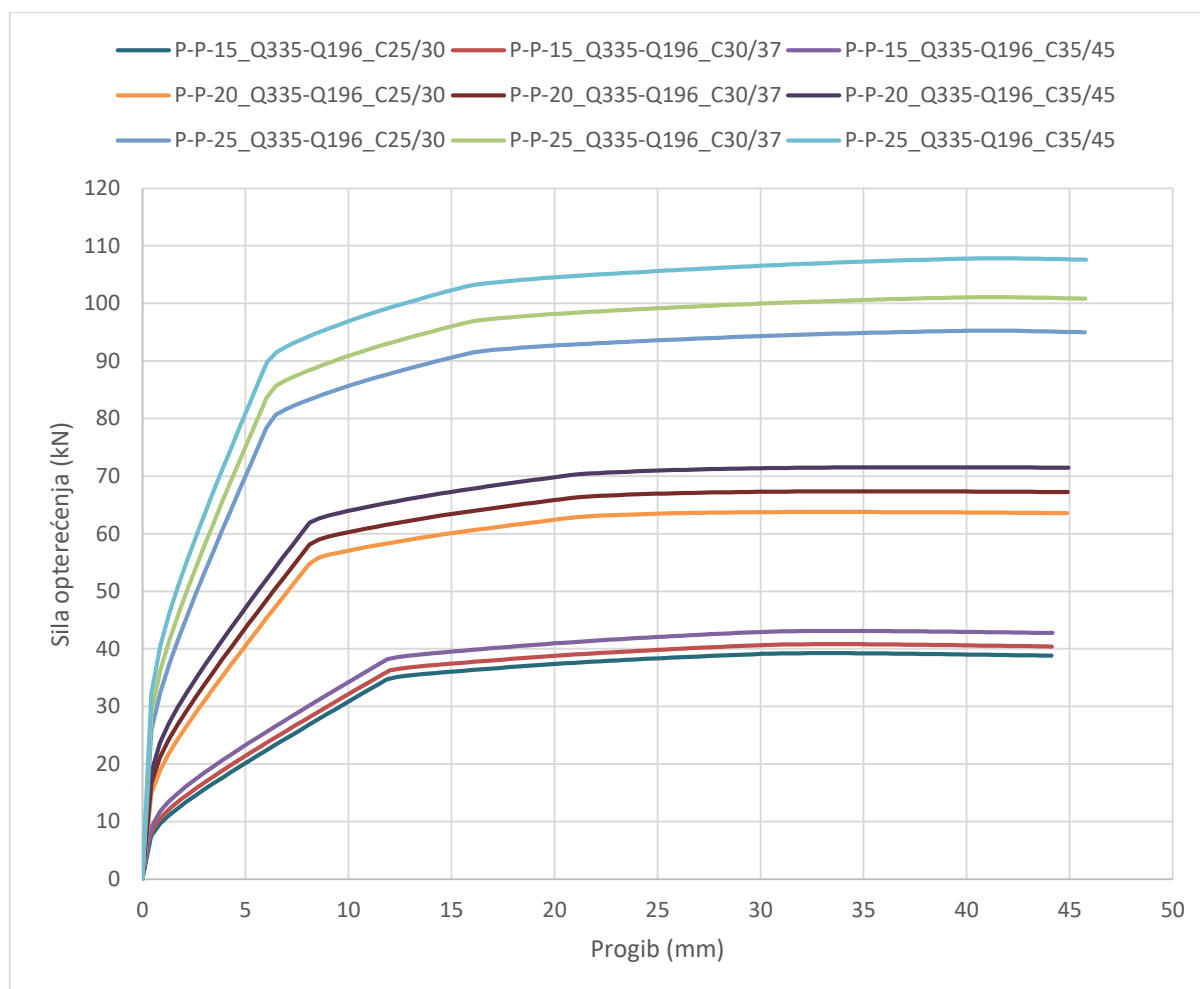
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-25_Q335-Q196_C25/30	28,74	0,58	93,23	40,25
P-K-25_Q335-Q196_C30/37	15,93	0,59	98,91	39,8
P-K-25_Q335-Q196_C35/45	18,6	0,61	105,52	39,82
P-K-25_Q503-Q335_C25/30	14,42	0,57	120,49	42,22
P-K-25_Q503-Q335_C30/37	15,98	0,58	126,26	42,49
P-K-25_Q503-Q335_C35/45	18,73	0,6	132,94	42,78
P-K-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	172,94	43,64
P-K-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	179,96	44,85
P-K-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	187,22	45,32

5.3.6 Armatura Q335 u donjoj i Q196 u gornjoj zoni

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost. Povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 60 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 50 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 140 % veću maksimalnu nosivost u

odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju promjene debljine plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 4 do 6 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 5 do 7 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 9 do 13 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.145, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.36.



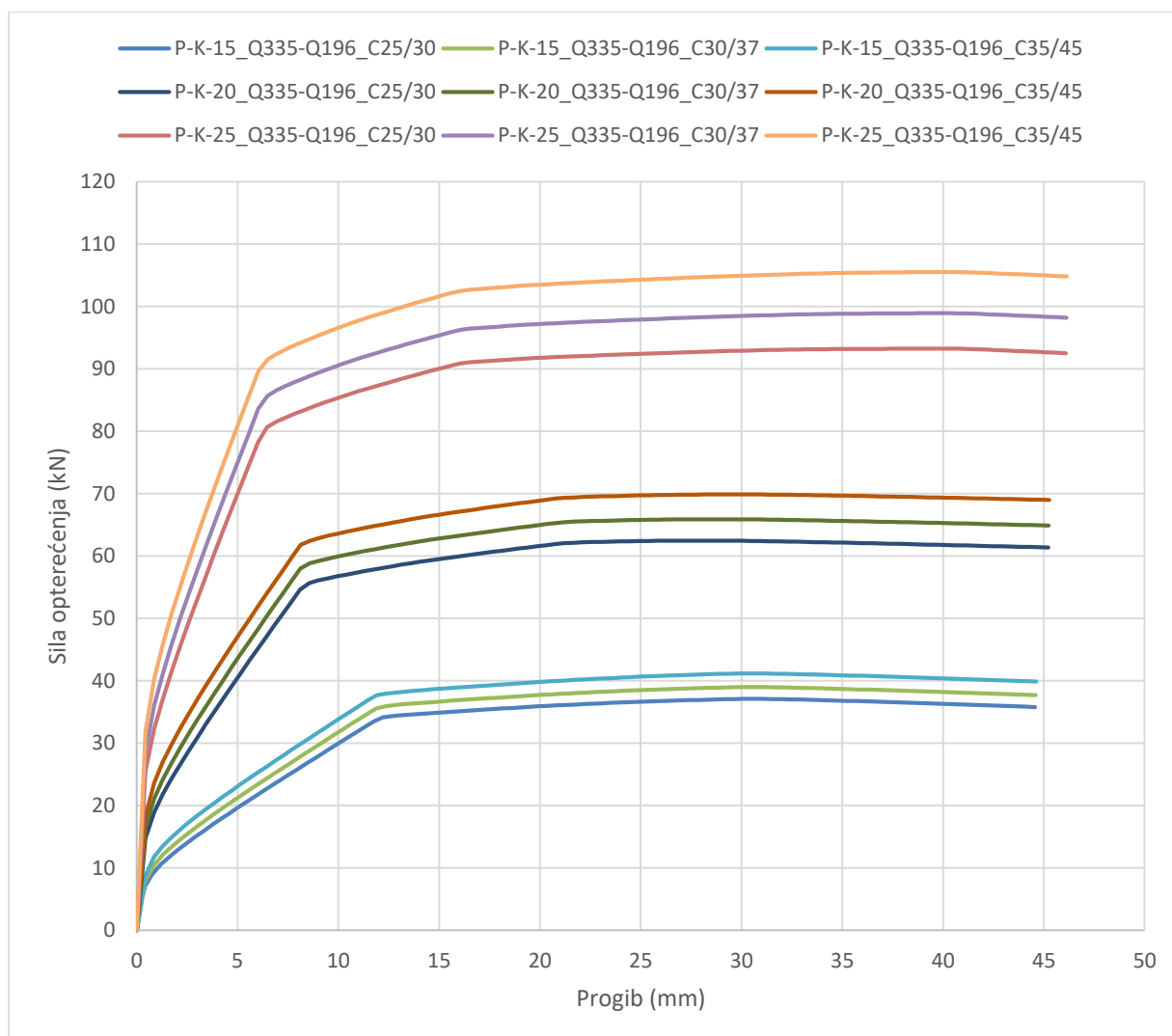
Slika 5.145: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.36: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C25/30	4,62	0,78	39,26	33,3
P-P-15_Q335-Q196_C30/37	5,22	0,81	40,82	33,45
P-P-15_Q335-Q196_C35/45	5,87	0,85	43,12	33,34
P-P-20_Q335-Q196_C25/30	8,63	0,67	63,77	33,3
P-P-20_Q335-Q196_C30/37	9,62	0,69	67,35	35,37
P-P-20_Q335-Q196_C35/45	11,26	0,72	71,53	38,12
P-P-25_Q335-Q196_C25/30	14,38	0,58	95,29	41
P-P-25_Q335-Q196_C30/37	15,94	0,59	101,1	41,26
P-P-25_Q335-Q196_C35/45	18,7	0,61	107,84	41,28

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost. Povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za otprilike 65 do 70 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 50 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 150 do 155 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najveći su za plošne nosače debljine 25 cm, dok su slični za plošne nosače debljine 15 i 20 cm. Povećanjem klase betona plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više

klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju promjene debljine plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 5 do 6 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 5,5 do 6,5 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 10 do 13 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.146, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.37.



Slika 5.146: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.37: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

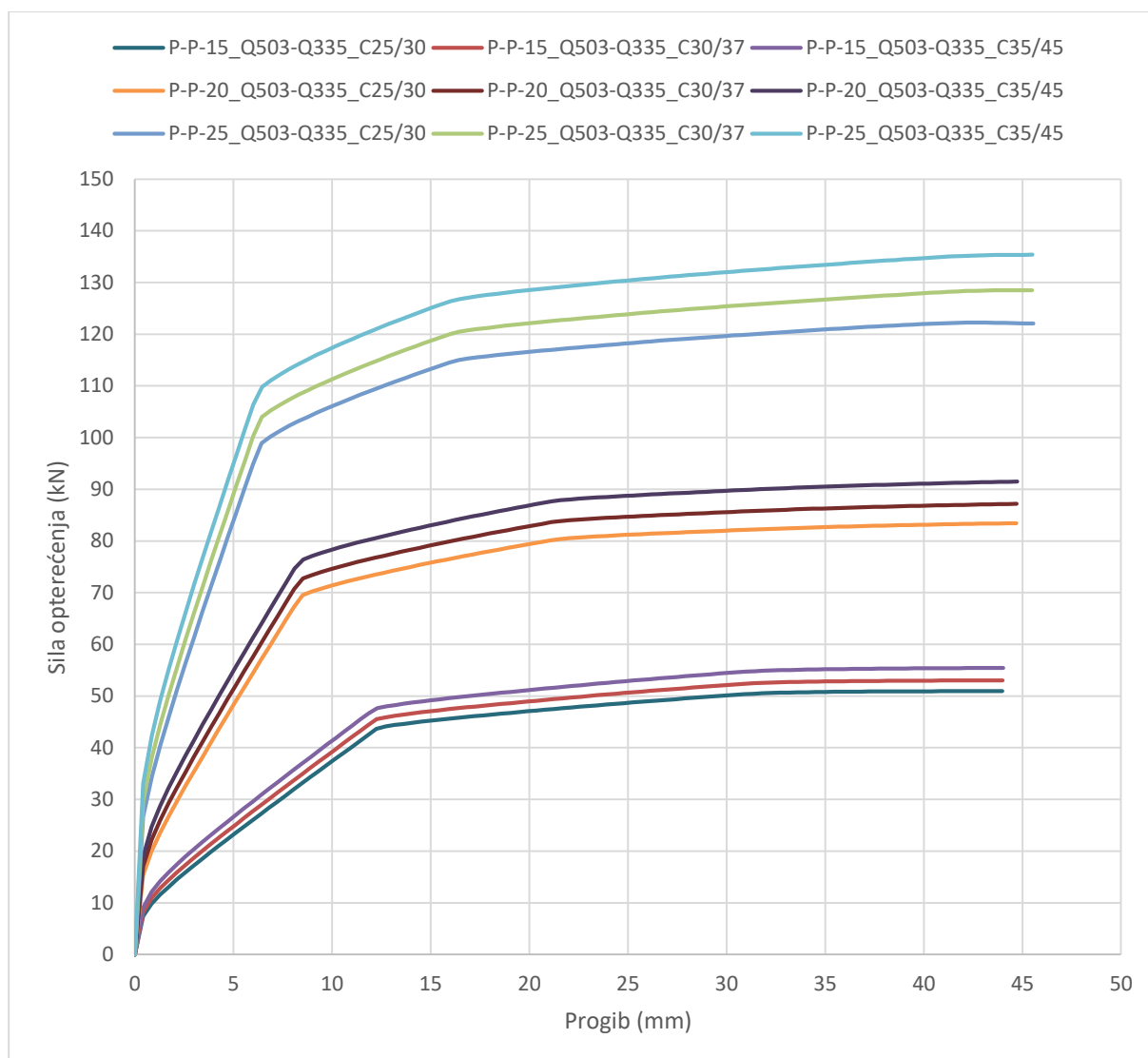
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q335-Q196_C25/30	4,61	0,78	37,12	30,55
P-K-15_Q335-Q196_C30/37	5,21	0,81	39	30,24
P-K-15_Q335-Q196_C35/45	5,85	0,85	41,19	30,29
P-K-20_Q335-Q196_C25/30	8,62	0,67	62,47	27,91
P-K-20_Q335-Q196_C30/37	9,61	0,69	65,89	28,63
P-K-20_Q335-Q196_C35/45	11,25	0,72	69,87	29,58
P-K-25_Q335-Q196_C25/30	14,37	0,58	93,23	40,25
P-K-25_Q335-Q196_C30/37	15,93	0,59	98,91	39,8
P-K-25_Q335-Q196_C35/45	18,6	0,61	105,52	39,82

5.3.7 Armatura Q503 u donjoj i Q335 u gornjoj zoni

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost. Povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 60 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 45 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20

cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 135 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti uglavnom rastu s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima malo veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju promjene debljine plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 4 do 5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 4,5 do 5 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 8,5 do 10,5 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Iz rezultata je također očito kako se povećanjem klase betona malo povećava progib pri maksimalnoj nosivosti. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.163, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.39. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.147, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.38.



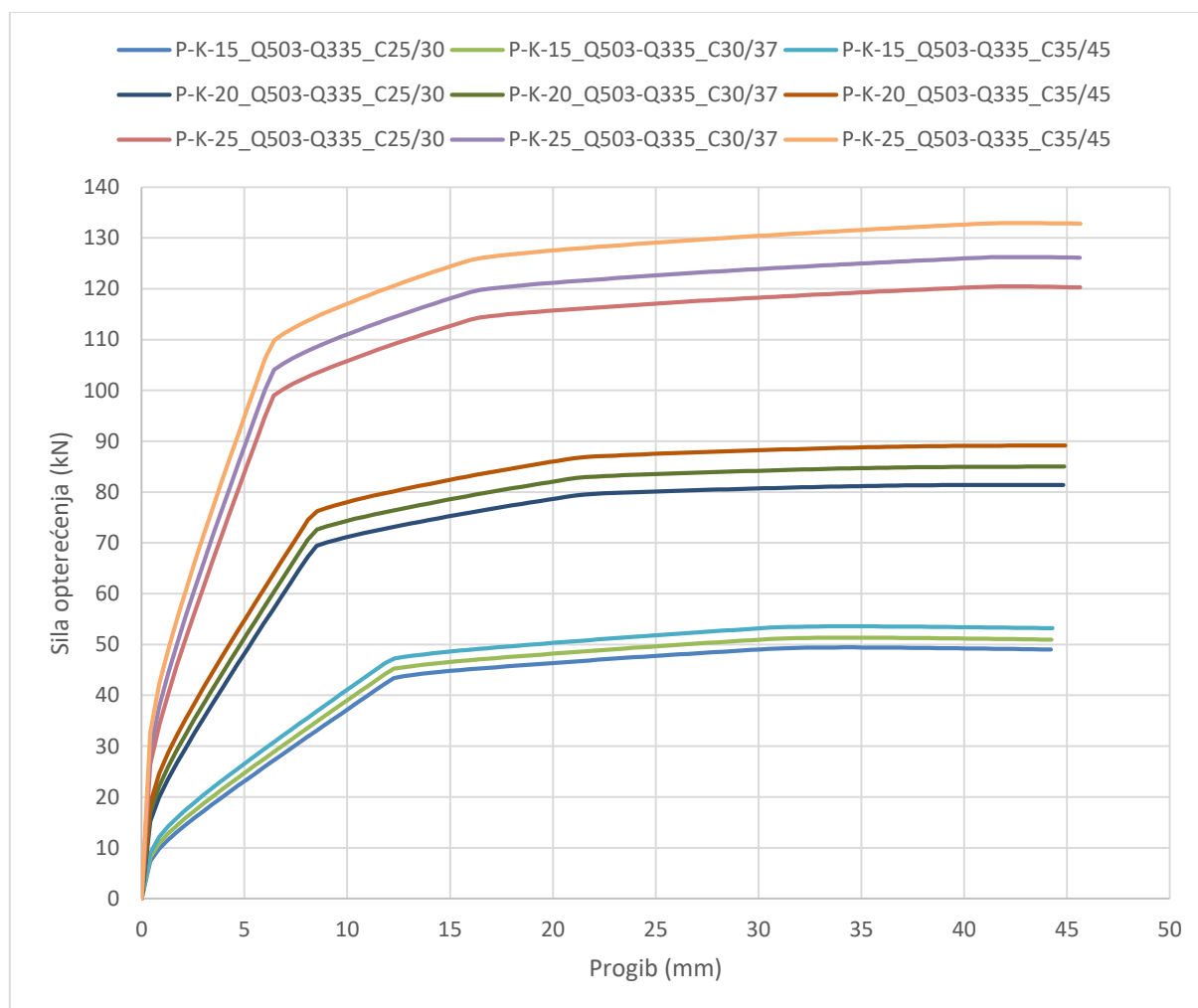
Slika 5.147: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.38: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q503-Q335_C25/30	4,66	0,77	50,94	43,08
P-P-15_Q503-Q335_C30/37	5,26	0,8	53,02	44
P-P-15_Q503-Q335_C35/45	5,91	0,84	55,43	44,03
P-P-20_Q503-Q335_C25/30	8,67	0,66	83,43	44,69
P-P-20_Q503-Q335_C30/37	9,67	0,68	87,18	44,71
P-P-20_Q503-Q335_C35/45	11,3	0,71	91,49	44,74
P-P-25_Q503-Q335_C25/30	14,43	0,57	122,25	42,65
P-P-25_Q503-Q335_C30/37	15,99	0,58	128,5	44,54
P-P-25_Q503-Q335_C35/45	18,74	0,6	135,37	45,51

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost. Povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 65 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 48 do 49 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 145 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najveći su za plošne nosače debljine 20 cm, dok su daleko najmanji za plošne nosače debljine 15 cm. Povećanjem klase betona plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više

klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju promjene debljine plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 3,8 do 4,8 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 4 do 5 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 8 do 10 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Iz rezultata je također očito kako se povećanjem klase betona malo povećava progib pri maksimalnoj nosivosti. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.148, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.39.



Slika 5.148: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.39: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

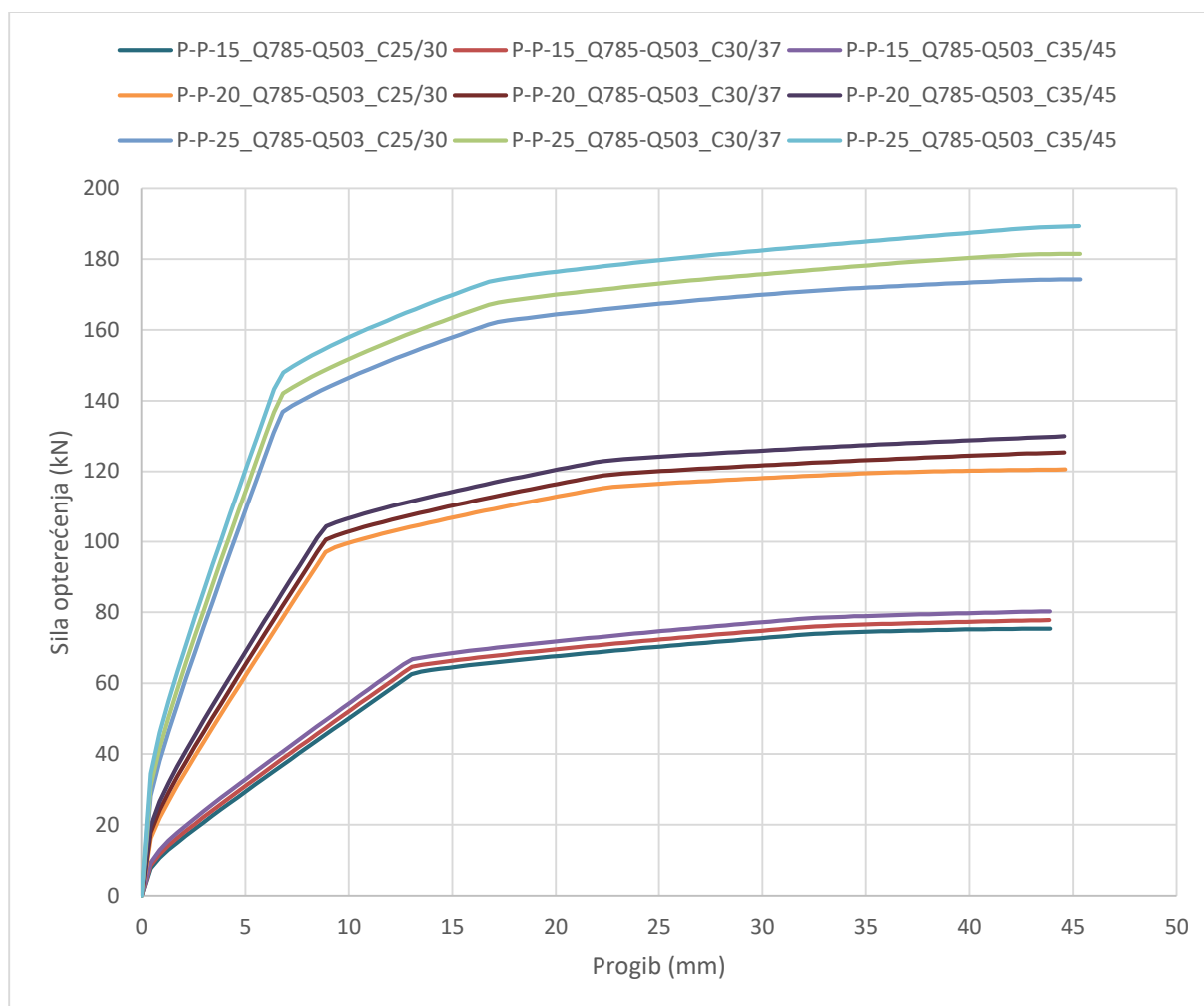
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q503-Q335_C25/30	4,65	0,77	49,43	34,17
P-K-15_Q503-Q335_C30/37	5,25	0,8	51,35	34,43
P-K-15_Q503-Q335_C35/45	5,9	0,84	53,57	34,7
P-K-20_Q503-Q335_C25/30	8,66	0,66	81,42	44,83
P-K-20_Q503-Q335_C30/37	9,66	0,68	85,01	44,87
P-K-20_Q503-Q335_C35/45	11,29	0,71	89,18	44,91
P-K-25_Q503-Q335_C25/30	14,42	0,57	120,49	42,22
P-K-25_Q503-Q335_C30/37	15,98	0,58	126,26	42,49
P-K-25_Q503-Q335_C35/45	18,73	0,6	132,94	42,78

5.3.8 Armatura Q785 u donjoj i Q503 u gornjoj zoni

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost. Povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 60 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 45 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20

cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 130 do 135 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem klase betona plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju promjene debljine plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 3 do 4 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju također za otprilike 3 do 4 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 6 do 9 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.149, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.40.



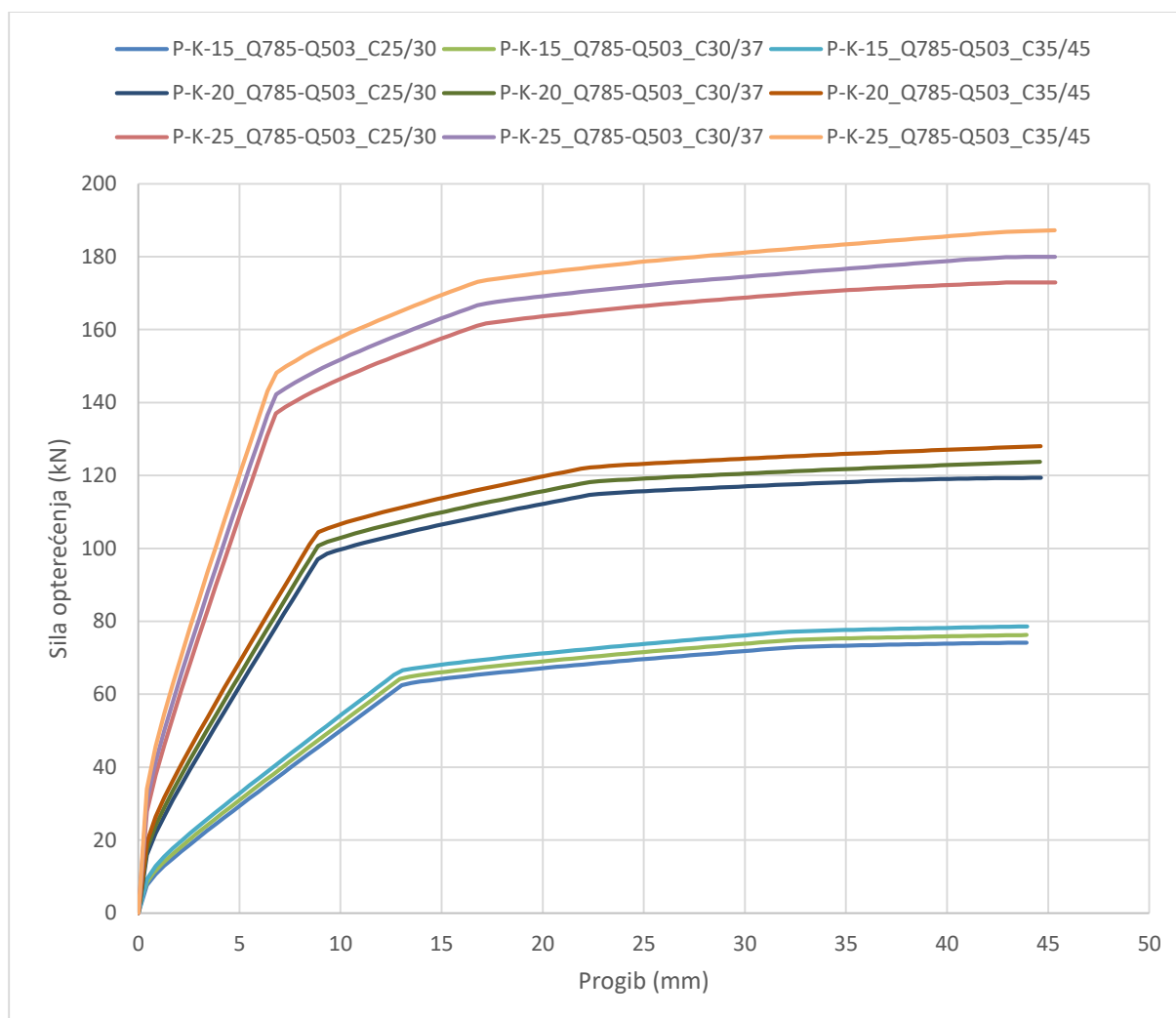
Slika 5.149: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.40: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	75,36	43,91
P-P-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	77,83	43,86
P-P-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	80,31	43,88
P-P-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	120,54	44,63
P-P-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	125,36	44,58
P-P-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	129,94	44,58
P-P-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	174,21	44,86
P-P-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	181,46	45,09
P-P-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	189,33	45,3

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost. Povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 60 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 45 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 135 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najveći su za plošne nosače debljine 25 cm, dok su slični za plošne nosače debljine 15 i 20 cm. Povećanjem klase betona plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora blago se povećavaju moment i progib pri pojavi prve pukotine, što znači kako beton više klase

može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine i kako beton više klase ima veću ukupnu elastičnost. Iz rezultata se također vidi kako se povećanjem klase betona od kojeg su izrađeni plošni nosači bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava i maksimalna nosivost plošnih nosača, ali u puno manjoj mjeri nego u slučaju promjene debljine plošnih nosača. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 3 do 4 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju također za otprilike 3 do 4 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 6 do 8 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.150, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.41.



Slika 5.150: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.41: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača armiranih mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

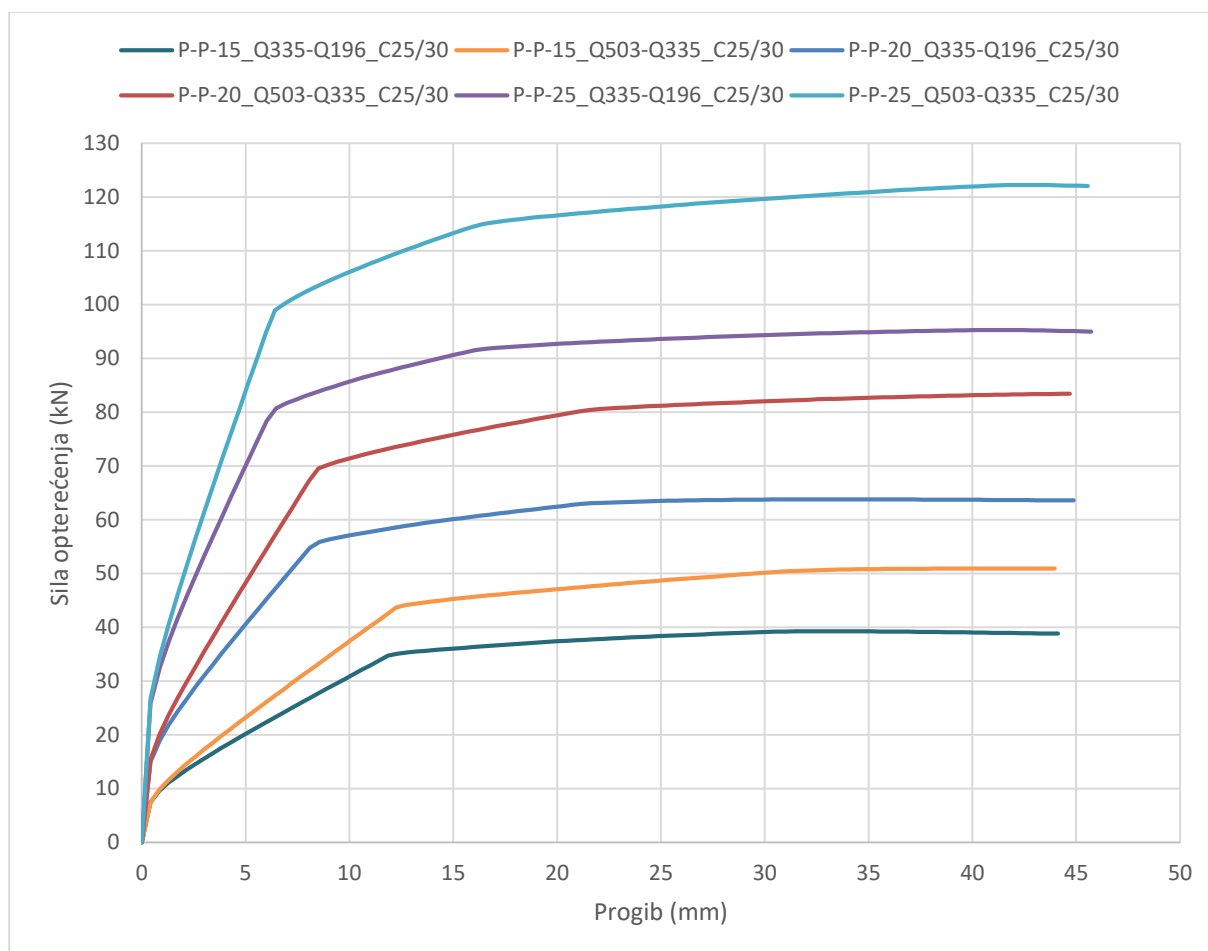
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	74,15	43,94
P-K-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	76,25	43,94
P-K-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	78,61	43,97
P-K-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	119,38	44,64
P-K-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	123,78	44,59
P-K-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	128,04	44,62
P-K-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	172,94	43,64
P-K-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	179,96	44,85
P-K-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	187,22	45,32

5.3.9 Klasa betona C25/30

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača od betona klase C25/30 od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača prije pojave prve pukotine. Povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 60 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 45 do 50 % veću maksimalnu nosivost na

savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 140 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti ne podrazumijevaju rast s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalno se povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 29 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 82 do 92 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.151, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.42.



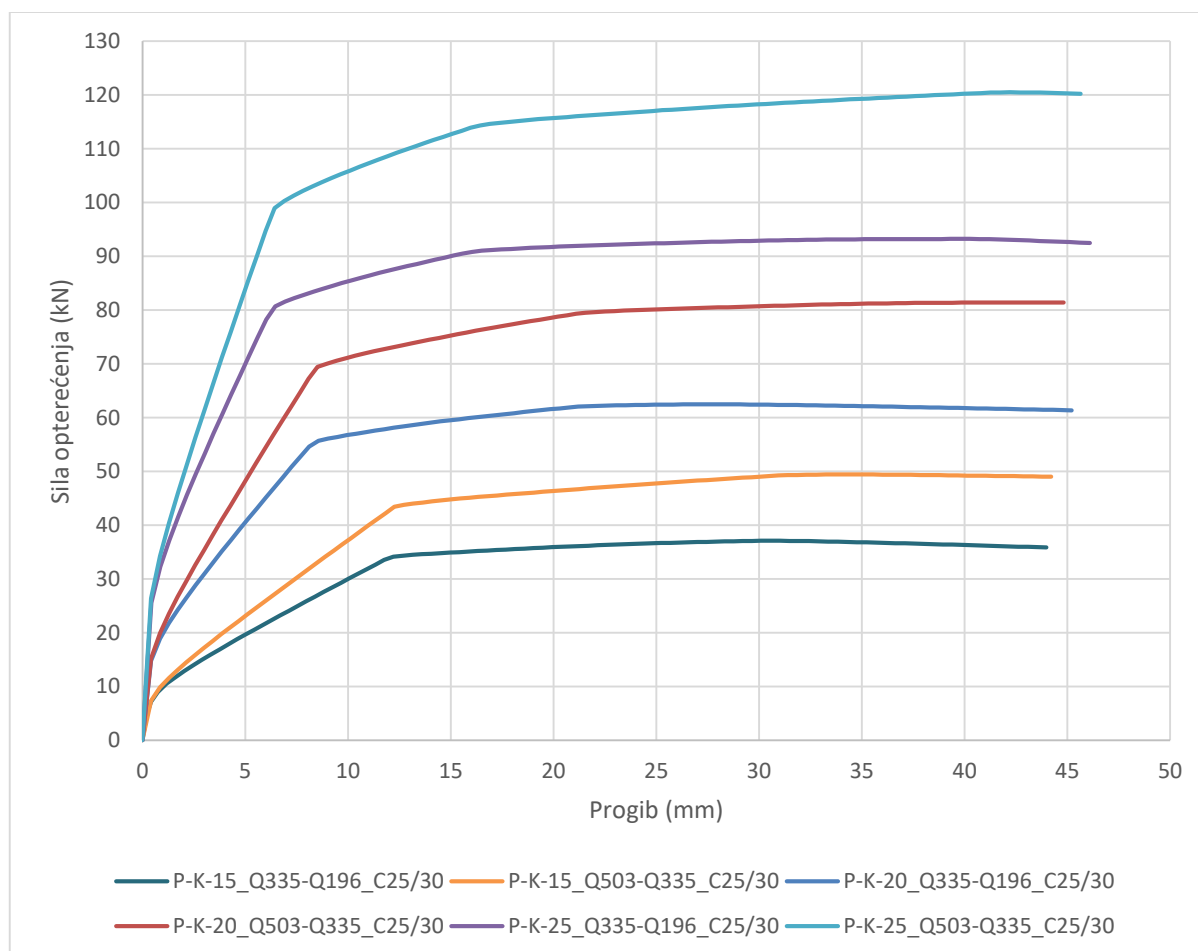
Slika 5.151: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.42: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/30 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C25/30	4,62	0,78	39,26	33,3
P-P-15_Q503-Q335_C25/30	4,66	0,77	50,94	43,08
P-P-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	75,36	43,91
P-P-20_Q335-Q196_C25/30	8,63	0,67	63,77	33,3
P-P-20_Q503-Q335_C25/30	8,67	0,66	83,43	44,69
P-P-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	120,54	44,63
P-P-25_Q335-Q196_C25/30	14,38	0,58	95,29	41
P-P-25_Q503-Q335_C25/30	14,43	0,57	122,25	42,65
P-P-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	174,21	44,86

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača prije pojave prve pukotine. Povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 65 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 48 do 49 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 145 do 150 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti ne podrazumijevaju rast s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora minimalno se povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave

pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 30 do 35 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 85 do 100 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/35 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.152, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.43.



Slika 5.152: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/35 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.43: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C25/35 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

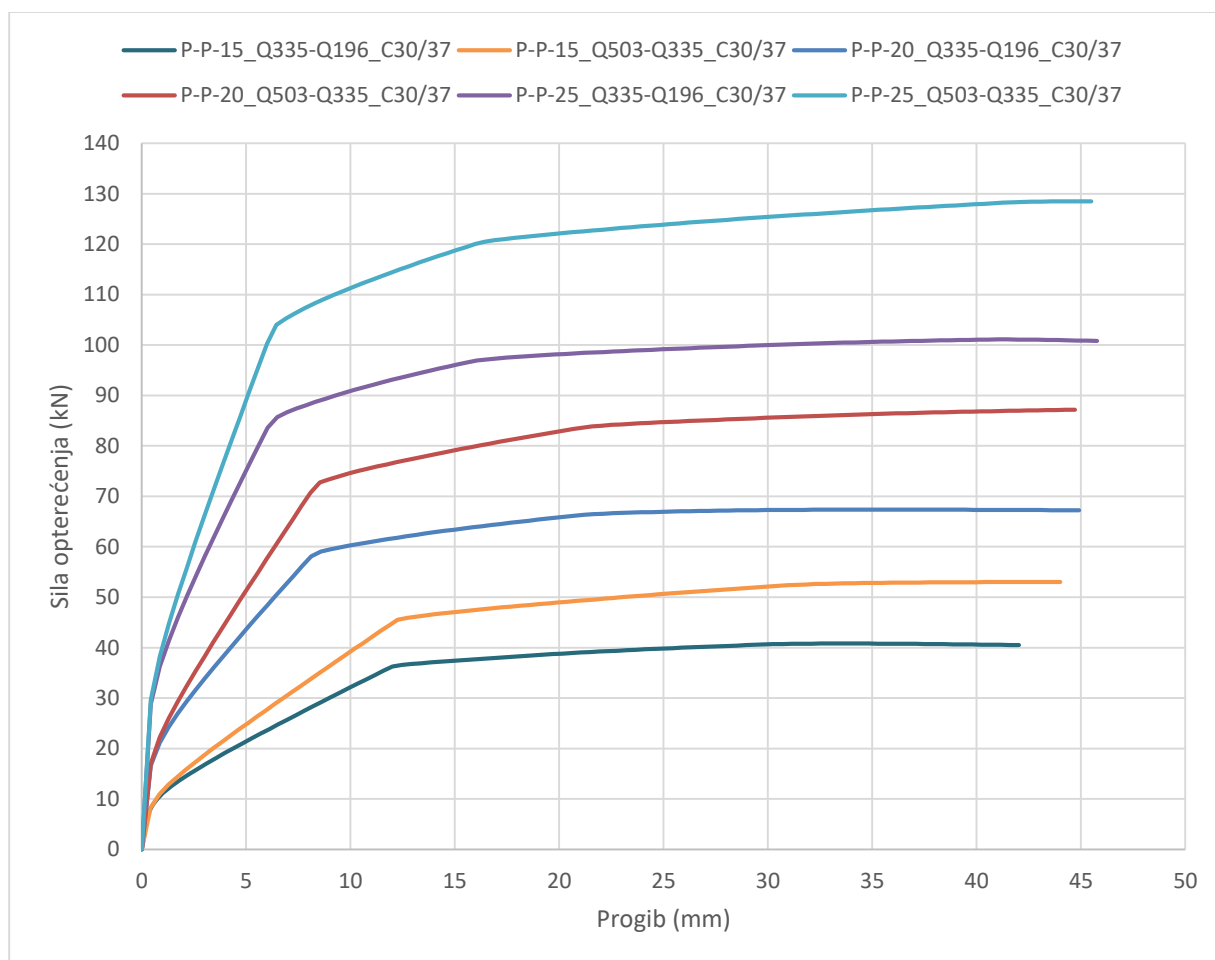
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q335-Q196_C25/30	4,61	0,78	37,12	30,55
P-K-15_Q503-Q335_C25/30	4,65	0,77	49,43	34,17
P-K-15_Q785-Q503_C25/30	4,77	0,75	74,15	43,94
P-K-20_Q335-Q196_C25/30	8,62	0,67	62,47	27,91
P-K-20_Q503-Q335_C25/30	8,66	0,66	81,42	44,83
P-K-20_Q785-Q503_C25/30	8,98	0,64	119,38	44,64
P-K-25_Q335-Q196_C25/30	14,37	0,58	93,23	40,25
P-K-25_Q503-Q335_C25/30	14,42	0,57	120,49	42,22
P-K-25_Q785-Q503_C25/30	14,77	0,55	172,94	43,64

5.3.10 Klasa betona C30/37

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača od betona klase C30/37 od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača prije pojave prve pukotine. Povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 65 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 45 do 50 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm

imaju za oko 145 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti ne podrazumijevaju rast s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalno se povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 27 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 80 do 90 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti najčešće rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.153, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.44.



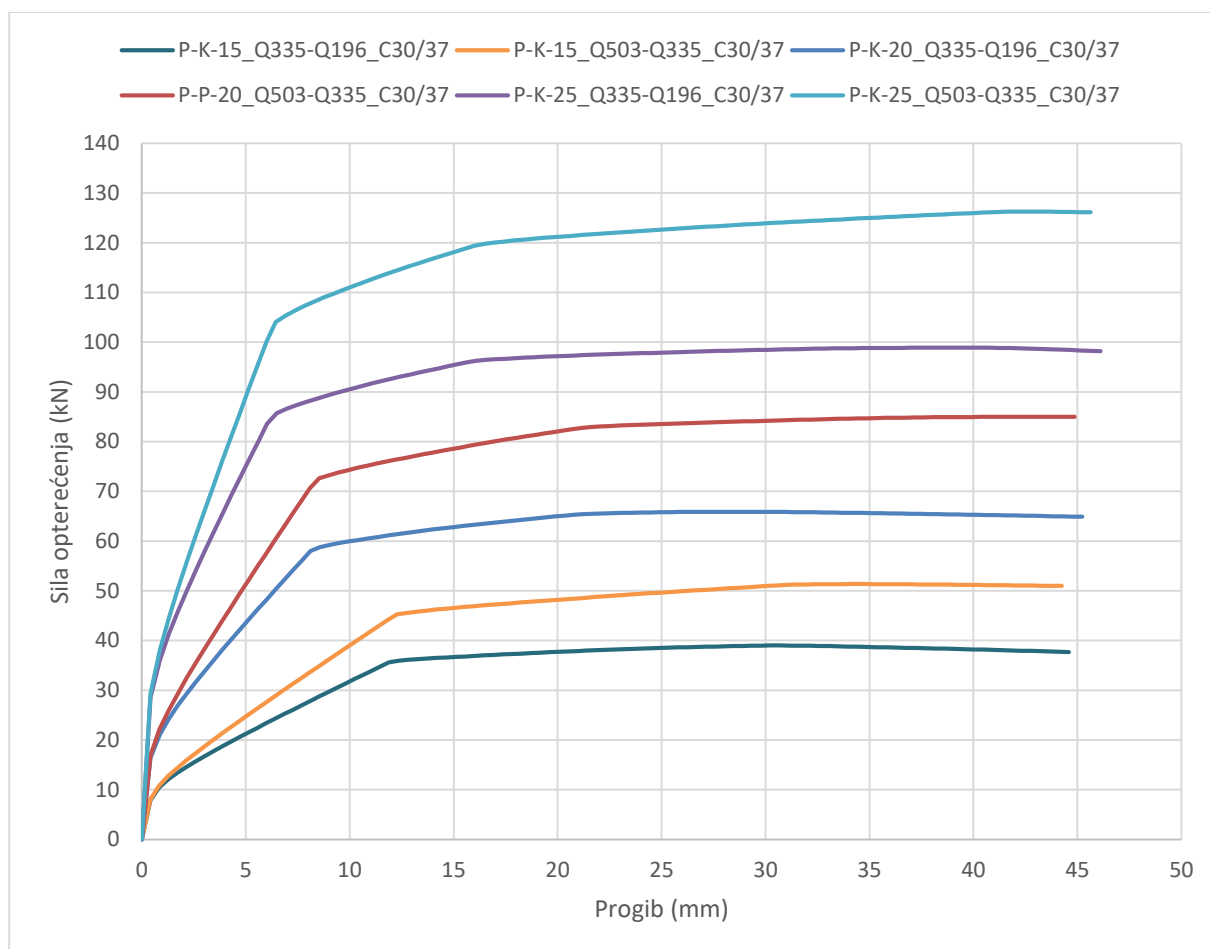
Slika 5.153: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.44: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C30/37	5,22	0,81	40,82	33,45
P-P-15_Q503-Q335_C30/37	5,26	0,8	53,02	44
P-P-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	77,83	43,86
P-P-20_Q335-Q196_C30/37	9,62	0,69	67,35	35,37
P-P-20_Q503-Q335_C30/37	9,67	0,68	87,18	44,71
P-P-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	125,36	44,58
P-P-25_Q335-Q196_C30/37	15,94	0,59	101,1	41,26
P-P-25_Q503-Q335_C30/37	15,99	0,58	128,5	44,54
P-P-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	181,46	45,09

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača prije pojave prve pukotine. Povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za otprilike 65 do 70 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 48 do 50 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 145 do 150 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti ne podrazumijevaju rast s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora minimalno se povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave

pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 30 do 35 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 80 do 95 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.154, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.45.



Slika 5.154: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.45: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C30/37 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

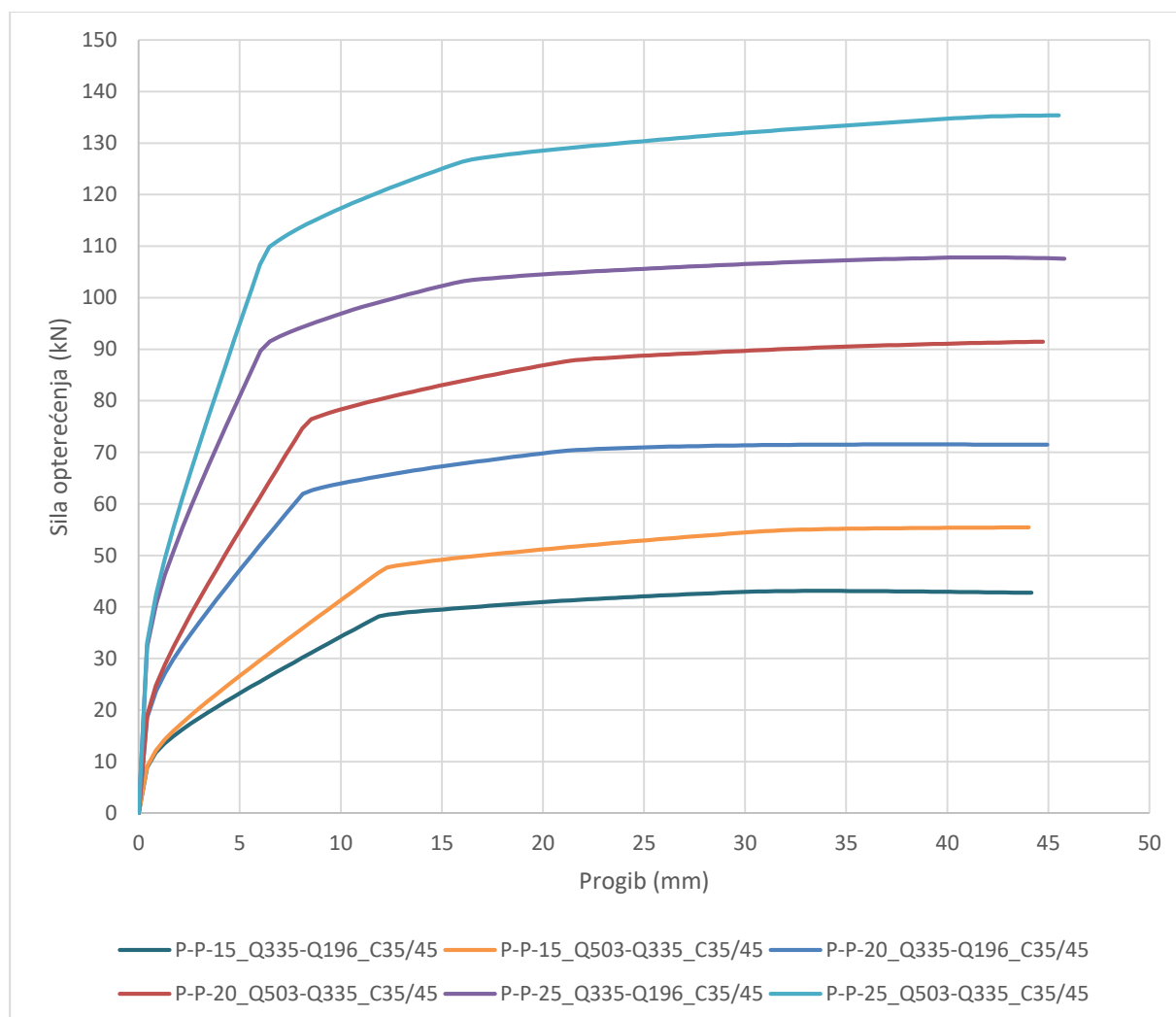
Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q335-Q196_C30/37	5,21	0,81	39	30,24
P-K-15_Q503-Q335_C30/37	5,25	0,8	51,35	34,43
P-K-15_Q785-Q503_C30/37	5,38	0,78	76,25	43,94
P-K-20_Q335-Q196_C30/37	9,61	0,69	65,89	28,63
P-K-20_Q503-Q335_C30/37	9,66	0,68	85,01	44,87
P-K-20_Q785-Q503_C30/37	9,97	0,65	123,78	44,59
P-K-25_Q335-Q196_C30/37	15,93	0,59	98,91	39,8
P-K-25_Q503-Q335_C30/37	15,98	0,58	126,26	42,49
P-K-25_Q785-Q503_C30/37	16,12	0,56	179,96	44,85

5.3.11 Klasa betona C35/45

Izmodelirano je ukupno 18 plošnih nosača od betona klase C35/45 od kojih je 9 plošnih nosača armirano mrežastom armaturom i s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima i preostalih 9 plošnih nosača je armirano mrežastom armaturom bez ugrađenih mikrovalnih rezonatora.

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača prije pojave prve pukotine. Povećanjem debljine plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za oko 65 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 48 do 50 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm

imaju za otprilike 145 do 150 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalno se povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 25 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 45 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 75 do 85 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti slično rastu s povećanjem armature plošnog nosača kao u slučaju povećanja debljine plošnog nosača. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima prikazana je na slici 5.155, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.46.



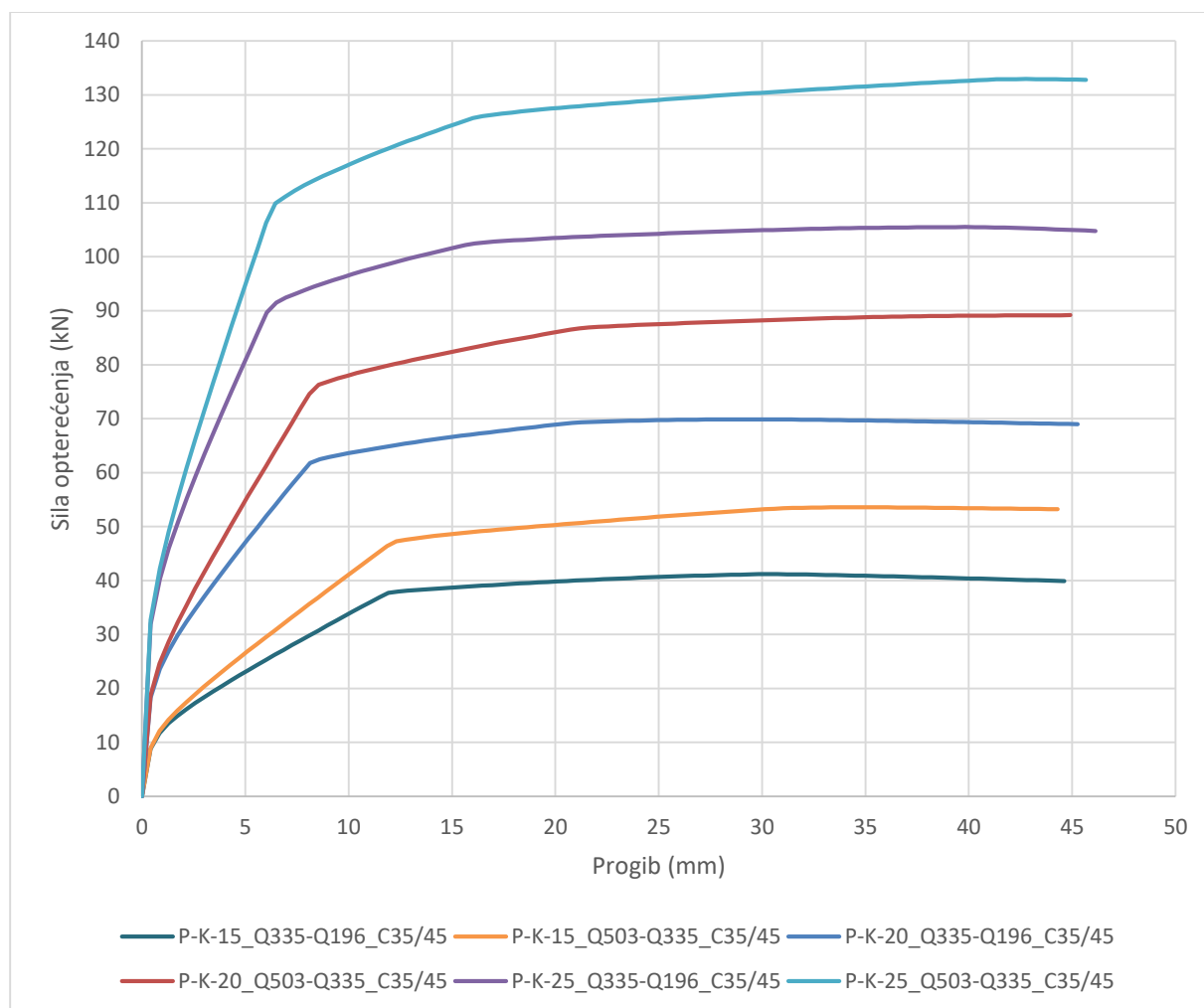
Slika 5.155: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Tablica 5.46: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-P-15_Q335-Q196_C35/45	5,87	0,85	43,12	33,34
P-P-15_Q503-Q335_C35/45	5,91	0,84	55,43	44,03
P-P-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	80,31	43,88
P-P-20_Q335-Q196_C35/45	11,26	0,72	71,53	38,12
P-P-20_Q503-Q335_C35/45	11,3	0,71	91,49	44,74
P-P-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	129,94	44,58
P-P-25_Q335-Q196_C35/45	18,7	0,61	107,84	41,28
P-P-25_Q503-Q335_C35/45	18,74	0,6	135,37	45,51
P-P-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	189,33	45,3

Iz rezultata se vidi kako se povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako plošni nosač s većom debljinom može izdržati veće opterećenje bez pojave pukotine. S druge strane progib pri pojavi prve pukotine blago opada s povećanjem debljine plošnog nosača, što znači kako se povećanjem debljine plošnog nosača smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača prije pojave prve pukotine. Povećanjem debljine plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači debljine 20 cm imaju za otprilike 65 do 70 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm, plošni nosači debljine 25 cm imaju za oko 50 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju za otprilike 150 do 155 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm. Progibi pri maksimalnoj nosivosti ne podrazumijevaju rast s povećanjem debljine plošnog nosača. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora minimalno se povećava moment pri pojavi prve pukotine, što znači kako mrežasta armatura za nijansu pozitivno utječe na nosivost prije pojave pukotine. S

druge strane progib pri pojavi prve pukotine minimalno opada s povećanjem armature plošnog nosača, što znači kako se povećanjem armature plošnog nosača za nijansu smanjuje ukupna elastičnost plošnog nosača do pojave prve pukotine. Povećanjem mrežaste armature plošnih nosača bez čeličnih mikrovalnih rezonatora povećava se maksimalna nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 25 do 30 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 80 do 90 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Progibi pri maksimalnoj nosivosti rastu s povećanjem armature plošnog nosača. Usporedba rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora prikazana je na slici 5.156, dok je tablični prikaz navedene usporedbe rezultata prikazan u tablici 5.47.



Slika 5.156: Grafički prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Tablica 5.47: Tablični prikaz usporedbe rezultata ispitivanja plošnih nosača od betona klase C35/45 bez čeličnih mikrovalnih rezonatora

Plošni nosač	Moment pri pojavi prve pukotine (kNm)	Progib pri pojavi prve pukotine (mm)	Maksimalna nosivost (kN)	Progib pri maksimalnoj nosivosti (mm)
P-K-15_Q335-Q196_C35/45	5,85	0,85	41,19	30,29
P-K-15_Q503-Q335_C35/45	5,9	0,84	53,57	34,7
P-K-15_Q785-Q503_C35/45	5,96	0,82	78,61	43,97
P-K-20_Q335-Q196_C35/45	11,25	0,72	69,87	29,58
P-K-20_Q503-Q335_C35/45	11,29	0,71	89,18	44,91
P-K-20_Q785-Q503_C35/45	11,38	0,69	128,04	44,62
P-K-25_Q335-Q196_C35/45	18,6	0,61	105,52	39,82
P-K-25_Q503-Q335_C35/45	18,73	0,6	132,94	42,78
P-K-25_Q785-Q503_C35/45	18,92	0,59	187,22	45,32

5.4 Zaključci parametarske analize

Iz navedenih rezultata parametarske analize u kojoj su uspoređeni numerički modeli plošnih nosača s i bez čeličnih mikrovalnih rezonatora, modeli plošnih nosača s različitim debljinama, modeli plošnih nosača s različitim armaturama i modeli plošnih nosača s različitim klasama betona doneseno je nekoliko zaključaka. Nakon predstavljanja numeričkih modela plošnih nosača usporedili su se numerički rezultati modela plošnih nosača jednakih debljina, armatura i klasa betona ali jedni plošni nosači su s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima, dok su drugi bez mikrovalnih rezonatora. Usporedba rezultata pokazala je kako do pojave prve pukotine čelični mikrovalni rezonatori nemaju nikakvog utjecaja na ponašanje plošnog nosača. Razlog tomu je činjenica da se mikrovalni rezonatori nalaze ispod gornje zone armature, znači u tlačnoj zoni plošnog nosača (iznad neutralne osi), dok se prva pukotina javlja u vlačnoj zoni i nešto što se nalazi u tlačnoj zoni ne može imati nikakav utjecaj na vlačnu zonu plošnog nosača do pojave prve pukotine. Iz rezultata parametarske analize potvrđuje se kako čelični mikrovalni rezonatori pozitivno doprinose nosivosti plošnog nosača, pogotovo s obzirom na činjenicu kako je u svim

numeričkim modelima parametarske analize veća nosivost plošnih nosača s ugrađenim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na plošne nosače bez mikrovalnih rezonatora. Prema rezultatima parametarske analize maksimalna nosivost na savijanje plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima je za otprilike 1 do 6 % veća od maksimalne nosivosti plošnih nosača bez mikrovalnih rezonatora, što znači kako su prema numeričkim modelima koeficijenti povećanja nosivosti plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima u odnosu na plošne nosače bez mikrovalnih rezonatora jednaki od 1,01 do 1,06. Povećanje debljine plošnih nosača ima najveći utjecaj na nosivost plošnog nosača na savijanje, zatim povećanje armature i najmanji utjecaj na nosivost na savijanje plošnog nosača ima povećanje klase betona. Plošni nosači debljine 20 cm imaju veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm za otprilike 60 do 70 %, plošni nosači debljine 25 cm imaju veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 20 cm za otprilike 45 do 50 %, dok plošni nosači debljine 25 cm imaju veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače debljine 15 cm za otprilike 135 do 155 %. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni imaju za otprilike 25 do 35 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 40 do 50 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q503 u donjoj, a Q335 u gornjoj zoni. Plošni nosači armirani mrežastom armaturom Q785 u donjoj, a Q503 u gornjoj zoni imaju za otprilike 75 do 100 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače armirane mrežastom armaturom Q335 u donjoj, a Q196 u gornjoj zoni. Plošni nosači od klase betona C30/37 imaju za otprilike 3,8 do 6 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase betona C25/30, plošni nosači od klase betona C35/45 imaju za otprilike 4 do 7 % veću maksimalnu nosivost na savijanje u odnosu na plošne nosače od klase betona C30/37, dok plošni nosači od klase C35/45 imaju za otprilike 8 do 13 % veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače od klase C25/30. Mrežasta armatura ima najveći utjecaj na povećanje progiba pri maksimalnoj nosivosti, dok kod povećanja debljine ili klase plošnog nosača nije dokazano apsolutno povećanje progiba pri maksimalnoj nosivosti, što znači kako mrežasta armatura ima najveći utjecaj na povećanje

elastičnosti plošnog nosača. Za povećanje momenta pri pojavi prve pukotine najveći utjecaj ima povećanje debljine plošnog nosača, ali treba naglasiti i kako povećanje debljine plošnog nosača rezultira manjim progibom pri pojavi prve pukotine, što je dokaz kako povećanjem debljine dolazi do povećanja krutosti plošnog nosača. Klasa betona ima slab ali pozitivan utjecaj na povećanje momenta savijana i progiba pri pojavi prve pukotine. Mrežasta armatura ima minimalan utjecaj na pojavu prve pukotine, iz razloga jer prije pojave prve pukotine gotovo svo naprezanje preuzima beton, a prava uloga armature počinje tek nakon prekoračenja vlačne čvrstoće betona čime se pojavljuje prva pukotina.

6. Zaključak i smjernice za daljnja istraživanja

6.1 Zaključak

Tema armiranobetonskih konstrukcijskih elemenata poboljšane otpornosti na prodor EM zračenja obradila se iz razloga ispitivanja sposobnosti korištenja betonskih plošnih nosača pojačanih različitim materijalima u tu svrhu. Pri tome je bitno da se ne izgubi na nosivosti u odnosu na referentne plošne nosače pojačane samo mrežastom armaturom. Ostvareni su specifični ciljevi postavljeni na početku istraživanja:

- određen je sastav smjese betona s dodacima koji je pružio zaštitu od neionizirajućeg EM zračenja u frekvencijskom opsegu koji odgovara frekvencijama od radio valova do frekvencija mobilne mreže 5G, utvrđena je razina oklapanja i prigušeno EM zračenje,
- istražena je i utvrđena razina oklapanja na stvarnim plošnim AB elementima (uzorcima plošnih nosača) za pretpostavljene smjese i dodatke,
- istražena je otpornost na savijanje plošnih nosača koji pokazuju najbolja EM svojstva kako bi se utvrdilo na koji način dodaci betonu utječu na razinu nosivosti i pokazalo se kako plošni nosači koji pokazuju najbolja svojstva imaju veću nosivost na savijanje u odnosu na referentne plošne nosače,
- na temelju rezultata ispitivanja plošnih nosača određeni su koeficijenti redukcije ili povećanja nosivosti AB plošnih nosača na savijanje,
- dane su smjernice za primjenu izabranih materijala u plošnim nosačima u daljnjim istraživanjima.

Istraživanja i eksperimentalna ispitivanja pokazala su kako najbolju učinkovitost zaštite od EM zračenja pokazuju plošni nosači pojačani čeličnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom, kao i da čelični mikrovalni rezonatori ne umanjuju mehanička svojstva betonskog plošnog nosača i otpornost na savijanje. Početak naznačenog istraživanja bio je pregled dosadašnjih istraživanja, a nastavljeno je s eksperimentalnim ispitivanjima u laboratoriju. Također je izvršena provjera nosivosti i progiba naznačenih

nosača numeričkim proračunom u programu Ansys kao i analitičkim proračunom prema HRN EN 1992-1-1:2013 [7].

Istraživanjem su utvrđeni sljedeći zaključci:

- Uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom, uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim i ugljičnim vlaknima i uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima nemaju posebno veliki utjecaj na refleksiju EM zračenja, ali utječu na zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na uzorke betonskih plošnih nosača bez ikakvih dodataka. Primjerice, u tablici 3.70 može se vidjeti kako u spektru ultra visoke frekvencije mjerenog Hyperlog antenom kod uzoraka plošnog nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalni koeficijent transmisije S_{21} iznose od -78,7 do -87,3 dB, kod nearmiranog uzorka plošnog nosača bez ikakvih dodataka u istom spektru minimalna vrijednost koeficijenta transsmisije S_{21} iznosi -53,94 dB, dok kod uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} iznosi -55,67 dB, što znači kako u ovom spektru čelični mikrovalni rezonatori povećavaju zaštitu od prodora EM zračenja za oko 30 dB. To je pokazatelj značajnog poboljšanja koje se dobiva uporabom naznačenih dodataka.
- Debljina uzorka plošnog nosača nema utjecaj na koeficijente transmisije S_{21} , tako da se povećanjem debljine uzorka plošnog nosača vrijednosti S_{21} i S_{12} nužno ne smanjuju. Primjerice, u tablici 3.20 vidljivo je kako nearmirani uzorak plošnog nosača debljine 30 cm ima najbolja svojstva zaštite od EM zračenja pri frekvenciji od 9,4 GHz pri kojoj vrijednost koeficijenta transmisije EM zračenja iznosi -100,94 dB, uzorak plošnog nosača debljine 20 cm najbolja svojstva zaštite od EM zračenja ima pri frekvenciji 14,47 GHz pri kojoj vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} iznosi -93,13 dB, dok uzorak plošnog nosača debljine 10 cm najbolja svojstva zaštite od EM zračenja ima pri frekvenciji 13,22 GHz pri kojoj vrijednost koeficijenta transmisije S_{21} iznosi -97,54 dB. Može se zaključiti kako veća debljina uzorka plošnog nosača ne podrazumijeva veću zaštitu od prodora EM zračenja.

- Eksperimentalna ispitivanja pokazala su kako uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim križnim mikrovalnim rezonatorima pokazuju najbolja svojstva zaštite od prodora EM zračenja. Može se vidjeti kako svi uzorci plošnih nosača pokazuju zaštitu od transmisije EM zračenja. Uzorak plošnog nosača armiran mrežastom armaturom Q785 pokazuje veću zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na nearmirani uzorak plošnog nosača, ali manju zaštitu od transmisije EM zračenja u odnosu na uzorke plošnih nosača s ugrađenim čeličnim križnim mikrovalnim rezonatorima. Pri frekvenciji od 13,92 GHz plošni nosač pojačan s mrežastom armaturom ima najmanju vrijednost koeficijenta transmisije u vrijednosti od -89,29 dB, što je manji koeficijent transmisije u odnosu na plošni nosač bez dodataka, a veći od plošnih nosača pojačanih mikrovalnim rezonatorima.
- Uzorci plošnih nosača pojačani čeličnim i ugljičnim vlaknima, kao i uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785, imaju bolju učinkovitost zaštite od prodora EM zračenja u odnosu na nearmirane uzorke plošnih nosača, ali manju učinkovitost zaštite u odnosu na uzorke plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima. Za razliku od čeličnih mikrovalnih rezonatora za koje se može zaključiti kako pružaju apsolutnu zaštitu od prodora EM zračenja u bilo kojem rasponu frekvencija, to se ne može reći za mrežastu armaturu, čelična i ugljična vlakna. Primjerice, iz tablice 3.72 vidi se kako u spektru super visoke frekvencije kod uzorka plošnog nosača armiranog mrežastom armaturom Q785 minimalni koeficijent transmisije S_{21} iznosi -89,29 dB, kod uzorka plošnog nosača pojačanog s čeličnim vlaknima minimalni koeficijent transmisije S_{21} iznosi -85,22 dB, kod uzorka plošnog nosača pojačanog s ugljičnim vlaknima minimalni koeficijent transmisije iznosi -89,31 dB, kod uzoraka plošnog nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima minimalni koeficijenti transmisije S_{21} iznose -104 i -105 dB, dok u istom spektru kod nearmiranog uzorka plošnog nosača minimalni koeficijent transmisije S_{21} iznosi -93,31 dB. Iz rezultata se može zaključiti kako križnim čelični mikrovalni rezonatori pokazuju apsolutno najbolju zaštitu na prodor EM zračenja, dok za ostala pojačanja postoje rasponi frekvencija u kojima uopće ne pružaju zaštitu od prodora EM zračenja.

- Eksperimentalna ispitivanja dokazuju kako plošni nosači pojačani čeličnim križnim mikrovalnim rezonatorima ne umanjuju nosivost plošnog nosača na savijanje. Plošni nosači pojačani čeličnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom imaju veću nosivost i manji progib pri otkazivanju nosivosti u odnosu na referentne plošne nosače pojačane samo mrežastom armaturom. Međutim, referentni plošni nosači pojačani samo mrežastom armaturom mogu podnijeti veće opterećenje do pojave prve pukotine u odnosu na plošne nosače pojačane čeličnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom. Razlog tomu je što čelični mikrovalni rezonatori ukrućuju plošni nosač.
- Numeričkim proračunom u programu Ansys također je dokazano kako plošni nosači ne umanjuju nosivost plošnog nosača na savijanje. Time su potkrijepljeni najvažniji dokazi eksperimentalnih ispitivanja. Dakle, i numeričkim putem se pokazuje kako naznačeni nosači imaju veću maksimalnu nosivost u odnosu na plošne nosače pojačane samo mrežastom armaturom.
- Za razliku od eksperimentalno dobivenih rezultata, prema numeričkom proračunu u programu Ansys moment pri pojavi prve pukotine plošnog nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima je gotovo jednak (za nijansu veći) u odnosu na moment pri pojavi prve pukotine plošnog nosača bez mikrovalnih rezonatora, dok je progib pri pojavi prve pukotine potpuno jednak kod plošnog nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima i kod plošnog nosača bez mikrovalnih rezonatora, čime se pokazuje kako mikrovalni rezonatori ispod gornje zone armature nemaju gotovo nikakvog utjecaja na plošni nosač prije pojave prve pukotine. Razlog tomu je činjenica kako se mikrovalni rezonatori nalaze ispod gornje zone armature, što znači kako se nalaze u tlačnoj zoni. Prva pukotina se javlja isključivo zbog prekoračenja vlačne čvrstoće betona, događa se u vlačnoj zoni i ne mogu na to utjecati mikrovalni rezonatori iz tlačne zone plošnog nosača. Mogući razlozi zašto nije takav slučaj kod eksperimentalnih ispitivanja su činjenice kako beton ne može nikad imati ponašanje identično kao u numeričkim ili analitičkim modelima, kao i mogućnost da su se pojedini mikrovalni rezonatori spustili djelomično ispod

neutralne osi i samim time utjecali na povećanje krutosti vlačne zone plošnog nosača.

- Eksperimentalnim ispitivanjima i proračunom u programu Ansys potvrđena je mehanička otpornost plošnih nosača pojačanih čeličnim križnim mikrovalnim rezonatorima za zaštitu od EM zračenja na razini materijala i konstrukcijskih elemenata.
- Iz dobivenih rezultata može se zaključiti kako čelični mikrovalni rezonatori pridonose većoj čvrstoći plošnih nosača na savijanje, ali manjoj elastičnosti, tj. pridonose manjem progibu pri otkazivanju nosivosti, ali i ranijoj i lakšoj pojavi pukotina.
- Iz provedenih ispitivanja također se može zaključiti kako čelični mikrovalni rezonatori ne umanjuju mehanička svojstva plošnih nosača kao ni nosivost na savijanje.
- Iz provedene parametarske analize može se zaključiti kako čelični mikrovalni rezonatori smješteni u gornjoj zoni nemaju utjecaj na moment savijanja i progib pri pojavi prve pukotine, i potvrđeni su rezultati eksperimentalnih ispitivanja kako čelični mikrovalni rezonatori pozitivno doprinose povećanjem nosivosti plošnih nosača na savijanje. Iz parametarske analize također se može zaključiti povećanje debljine, mrežaste armature i klase betona rezultiraju većoj nosivosti na savijanje. Povećanje debljine plošnog nosača ima najveći utjecaj na porast momenta pri pojavi prve pukotine, dok se progib pri pojavi prve pukotine smanjuje, znači plošni nosač se ukrućuje povećanjem debljine. Povećanje debljine također ima najveći utjecaj na povećanje nosivosti plošnog nosača na savijanje. Mrežasta armatura ima minimalni utjecaj na ponašanje plošnog nosača do pojave prve pukotine iz razloga jer do pojave prve pukotine beton preuzima opterećenje na sebe, dok armatura počinje djelovati na povećanje nosivosti nakon pojave prve pukotine, odnosno nakon dosezanja vlačne čvrstoće betona. Mrežasta armatura ima dobar utjecaj na povećanje nosivosti plošnog nosača, ali ima najveći utjecaj na povećanje progiba pri maksimalnoj nosivosti, što je dokaz kako mrežasta armatura pored dobrih svojstava na povećanje savojne čvrstoće plošnih nosača ima i najveći utjecaj na povećanje elastičnosti plošnog nosača. Povećanje klase betona od kojeg je izrađen plošni

nosač ima na ponašanje betona pri pojavi prve pukotine manji utjecaj u odnosu na povećanje debljine plošnog nosača, a veći utjecaj u odnosu na povećanje armature u plošnom nosaču, iz razloga jer povećanjem klase betona dolazi do povećanja vlačne čvrstoće i modula elastičnosti betona od kojeg je izrađen plošni nosač, što znači kako plošni nosač od veće klase betona može izdržati malo veće opterećenje i malo veći progib do pojave prve pukotine. Klasa betona ima dosta manji utjecaj na nosivost plošnog nosača na savijanje u odnosu na debljinu plošnog nosača i armaturu kojom je plošni nosač armiran.

Doktorskim radom dokazane su postavljene hipoteze:

- H1: Dodaci i umetci u betonu (ugljična vlakna, ugljične nanočestice, čelični prstenovi) pridonose razini oklapanja armiranobetonskih plošnih elemenata – zidova i međukatnih konstrukcija. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja zaštite na prodor EM zračenja pokazali su kako uzorci plošnih nosača armirani mrežastom armaturom Q785, pojačani ugljičnim ili čeličnim vlaknima i uzorci plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju manje vrijednosti koeficijenta transmisije S_{21} u odnosu na nearmirani uzorak plošnog nosača, što znači kako navedeni uzorci plošnih nosača pružaju bolja svojstva EM oklapanja u odnosu na nearmirani uzorak plošnog nosača.
- H2: Izradom plošnih armiranobetonskih elemenata s odabranim dodacima betonu postići će se prigušenje elektromagnetskog zračenja od 20 dB do 30 dB. Ta hipoteza je dokazana pošto je na dosta frekvencija koeficijent transmisije S_{21} kod uzoraka plošnih nosača s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima za 20 do 30 dB manja u odnosu na koeficijent transmisije S_{21} nearmiranog uzorka plošnog nosača, iz čega se zaključuje kako se na dosta frekvencija dodatkom čeličnim mikrovalnim rezonatora postiže prigušenje od 20 do 30 dB.
- H3: Armiranobetonski plošni nosači imat će zadovoljavajuću razinu savojne otpornosti i stabilnosti, a proračun će se vršiti uz faktore redukcije/povećanja nosivosti u odnosu na obične armiranobetonske plošne nosače. Ta hipoteza je također dokazana iz razloga jer je maksimalna nosivost na savijanje plošnog

nosača armiranog mrežastom armaturom i s ugrađenim čeličnim mikrovalnim rezonatorima veća u odnosu na kontrolni plošni nosač armiran mrežastom armaturom. Ti rezultati pokazuju kako mikrovalni rezonatori ne djeluju negativno na savijanje plošnog nosača, čak pozitivno djeluju na nosivost na savijanje, čime se dokazuje kako armiranobetonski plošni nosači pojačani čeličnim mikrovalnim rezonatorima imaju zadovoljavajuću razinu savojne otpornosti i stabilnosti. Također izvršen je proračun koeficijenta redukcije/smanjenja nosivosti u odnosu na obične armiranobetonske plošne nosače.

6.2 Znanstveni doprinosi

Nakon provedenih eksperimentalnih istraživanja i simulacija numeričkih modela, dobiveni su sljedeći doprinosi u području tehničkih znanosti:

- Utvrđeni su značajni utjecaji različitih dodataka i umetaka u betonu na zaštitu od EM zračenja bez štetnih utjecaja na nosivost konstrukcije.
- Utvrđena je otpornost na savijanje plošnih nosača s ugrađenim materijalima za zaštitu od EM zračenja na razini materijala i konstrukcijskih elemenata.
- Izračunati su koeficijenti redukcije ili povećanja nosivosti u odnosu na obične AB elemente. Utvrđeno je povećanje nosivosti armiranobetonskih konstrukcijskih elemenata poboljšane otpornosti na prodor EM zračenja u odnosu na obične armiranobetonske elemente.
- Razvijen je novi numerički model složenog materijala armiranobetonskih konstrukcijskih elemenata i dodataka od čeličnih mikrovalnih rezonatora koji se može koristiti za provođenje daljnjih analiza u budućnosti.

6.3 Smjernice za daljnja istraživanja

Na temelju provedenih dosadašnjih eksperimentalnih istraživanja i numeričkih proračuna uočila se potreba za novim i daljnjim istraživanjima u području utjecaja mikrovalnih rezonatora na zaštitu od EM zračenja, kao i na samu nosivost betonskih plošnih nosača. S obzirom na to da plošni nosači pojačani čeličnim ili ugljičnim vlaknima pokazuju bolja svojstva za zaštitu od prodora EM zračenja u odnosu na plošne nosače pojačane mrežastom armaturom, može se pretpostaviti kako bi plošni

nosači pojačani čeličnim ili ugljičnim vlaknima i čeličnim mikrovalnim rezonatorima pokazivali bolja svojstva zaštite od EM zračenja u odnosu na plošne nosače pojačane mrežastom armaturom i mikrovalnim rezonatorima. U daljnjim istraživanjima potrebno je ispitati dodatnu učinkovitost zaštite od prodora EM zračenja i mehanička svojstva plošnih nosača koji bi se pojačali, pored čeličnih mikrovalnih rezonatora, također i čeličnim ili karbonskim vlaknima.

Naime, do sada se plošni nosači pojačani čeličnim ili ugljičnim vlaknima nisu ispitivali na nosivost na savijanje pa se stoga ne može zaključiti kakvi bi se rezultati dobili i kakva se očekuje mehanička nosivost plošnih nosača koji bi se pojačali naznačenim vlaknima.

Također, jedno od sljedećih istraživanja bilo bi ispitivanje sposobnosti zaštite od EM zračenja i nosivosti na savijanje plošnih nosača izrađenih od betona pomiješanog s čeličnim ili ugljičnim vlaknima pojačanim mrežastom armaturom u gornjoj i donjoj zoni i čeličnim mikrovalnim rezonatorima ispod gornje zone. Može se pretpostaviti kako bi naznačeni plošni nosači pružili najveću učinkovitost zaštite na prodor EM zračenja, a s druge strane, uopće ne bi štetili mehaničkim svojstvima plošnih nosača.

U daljnjim istraživanjima planira se uzeti u obzir i ekonomska komponenta istraživanja. Naime, ako ugrađivanje određenih dodataka koji poboljšavaju EM svojstva u betonske plošne nosače značajno poskupljuje izradu konstrukcije, onda bez obzira na prednosti ove ugradnje može se utvrditi eventualna financijska neisplativost. Dakle, sljedeća istraživanja mogla bi ići u smjeru određivanja utroška količine čeličnih mikrovalnih rezonatora potrebnih za armiranje nekoliko plošnih nosača. Nakon toga, potrebno je usporediti financijsku konstrukciju izrade plošnih nosača pojačanih čeličnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom s troškovima referentnih plošnih nosača pojačanih samo mrežastom armaturom. Ako se utvrdi kako je značajna razlika u troškovima izrade plošnih nosača pojačanih čeličnim mikrovalnim rezonatorima i mrežastom armaturom u odnosu na troškove izrade referentnih plošnih nosača, takva činjenica mogla bi dovesti do zaključka kako se čelični mikrovalni rezonatori ne bi trebali koristiti u praksi za izgradnju konstrukcijskih objekata zbog financijskih razloga. Ako se utvrdi kako razlika u troškovima nije značajna, odnosno kako je korist od učinkovitosti zaštite od prodora EM zračenja veća u odnosu na razliku

u troškovima, plošni nosači pojačani čeličnim mikrovalnim rezonatorima koristit će se za izgradnju konstrukcijskih objekata na mjestima na kojima je potrebna povećana zaštita od prodora EM zračenja. U svakom slučaju u radu je dokazano kako je njihova primjena itekako važna iz višestrukih razloga.

Literatura

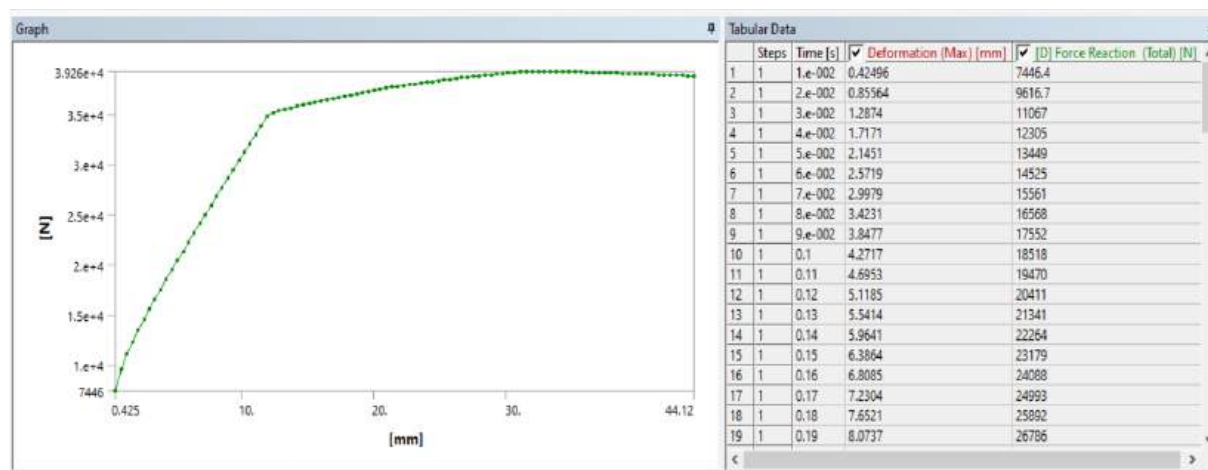
- [1] <https://enciklopedija.hr/clanak/elektromagnetski-valovi>
- [2] Parlamentarna skupština Vijeća Europe (PAC) – Rezolucija 1815 (2011.): „The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment“
- [3] „Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 HGz)“, *Health Physics* 74(4):494-522 (1998)
- [4] Saini, P., Choudhary, V., Vijayan, N., Kotnala, R. K. (2012). Improved electromagnetic interference shielding response of poly(aniline)-coated fabrics containing dielectric and magnetic nanoparticles, *J. Phys. Chem. C*, vol. 116, no. 24, pp. 13403–13412, 2012, doi: 10.1021/jp302131w.
- [5] Lee, H. H., Yen, T. (2010). Upgrading on Cement-Mortar Properties for Electromagnetic Wave Shielding in Buildings, 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE)
- [6] ANSYS, User's Guide, Canonsburg, Pennsylvania
- [7] Eurocode 2 (2013): Projektiranje betonskih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (HRN EN 1992-1-1:2013)
- [8] Lingvay, I., Velciu, G., Lingvay, D., Bors, A. M., Moanta, A. (2019). Increasing shielding capabilities of cement mortars by fly ash addition, *Rev. Chim.*, vol. 70, no. 8, pp. 2742–2746, 2019, doi: 10.37358/rc.19.8.7419.
- [9] Velciu, G., Marinescu, V., Moanta, A., Radermacher, L., Bors, A. M. (2018). The influence of the ash addition from thermal power plant on the mechanical, thermal and dielectric characteristics of mortars, *Rev. Chim.*, vol. 69, no. 8, pp. 2040–2044, 2018, doi: 10.37358/rc.18.8.6469.
- [10] Zornoza, E., Catala, G., Jimenez, F., Andion, L. G., Garces, P., (2010). Electromagnetic interference shielding with Portland cement paste containing carbon materials and processed fly ash, *Materiales de Construcción*, Vol. 60, 300, 21-32, ISSN: 0465-2746, eISSN: 1988-3226, doi: 10.3989/mc.2010.51009
- [11] Kim, B.-J., Kim, K.-W., (2020). Carbon fiber-reinforced composites for EMI shielding, *Materials for potential EMI shielding applications*, doi:10.1016/B978-0-12-817590-3.00013-0
- [12] Mei, X., Lu, L., Xie, Y., Yu, Y.-X., Tang, Y., The, K. S., (2020). Preparation of Flexible Carbon Fiber Fabrics with Adjustable Surface Wettability for High-Efficiency Electromagnetic Interference Shielding, *Applied Materials and Interfaces*, <https://dx.doi.org/10.1021/acsami.0c08868>, American Chemical Society
- [13] Keskin, H. I., Ozen, S., Ates, K., Polat, L. N., (2019). Analysis and Measurement of the Electromagnetic Shielding Efficiency of the Multi-layered Carbon Fiber Composite Fabrics, *Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS - SPRING)*, Rome, Italy, 17-20 June
- [14] Lu, S., Bai, E., Xu, J., Chen, J., (2021). Research on electromagnetic properties and microwave deicing performance of carbon fiber modified concrete, *Construction and Building Materials* 286, 122868, Elsevier
- [15] Gonzalez, M., Mokry, G., de Nicolas, M., Baselga, J., Pozuelo, J., (2016). Carbon Nanotube Composites as Electromagnetic Shielding Materials in GHz Range, <http://dx.doi.org/10.5772/62508>

- [16] Jung, M., Soon Lee, Y., Hong, S. G., Moon, J. (2020). Carbon nanotubes (CNTs) in ultra-high performance concrete (UHPC): Dispersion, mechanical properties, and electromagnetic interference (EMI) shielding effectiveness (SE), *Cement and Concrete Composites*, 114, 103734, doi: 10.1016/j.cemconres.2020.106017.
- [17] ASTM D4935-18 Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials, (2018).
- [18] IEEE-STD-299 IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, (2007).
- [19] Jung, M., Lee, Y. S., Hong, S. G. (2019). Effect of Incident Area Size on Estimation of EMI Shielding Effectiveness for Ultra-High Performance Concrete with Carbon Nanotubes, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 183105–183117, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958633.
- [20] Micheli D. et al. (2014). Electromagnetic characterization and shielding effectiveness of concrete composite reinforced with carbon nanotubes in the mobile phones frequency band, *Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol.*, vol. 188, pp. 119–129, 2014, doi: 10.1016/j.mseb.2014.07.001.
- [21] Micheli, D. et al. (2015). Shielding effectiveness of carbon nanotube reinforced concrete composites by reverberation chamber measurements, *Proc. 2015 Int. Conf. Electromagn. Adv. Appl. ICEAA 2015*, no. 1, pp. 145–148, 2015, doi: 10.1109/ICEAA.2015.7297092.
- [22] Micheli, D. et al. (2017). Electromagnetic properties of carbon nanotube reinforced concrete composites for frequency selective shielding structures, *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, pp. 267–277, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.078.
- [23] Bantsis, G., Sikalidis, C., Betsiou, M., Yioultsis, T., Bourliva, A. (2011). Ceramic building materials for electromagnetic interference shielding using metallurgical slags. *Advances in Applied Ceramics*, Vol. 110, No. 4, 233-237
- [24] Bantsis, G., Mavridou, S., Sikalidis, C., Betsiou, M., Oikonomou, N., Youltsis, T., (2012). Comparison of low cost shielding-absorbing cement paste building materials in X-band frequency range using a variety of wastes, *Science Direct, Ceramics International* 38 3683–3692
- [25] Bantsis, G., Sikalidis, C., Betsiou, M., Youltsis, T., Xenos, T., (2011). Electromagnetic absorption, reflection and interference shielding in X-band frequency range of low cost ceramic building bricks and sandwich type ceramic tiles using mill scale waste as an admixture, *Ceramics International* 37 3535–3545, *Science Direct*
- [26] Ozturk, M., Depci, T., Bahceci, E., Karaaslan, M., Akgol, O., Sevim, U. K. (2020). Production of new electromagnetic wave shielder mortar using waste mill scale, *Construction and Building Materials* 242 (2020) 118028, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118028>
- [27] Li, B., Wang, X., Yan, M., Li, L. (2002). Preparation and characterization of nano-TiO₂ powder, *Key Eng. Mater.*, vol. 224–226, pp. 577–580, 2002.
- [28] Diebold, U. (2002). *The surface science of titanium dioxide*, vol. 48. 2002.
- [29] Ma, J. et al. (2017). Application of unit polarization strategy to achieve high-performance electromagnetic absorption by designing ternary SiO₂@TiO₂-C

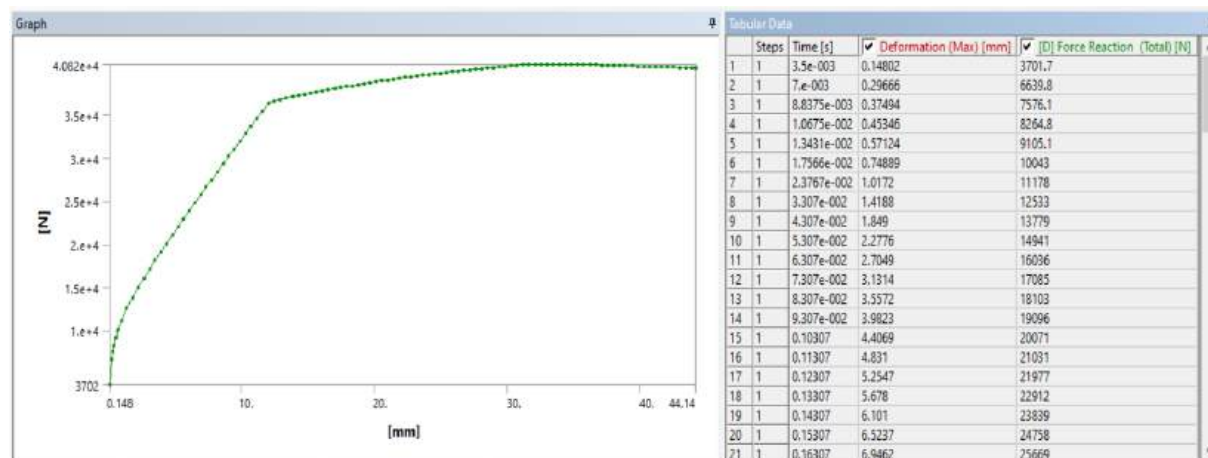
- composite, *J. Alloys Compd.*, vol. 709, pp. 796–801, 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.03.187.
- [30] Qiao, J. et al. (2020). Design and synthesis of TiO₂/Co/carbon nanofibers with tunable and efficient electromagnetic absorption, *Chem. Eng. J.*, vol. 380, no. June 2019, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2019.122591
- [31] Liang, H., Liu, J., Zhang, Y., Luo, L., Wu, H. (2019). Ultra-thin broccoli-like SCFs@TiO₂ one-dimensional electromagnetic wave absorbing material, *Compos. Part B Eng.*, vol. 178, p. 107507, 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107507.
- [32] Wu, H. et al. (2018). Enhanced low-frequency microwave absorbing property of SCFs@TiO₂ composite, *Powder Technol.*, vol. 333, pp. 153–159, 2018, doi: 10.1016/j.powtec.2018.04.015.
- [33] Deng, H., Li, X., Peng, Q., Wang, X., Chen, J., Li, Y. (2005). Monodisperse Magnetic Single-Crystal Ferrite Microspheres, *Angew. Chemie*, vol. 117, no. 18, pp. 2842–2845, 2005, doi: 10.1002/ange.200462551.
- [34] Leslie-Pelecky, D. L., Rieke, R. D. (1996). Magnetic properties of nanostructured materials, *Chem. Mater.*, vol. 8, no. 8, pp. 1770–1783, 1996, doi: 10.1021/cm960077f.
- [35] Deka, S., Joy, P. A. (2008). Superparamagnetic nanocrystalline ZnFe₂O₄ with a very high curie temperature, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 8, no. 8, pp. 3955–3958, 2008, doi: 10.1166/jnn.2008.201.
- [36] Phan, C. H., Mariatti, M., Koh, Y. H. (2015). Electromagnetic interference shielding performance of epoxy composites filled with multiwalled carbon nanotubes/manganese zinc ferrite hybrid fillers, *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 401, pp. 472–478, 2016, doi: 10.1016/j.jmmm.2015.10.067.
- [37] Zhang, Y., Wang, X. H., Luo, J. H. (2014). Research on absorbing property of cement-based material blending with nano-TiO₂ and steel fibers, *Adv. Mater. Res.*, vol. 853, pp. 207–211, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.853.207.
- [38] Li, S., Dong, Z., Wang, X., Yu, X., Han, B. (2020). Electromagnetic Wave-Absorbing Property and Mechanism of Cementitious Composites with Different Types of Nano Titanium Dioxide, *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 32, no. 5, p. 04020073, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003133.
- [39] Zhang, X., Sun, W. (2010). Microwave absorbing properties of double-layer cementitious composites containing Mn-Zn ferrite, *Cem. Concr. Compos.*, vol. 32, no. 9, pp. 726–730, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2010.07.013.
- [40] Tugirumubano, A., Vijay, S. J., Go, S. H., Kwac, L. K. (2017). Characterization of electromagnetic interference shielding composed of carbon fibers reinforced plastics and metal wire mesh based composites, *Journal of Materials Research and Technology*
- [41] HRN EN 206 2016
- [42] HRN EN 12350-2:2016
- [43] HRN EN 12504-1:2019/AC:2020
- [44] Mandrić, V., Rupčić, S., Vinko D., Dominković I., (2023). Advanced Construction Materials Based on Concrete to Protect the Living Space from Non-Ionizing Radiation, OTO 2023: 32nd International Conference on Organization and Technology of Maintenance, Osijek, Croatia, December 12, 2023.

- [45] Sikalidis, C. (2011). Clay forms electromagnetic shield, Clay Technology Magazine, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- [46] Zhang, W., Zeng, J., Liu, L., Fang, Y. (2003). A novel property of styrene–butadiene–styrene/clay nanocomposites: radiation resistance, Material Chemistry, State University of New York at Stony Brook
- [47] Mohamed, H. A. (2003). Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions, Ain Shams Eng. J., vol. 2, no. 2, pp. 79–86, 2011, doi: 10.1016/j.asej.2011.06.001.
- [48] Umashankar, M., Renukappa, N. M., Shivakumar, K., Rajan, J. S. (2017). Electromagnetic shield- ing effectiveness of nylon-66 nano ber interleaved carbon epoxy composites", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 99, 1-8, Early Access.
- [49] Micheli, D., Vricella, A., Pastore, R., Delfini, A., Morles, R. B., Marchetti, M., Santoni, F., Bastianelli, L., Moglie, F., Mariani Primiani, V., Corinaldesi, V., Mazzoli, A., Donnini, J., (2017). Electromagnetic properties of carbon nanotube reinforced concrete, Construction and Building Materials, 131, 267–277
- [50] Liu, L., Grunlan, J. C., (2007). Clay Assisted Dispersion of Carbon Nanotubes in Conductive Epoxy Nanocomposites, Advanced functional materials 17, 2343–2348, doi: 10.1002/adfm.200600785
- [51] Mann, H. S., Brar, G. S., Mann, K. S., Mudahar, G. S., (2016). Experimental Investigation of Clay Fly Ash Bricks for Gamma-Ray Shielding, Nuclear Engineering and Technology 48, 1230-1236
- [52] Wang, Z., Meng, X., Li, J., Du, X., Li, S., Jiang, Z., Tang, T., (2009). A Simple Method for Preparing Carbon Nanotubes/Clay Hybrids in Water, J. Phys. Chem. C, 113, 8058–8064
- [53] Santangelo, S., Gorrasi, G., Di Lieto, R., De Pasquale, S., Patimo, G., Piperopoulos, P., Lanza, M., Faggio, G., Mauriello, F., Messina, G., Milone, C., (2011). Polylactide and carbon nanotubes/smectite-clay nanocomposites: Preparation, characterization, sorptive and electrical properties, Applied Clay Science 53, 188–194
- [54] Bantsis, G., Betsiou, M., Bourliva, A., Youltsis, T., Sikalidis, C., (2012). Synthesis of porous iron oxide ceramics using Greek wooden templates and mill scale waste for EMI applications, Science Direct, Ceramics International 38, 721–729.

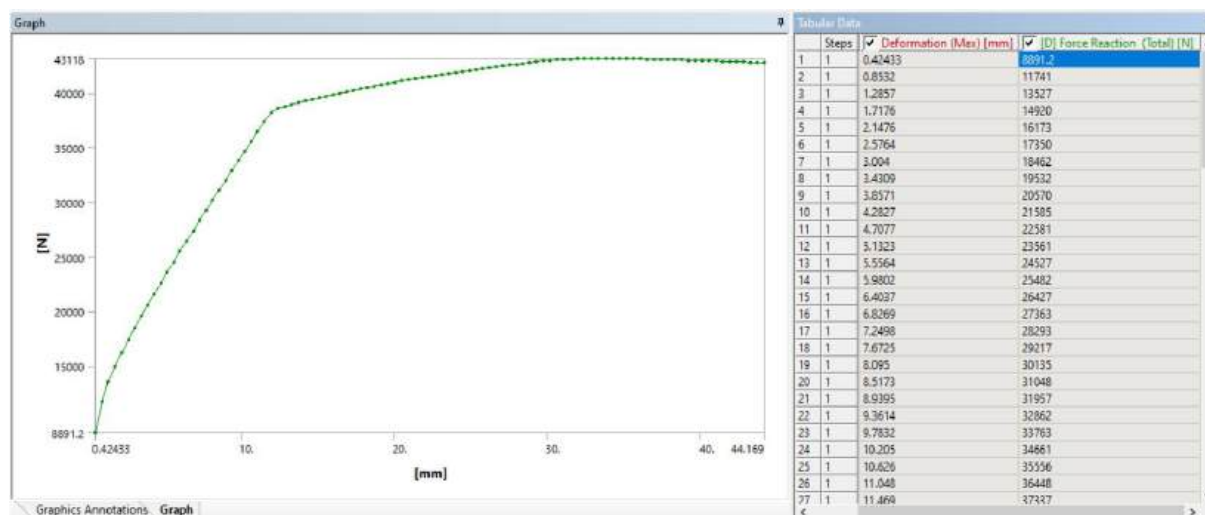
Prilog – Ponašanja modela plošnih nosača u programu Ansys



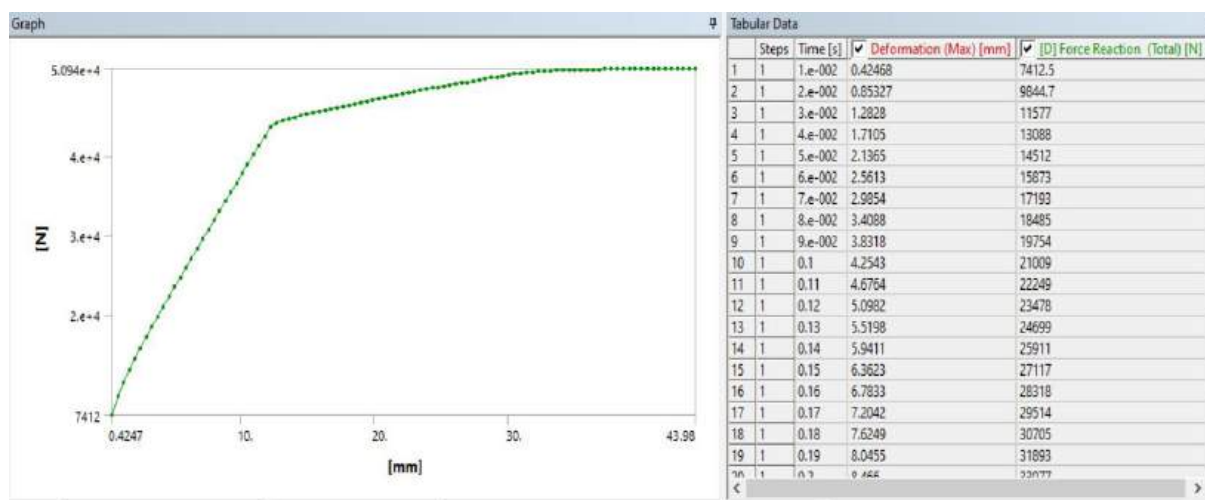
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C25/30 iz programa Ansys



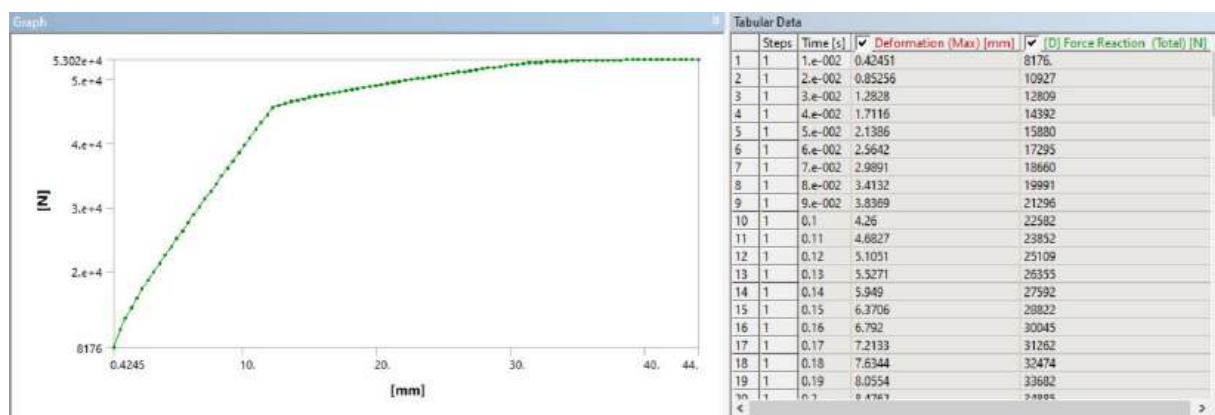
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C30/37 iz programa Ansys



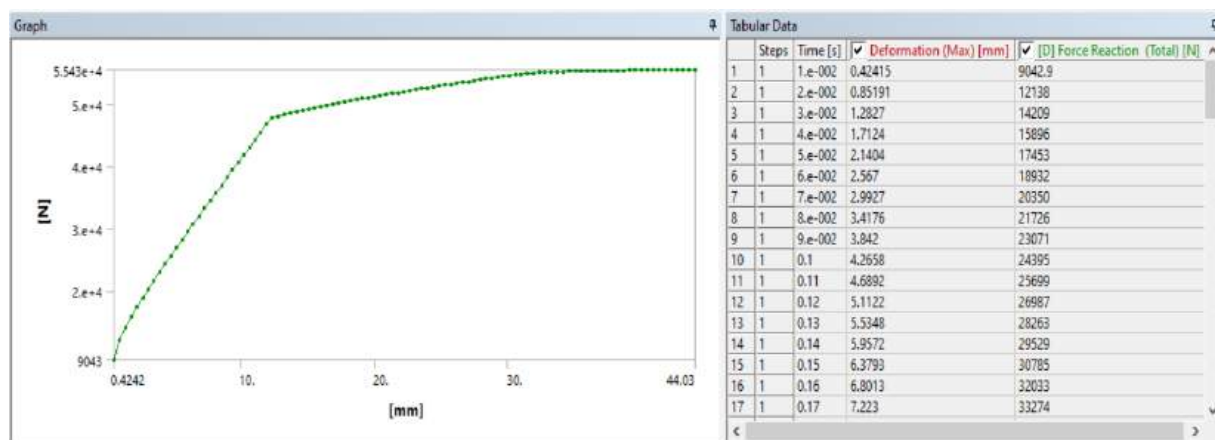
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q335-Q196_C35/45 iz programa Ansys



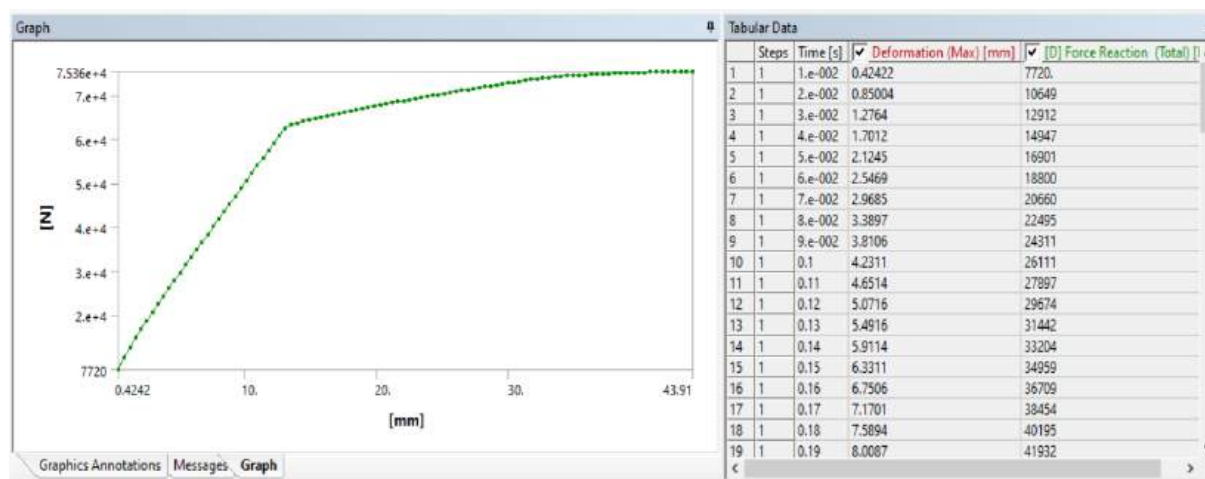
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C25/30 iz programa Ansys



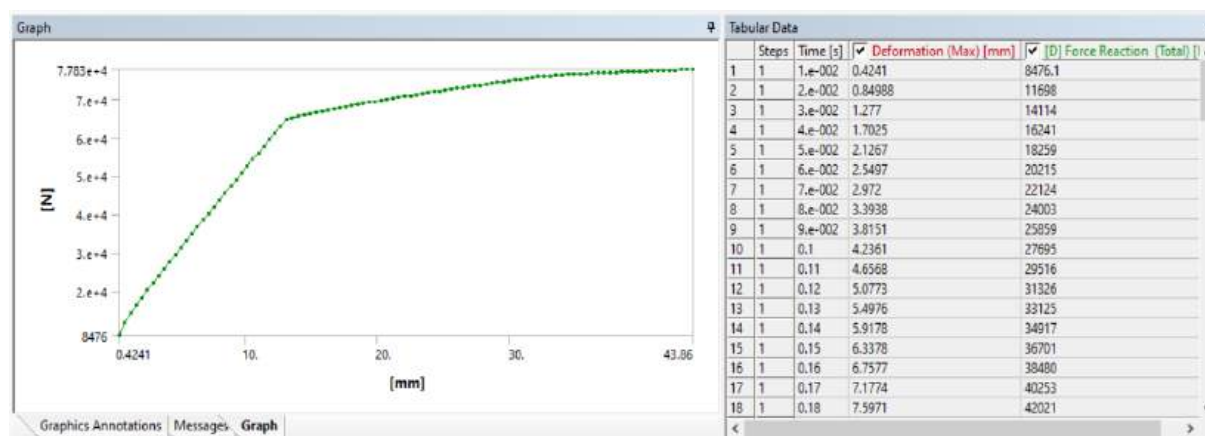
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C30/37 iz programa Ansys



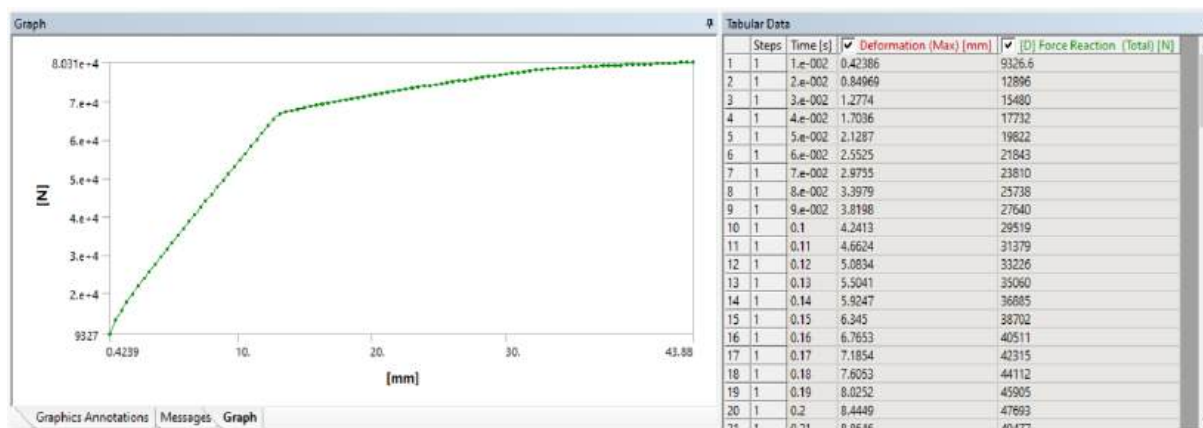
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q503-Q335_C35/45 iz programa Ansys



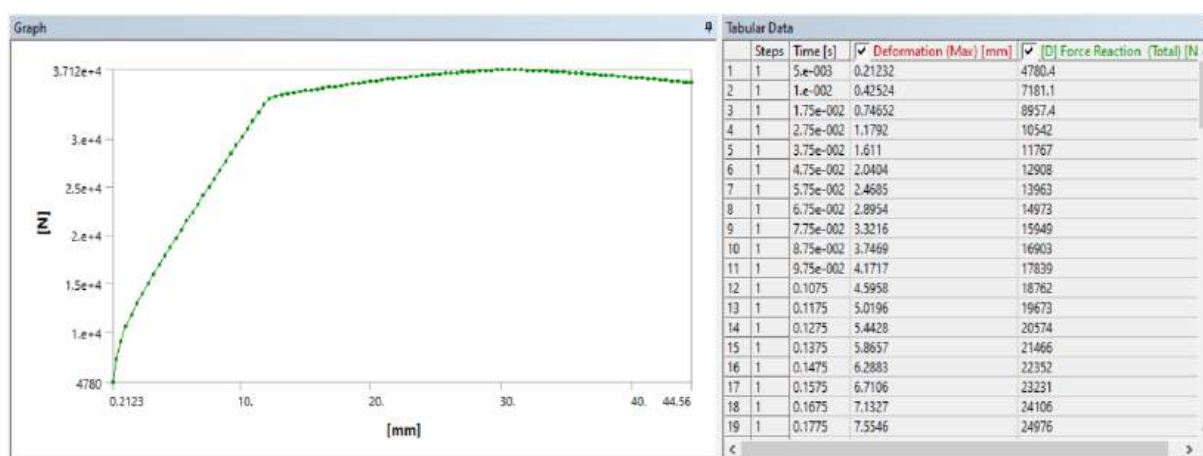
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C25/30 iz programa Ansys



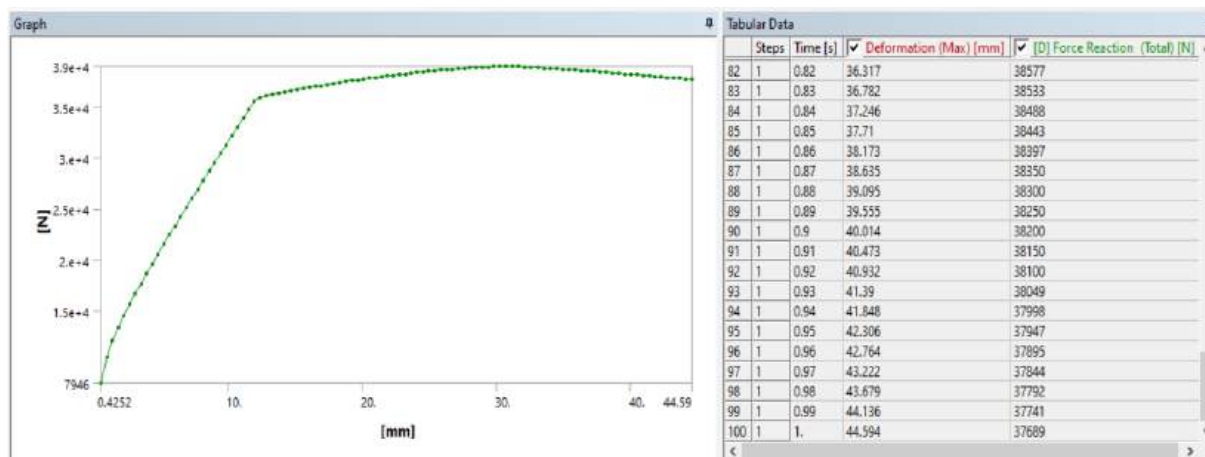
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C30/37 iz programa Ansys



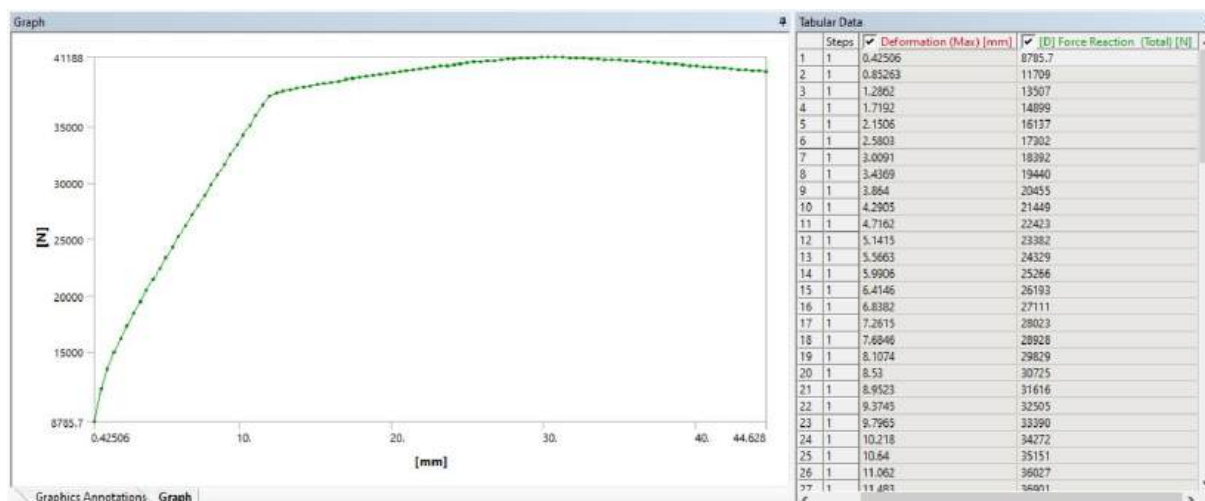
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-15_Q785-Q503_C35/45 iz programa Ansys



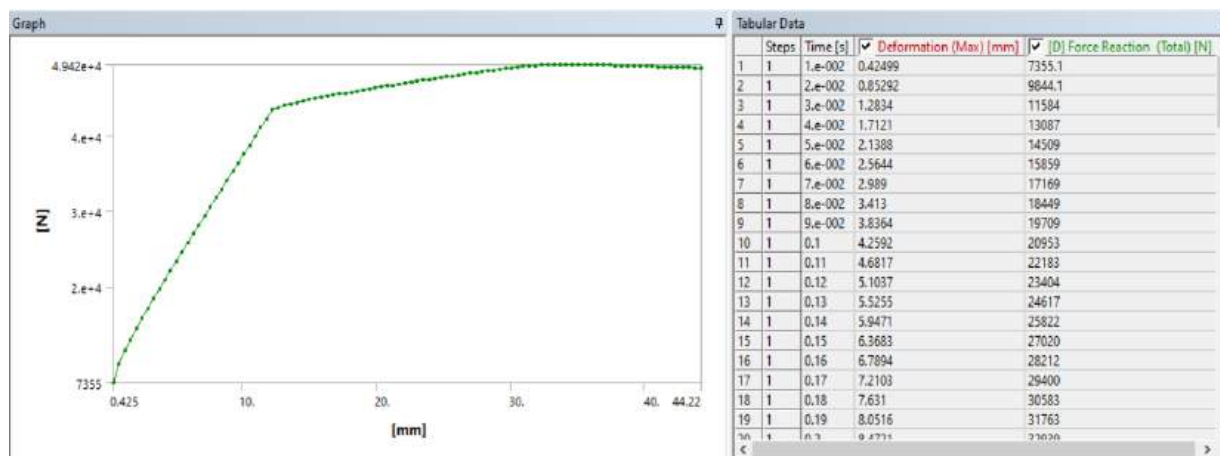
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C25/30 iz programa Ansys



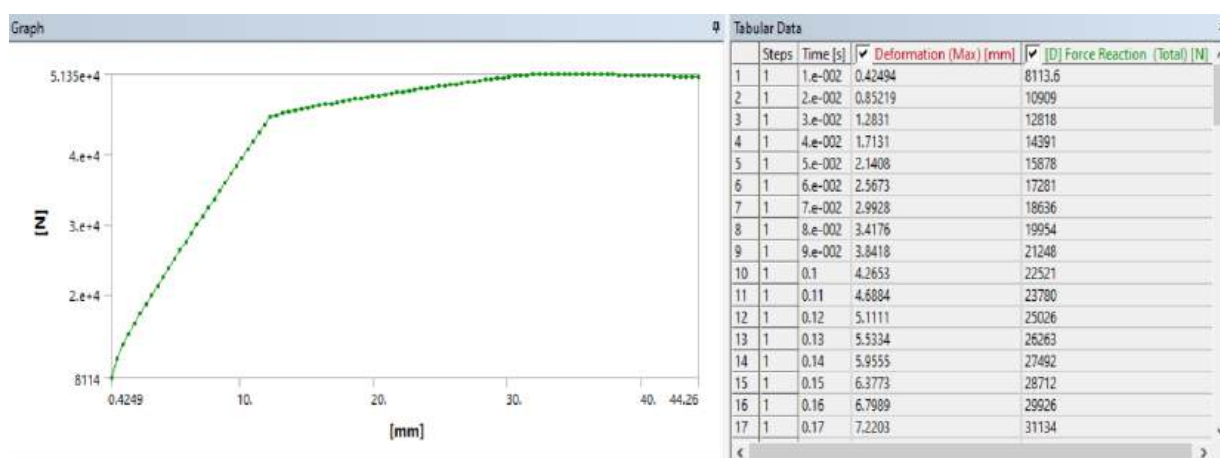
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C30/37 iz programa Ansys



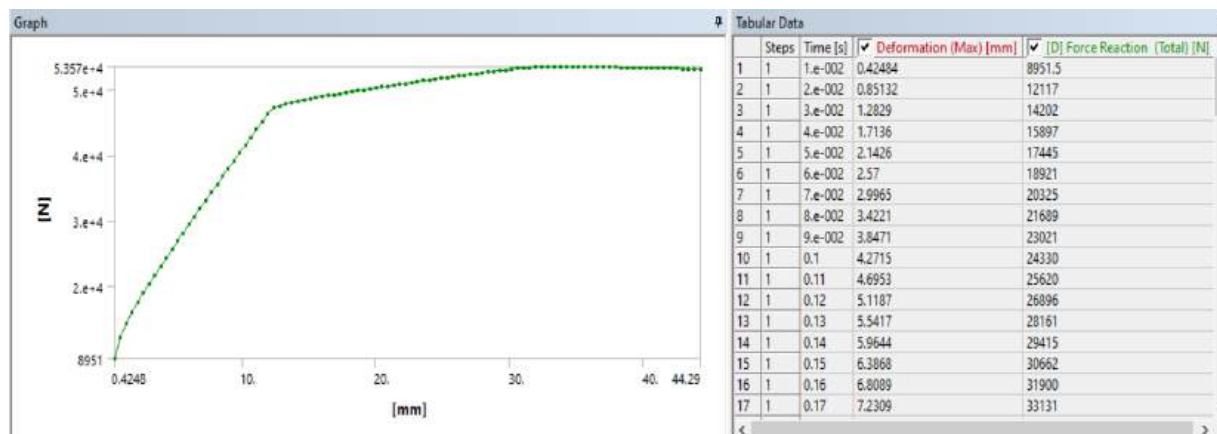
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q335-Q196_C35/45 iz programa Ansys



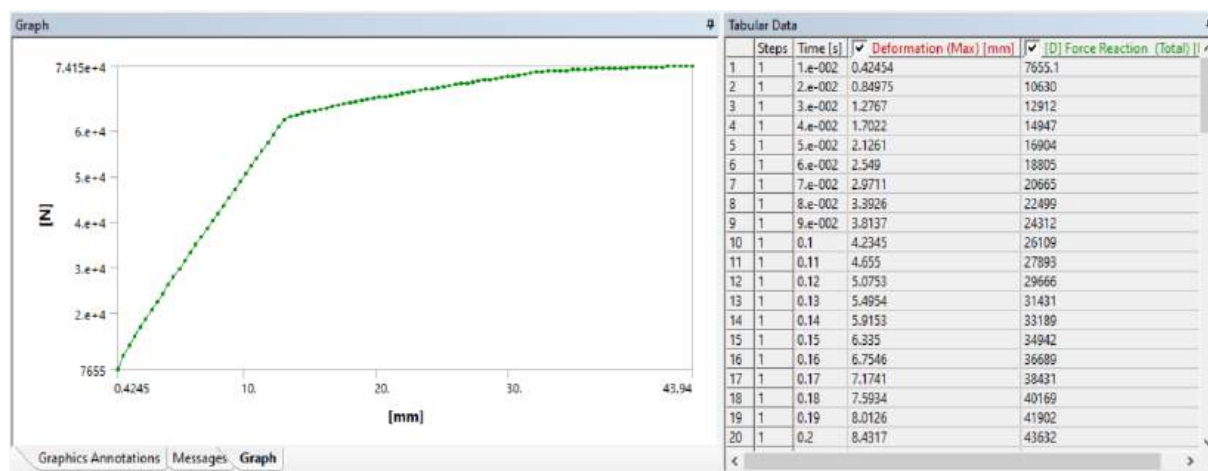
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C25/30 iz programa Ansys



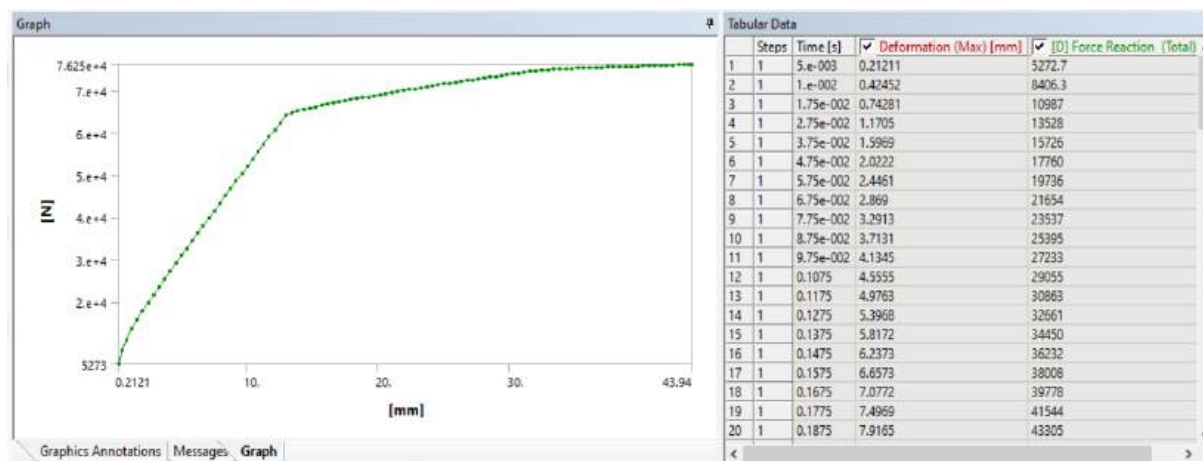
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C30/37 iz programa Ansys



Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q503-Q335_C35/45 iz programa Ansys



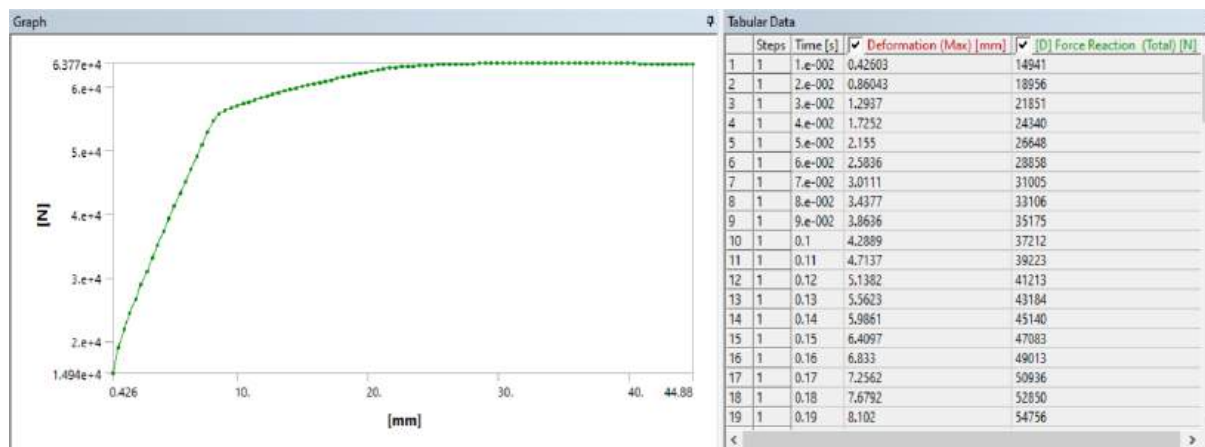
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C25/30 iz programa Ansys



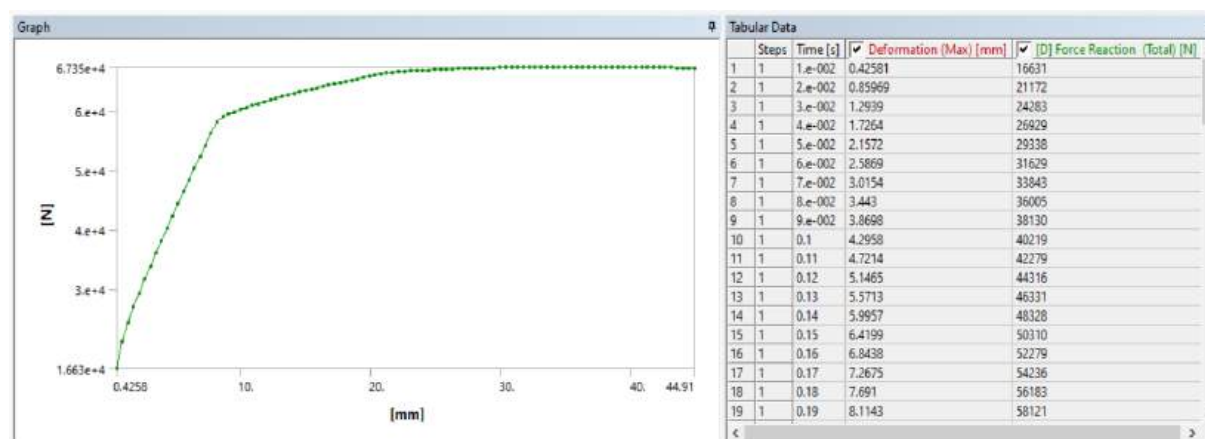
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C30/37 iz programa Ansys



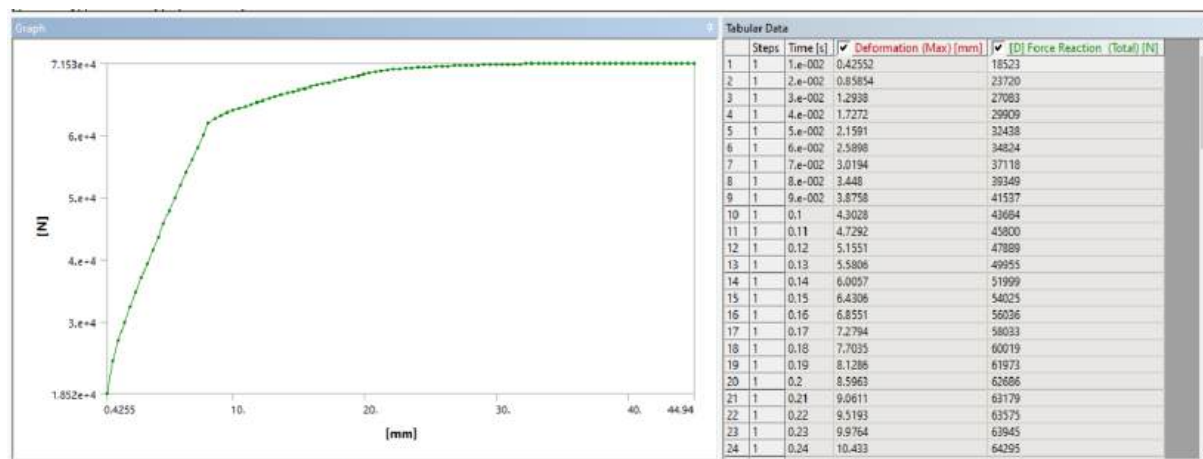
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-15_Q785-Q503_C35/45 iz programa Ansys



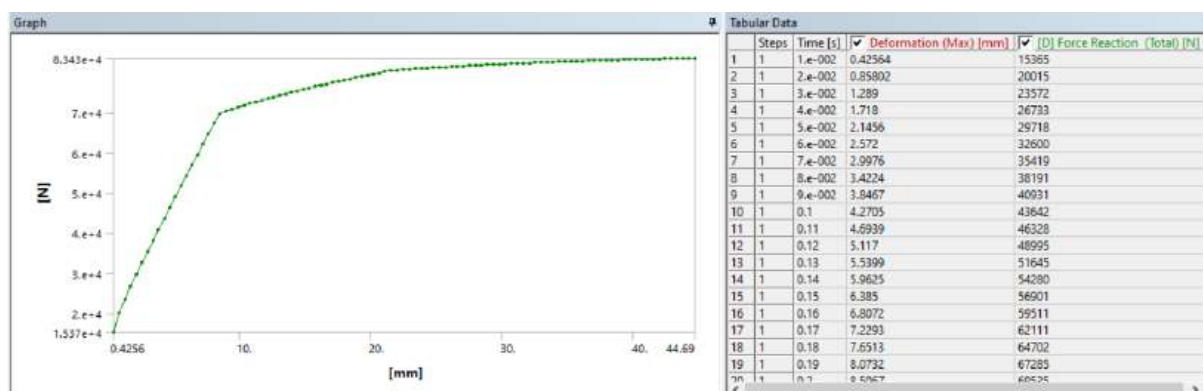
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C25/30 iz programa Ansys



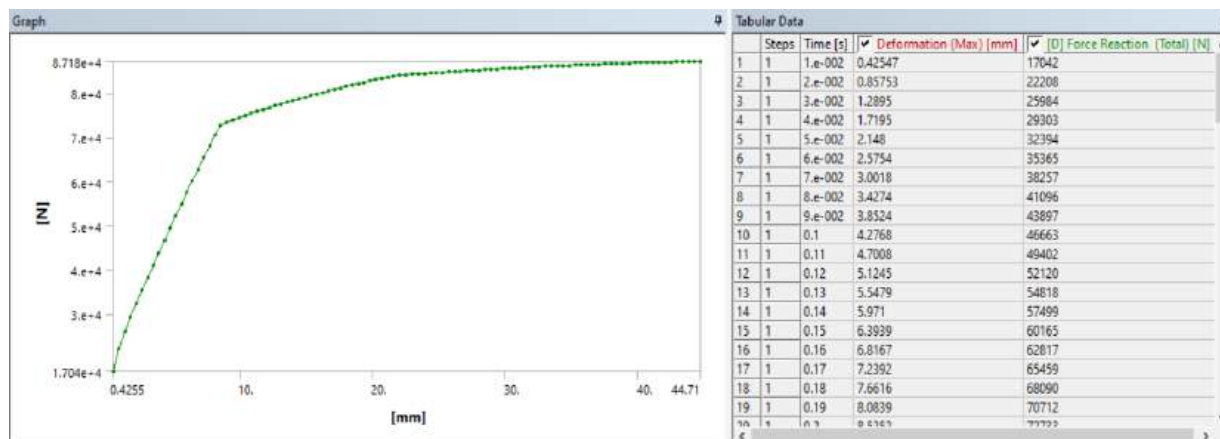
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C30/37 iz programa Ansys



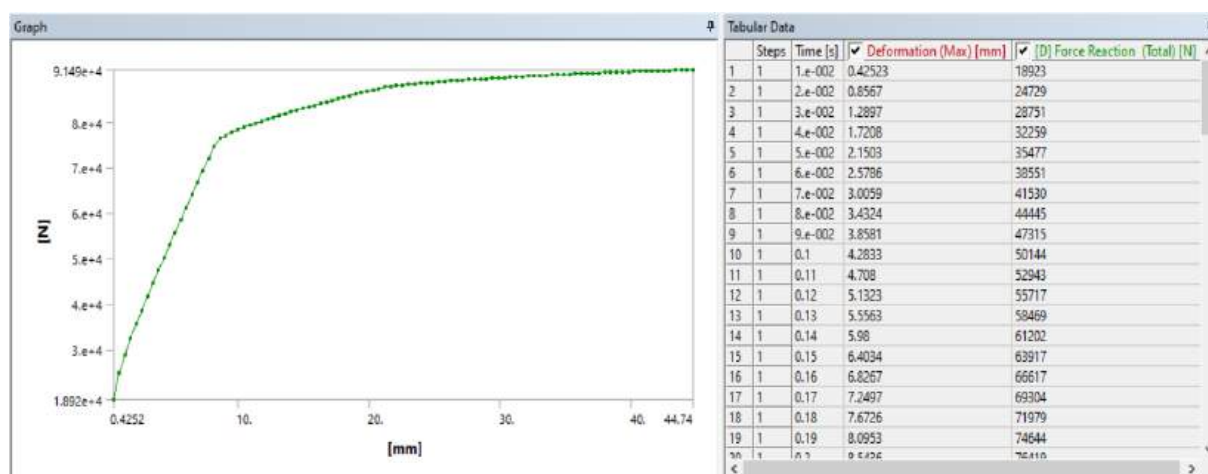
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q335-Q196_C35/45 iz programa Ansys



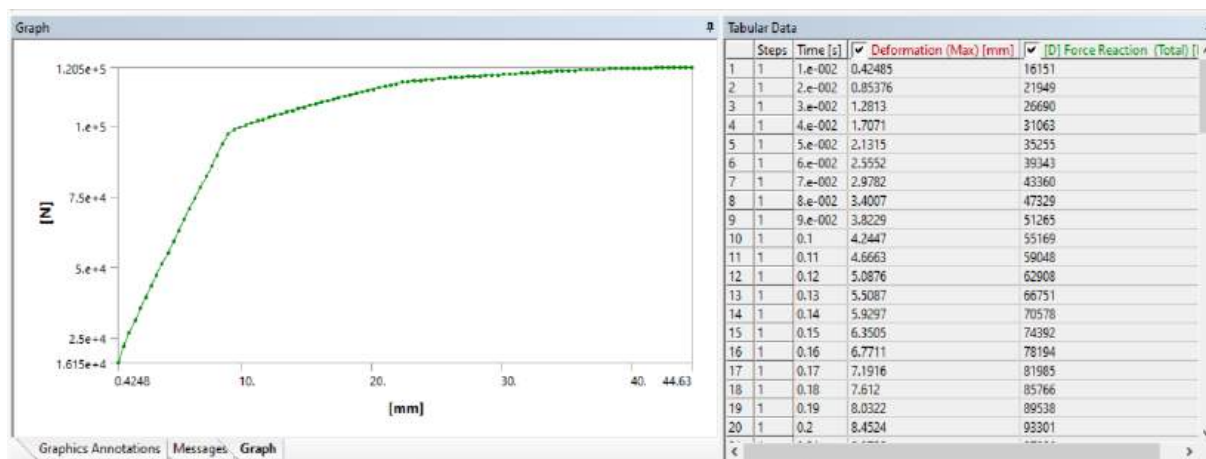
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C25/30 iz programa Ansys



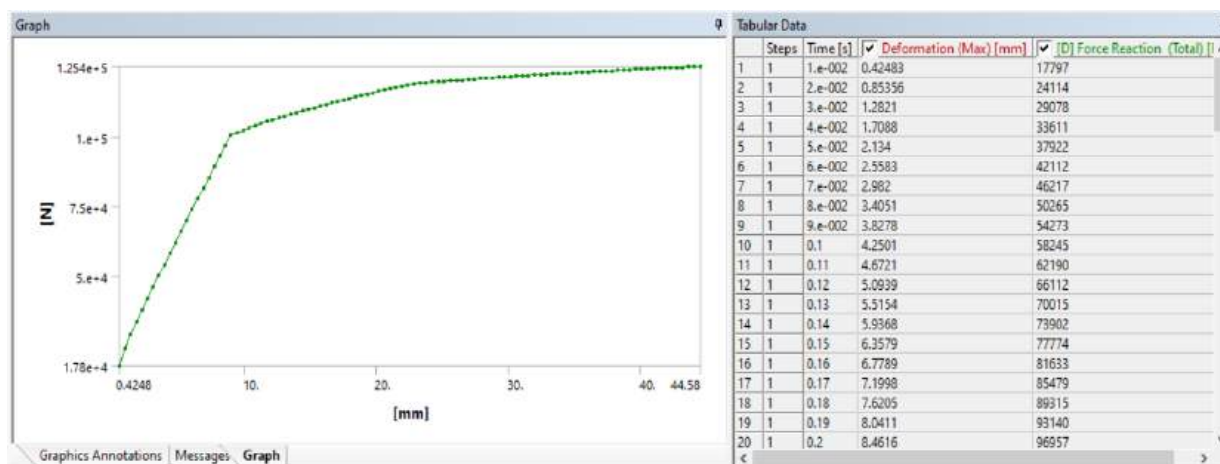
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C30/37 iz programa Ansys



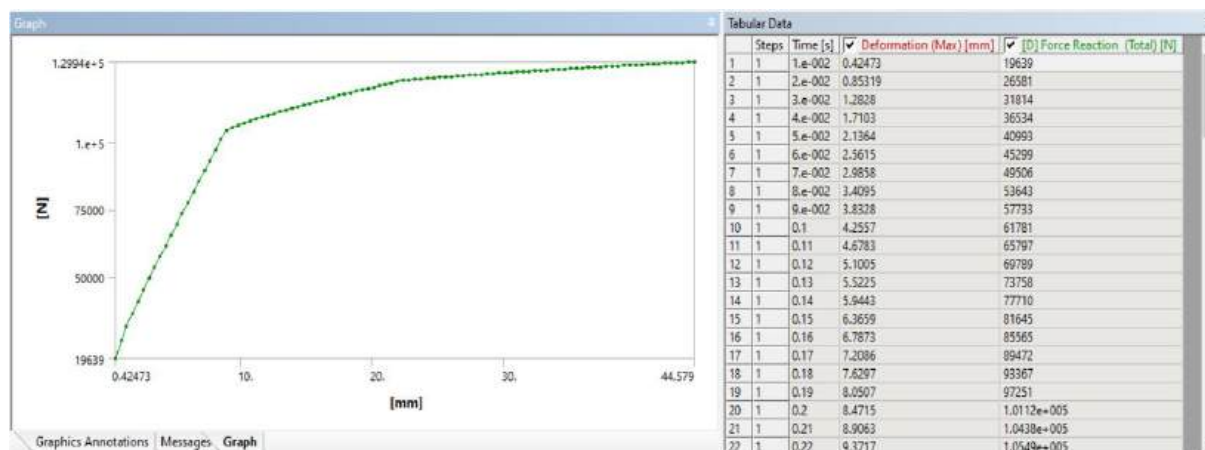
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q503-Q335_C35/45 iz programa Ansys



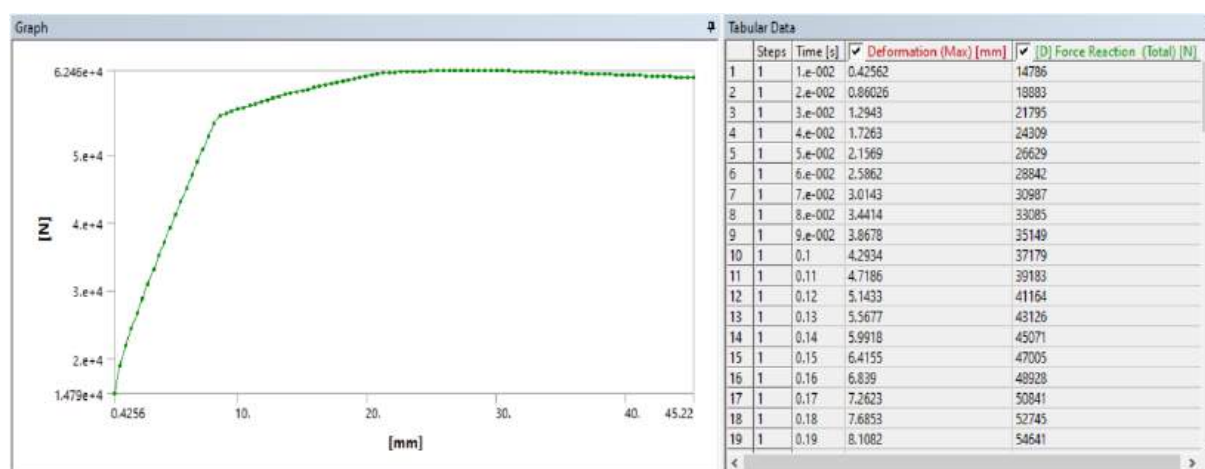
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C25/30 iz programa Ansys



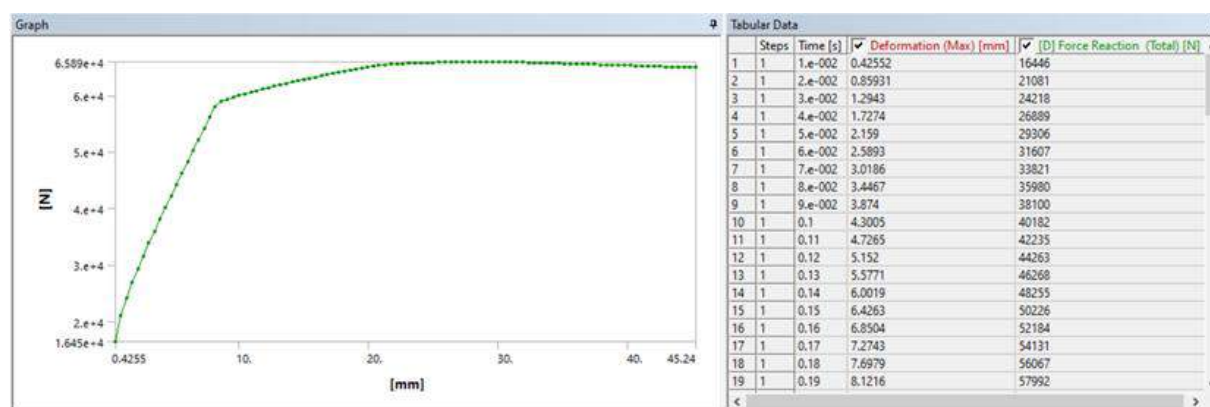
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C30/37 iz programa Ansys



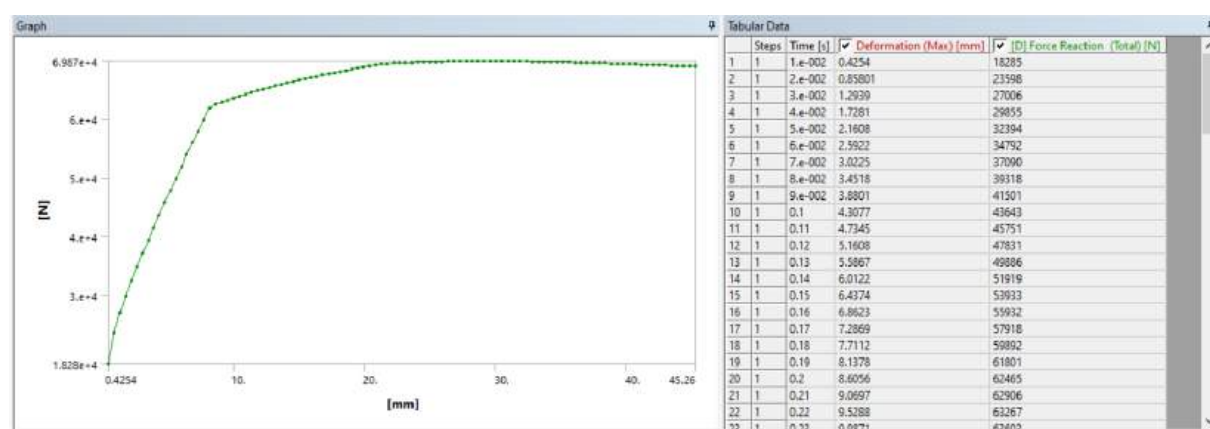
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-20_Q785-Q503_C35/45 iz programa Ansys



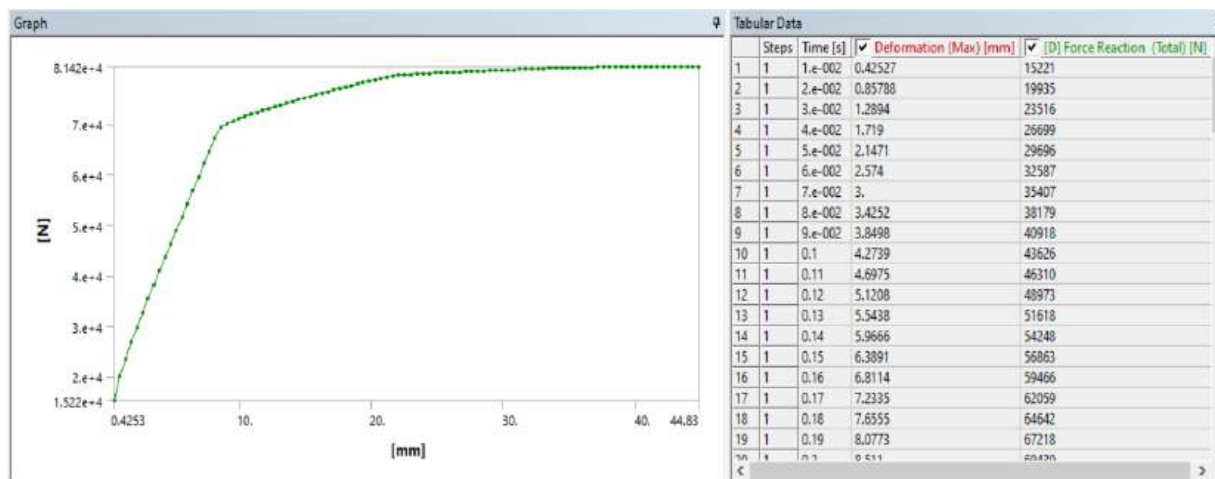
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C25/30 iz programa Ansys



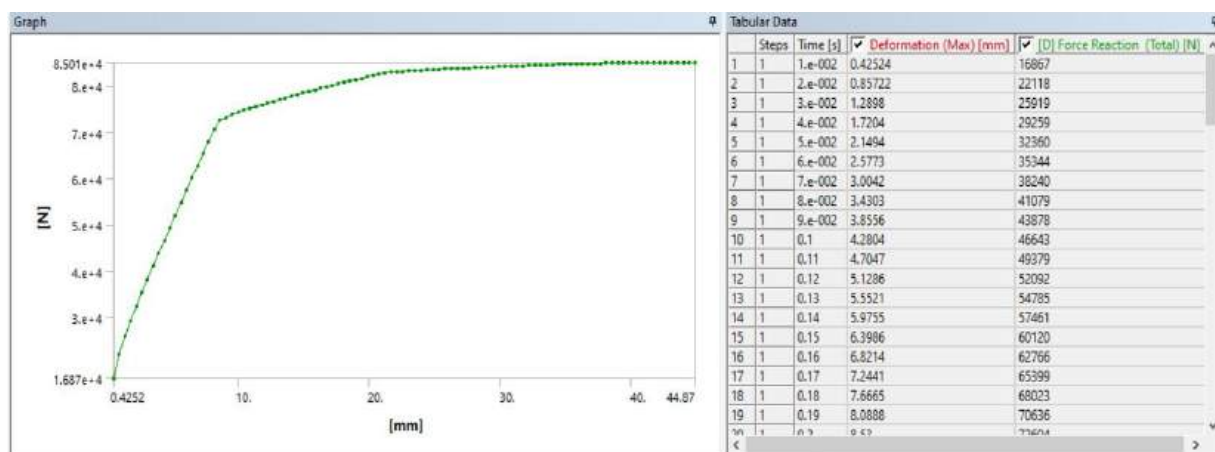
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C30/37 iz programa Ansys



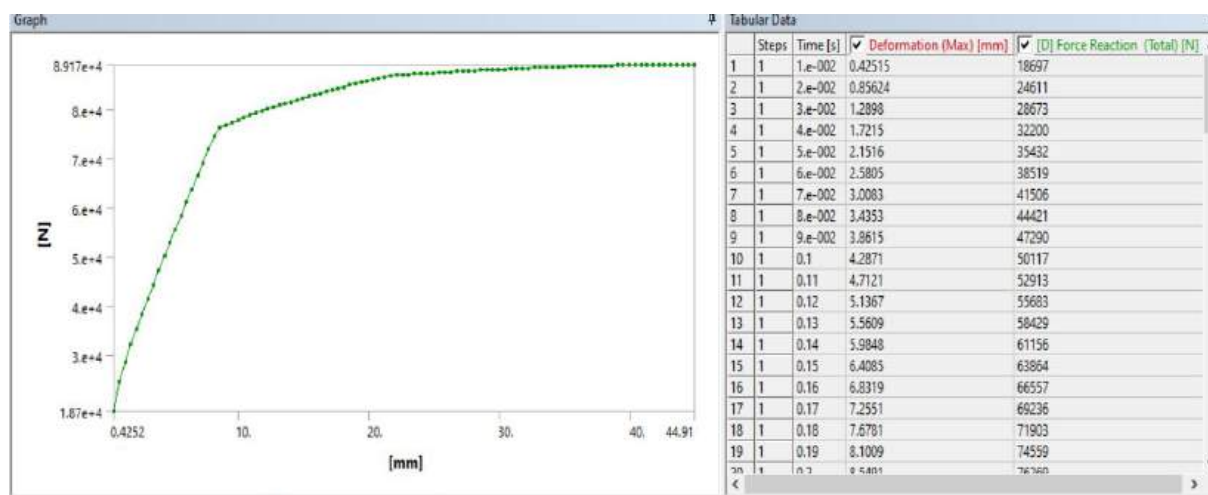
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q335-Q196_C35/45 iz programa Ansys



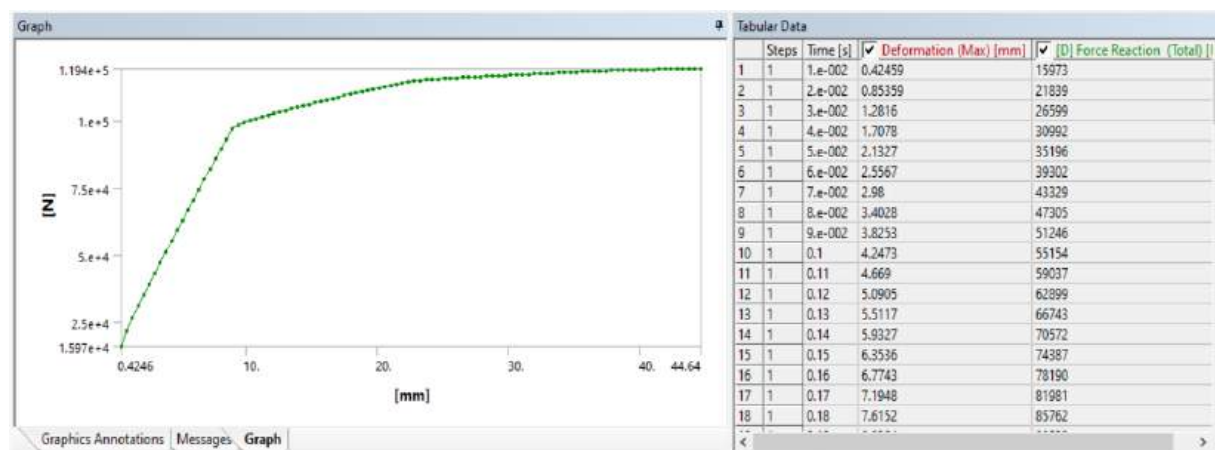
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C25/30 iz programa Ansys



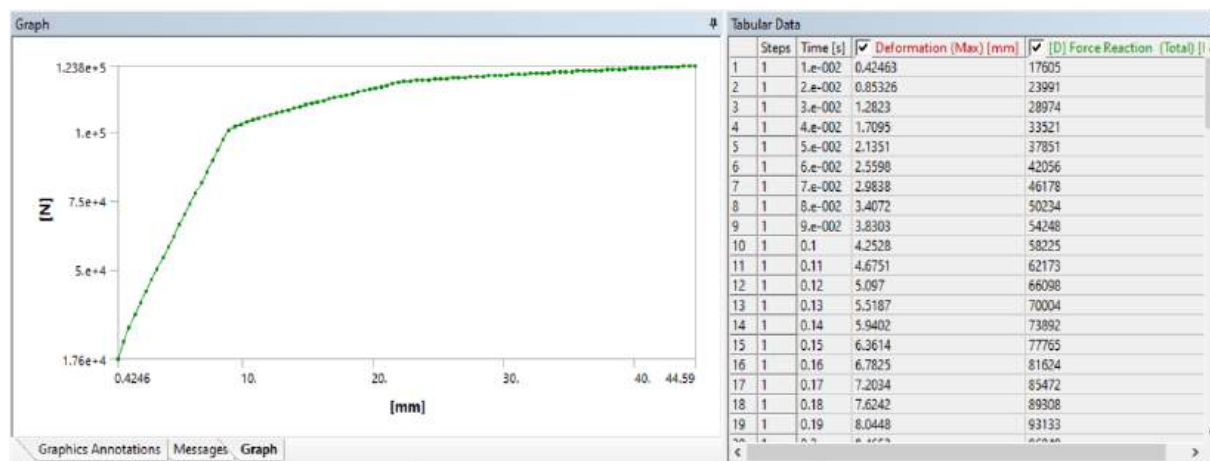
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C30/37 iz programa Ansys



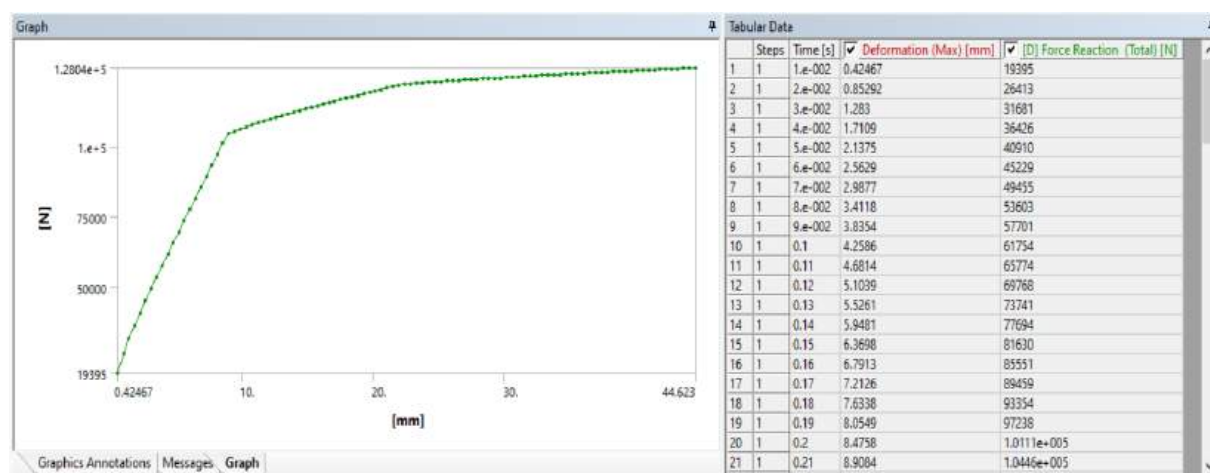
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q503-Q335_C35/45 iz programa Ansys



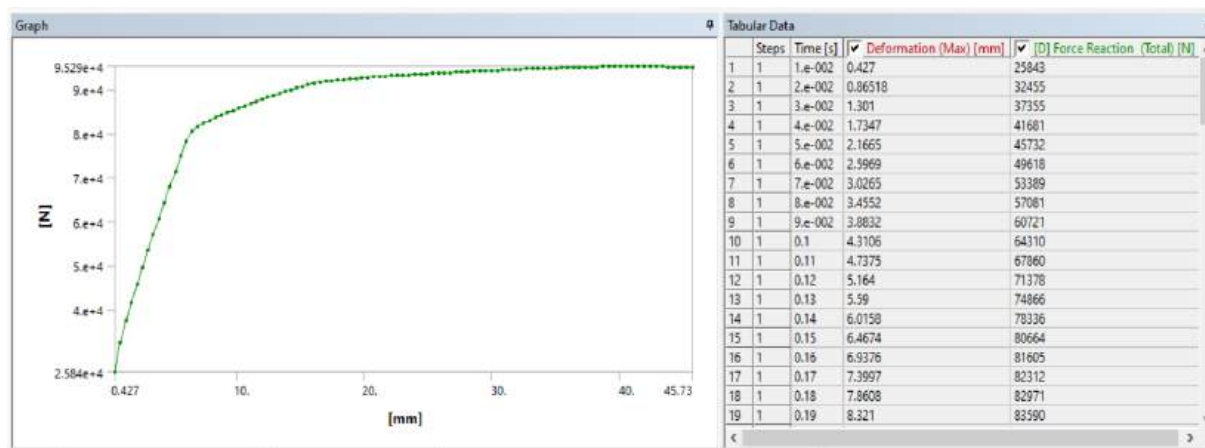
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C25/30 iz programa Ansys



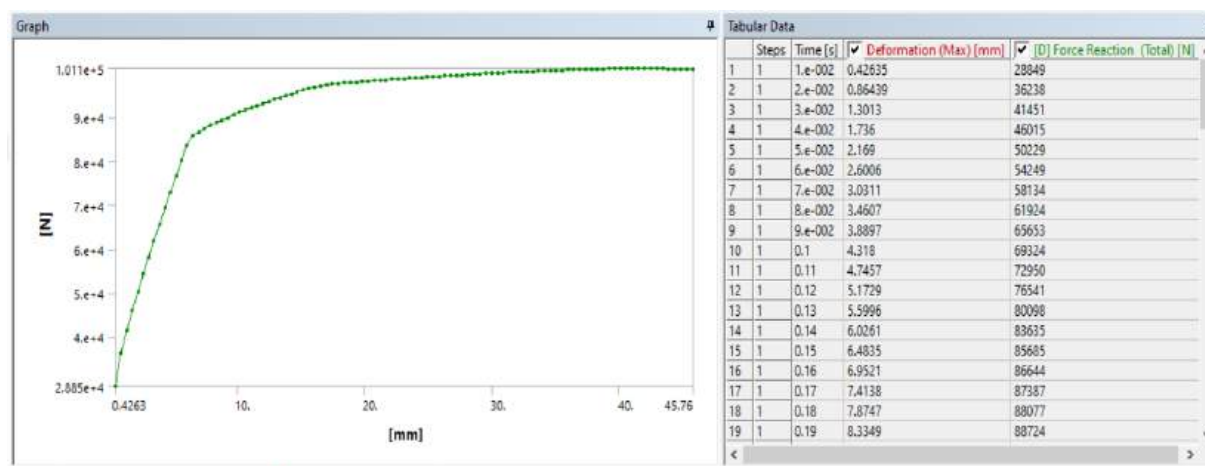
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C30/37 iz programa Ansys



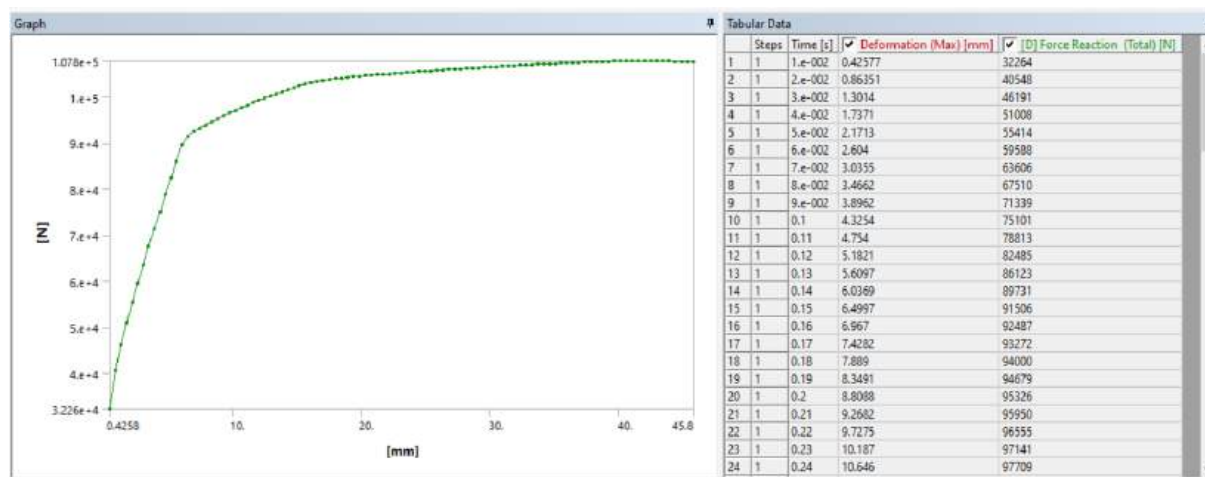
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-20_Q785-Q503_C35/45 iz programa Ansys



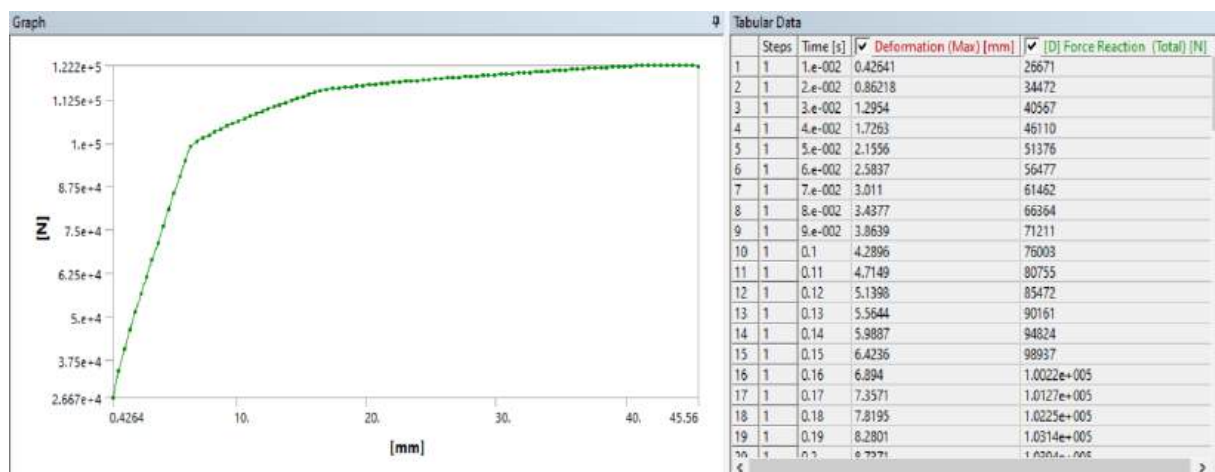
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C25/30 iz programa Ansys



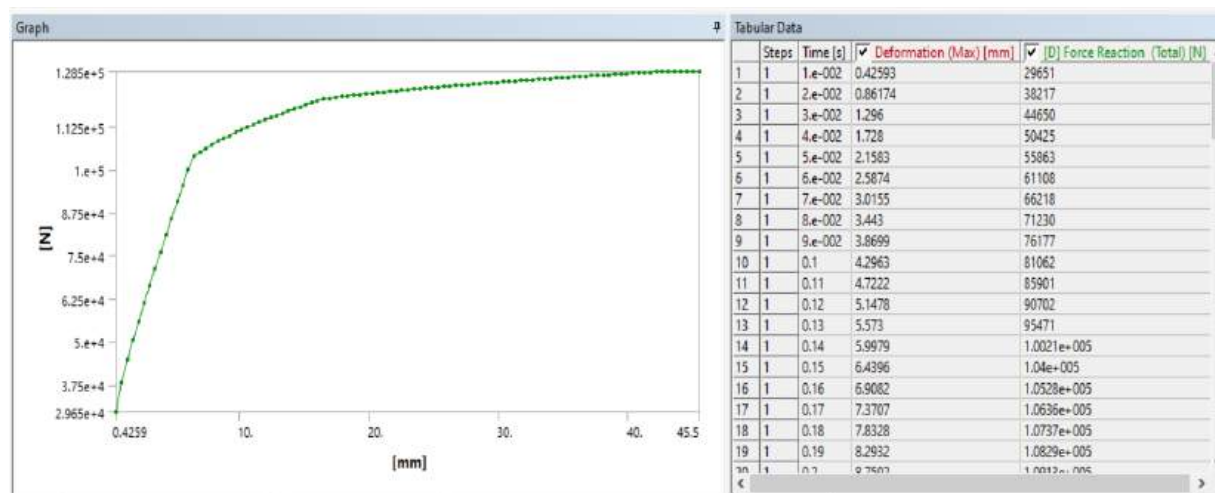
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C30/37 iz programa Ansys



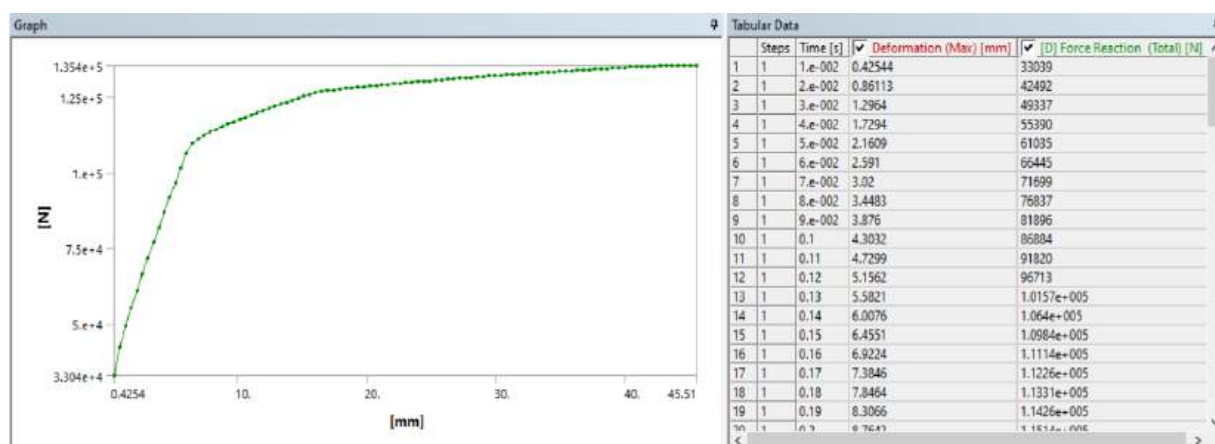
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q335-Q196_C35/45 iz programa Ansys



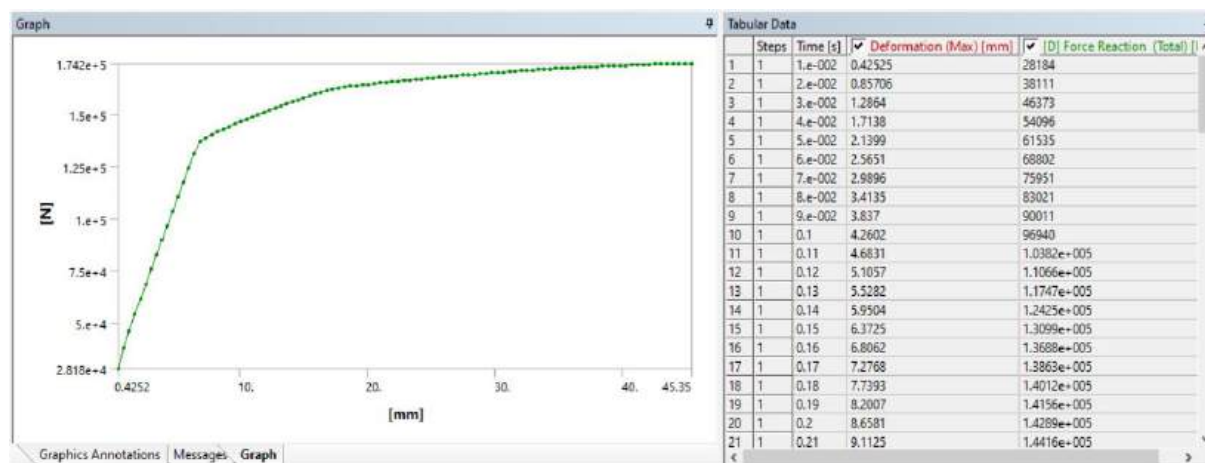
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C25/30 iz programa Ansys



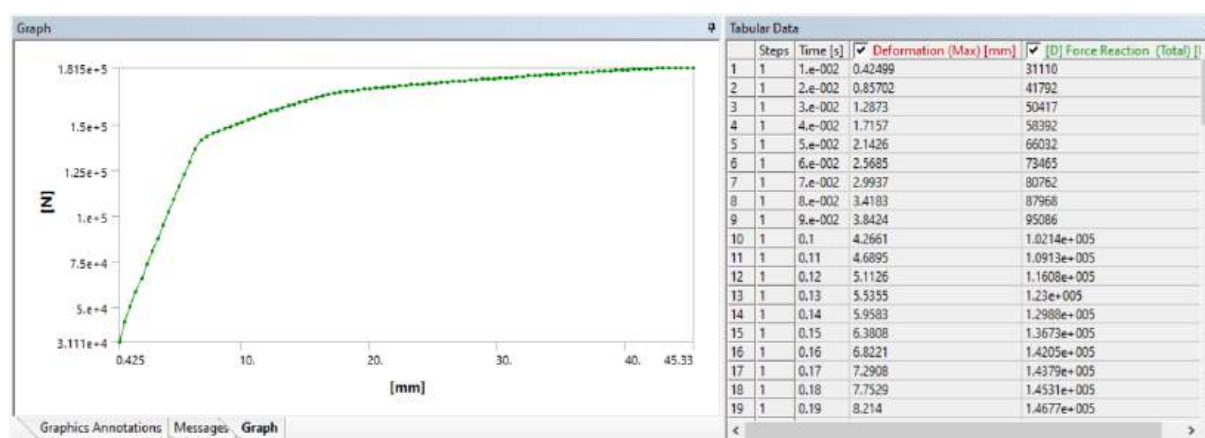
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C30/37 iz programa Ansys



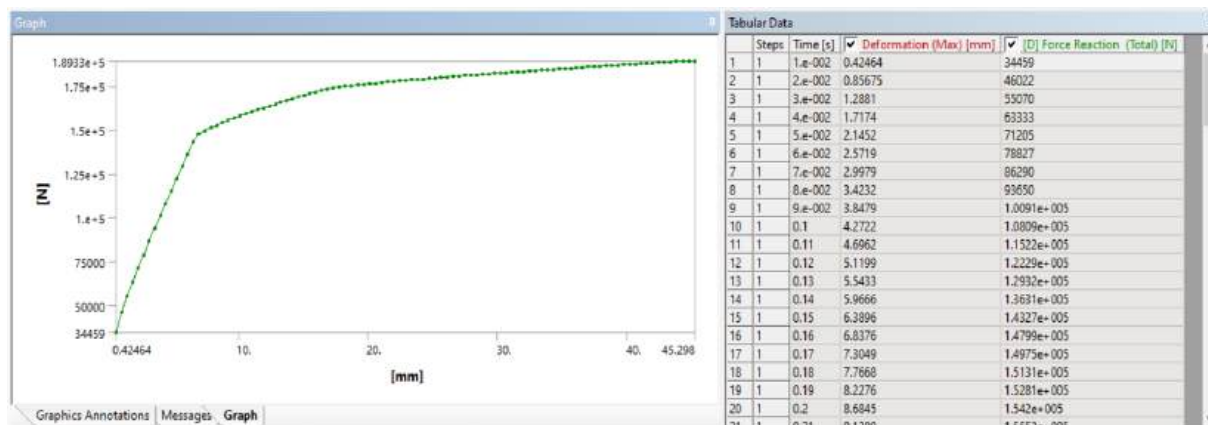
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q503-Q335_C35/45 iz programa Ansys



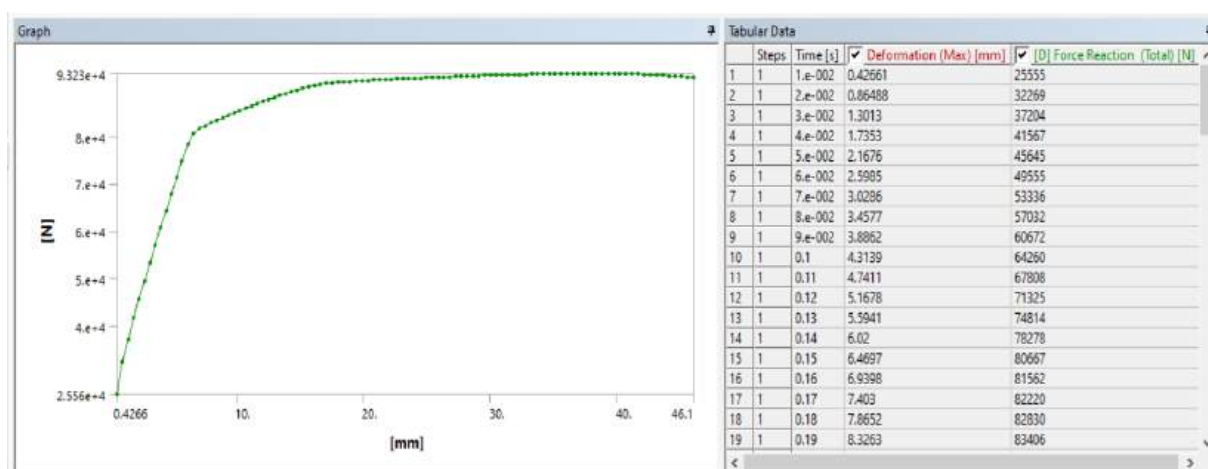
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C25/30 iz programa Ansys



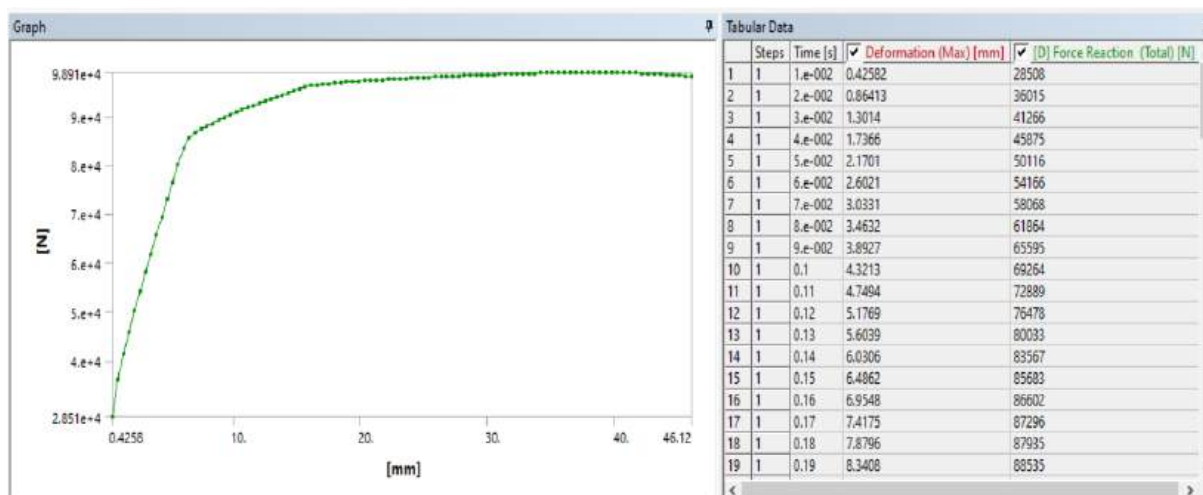
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C30/37 iz programa Ansys



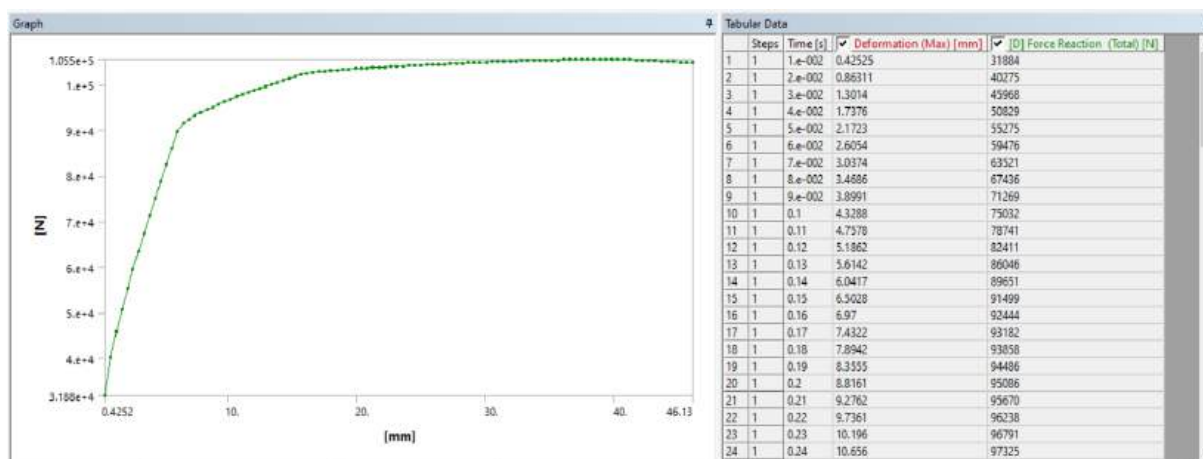
Ponašanje modela plošnog nosača P-P-25_Q785-Q503_C35/45 iz programa Ansys



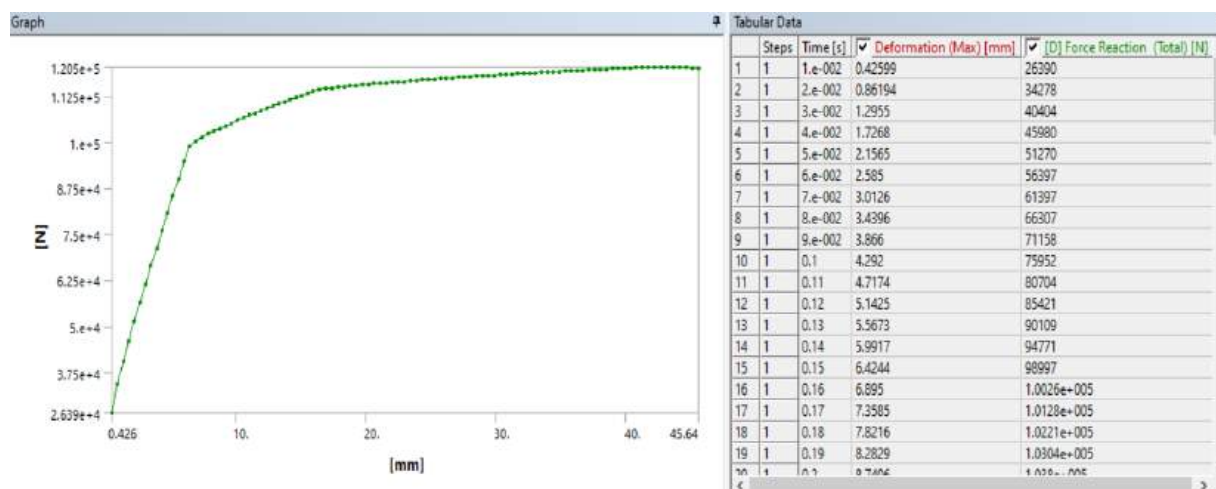
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C25/30 iz programa Ansys



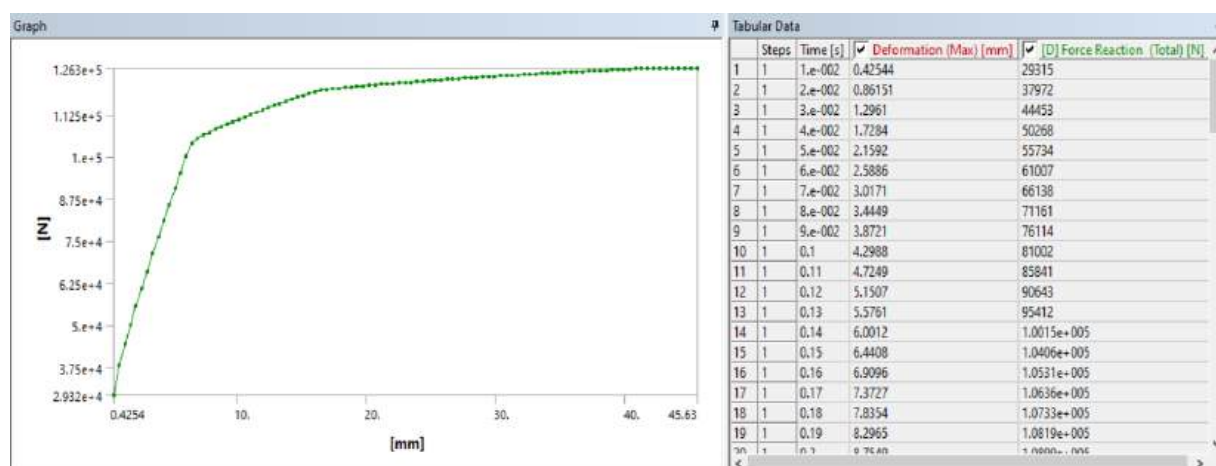
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C30/37 iz programa
Ansys



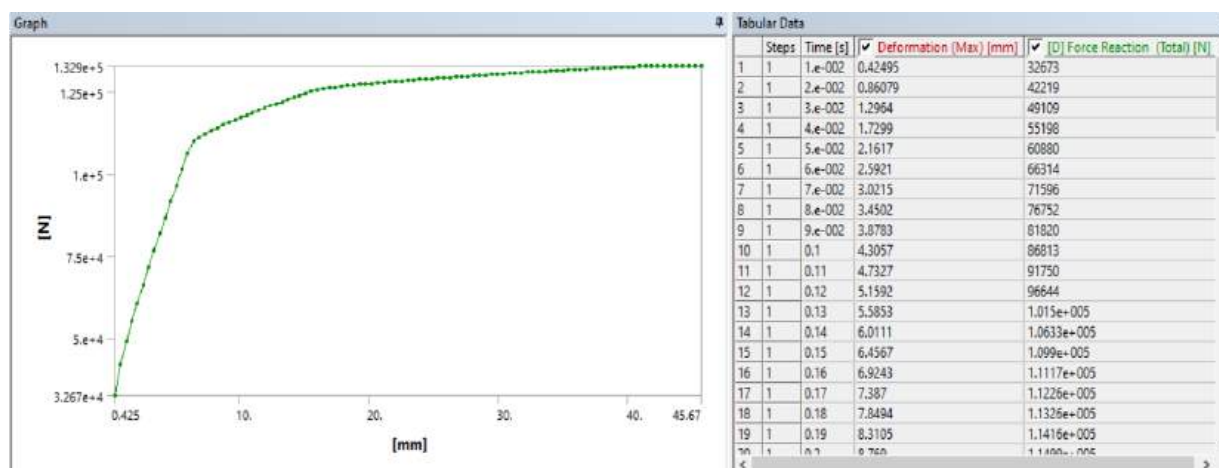
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q335-Q196_C35/45 iz programa
Ansys



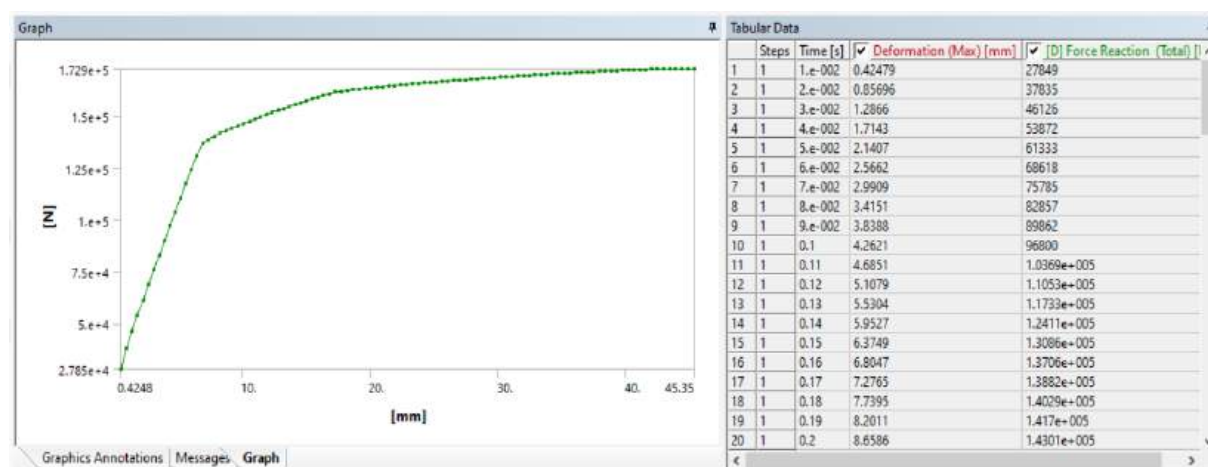
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C25/30 iz programa Ansys



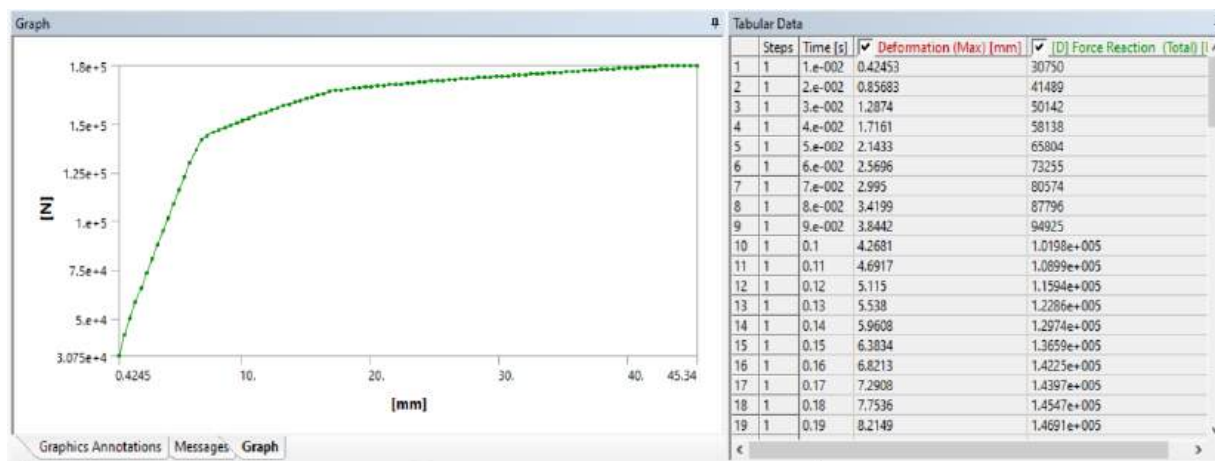
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C30/37 iz programa Ansys



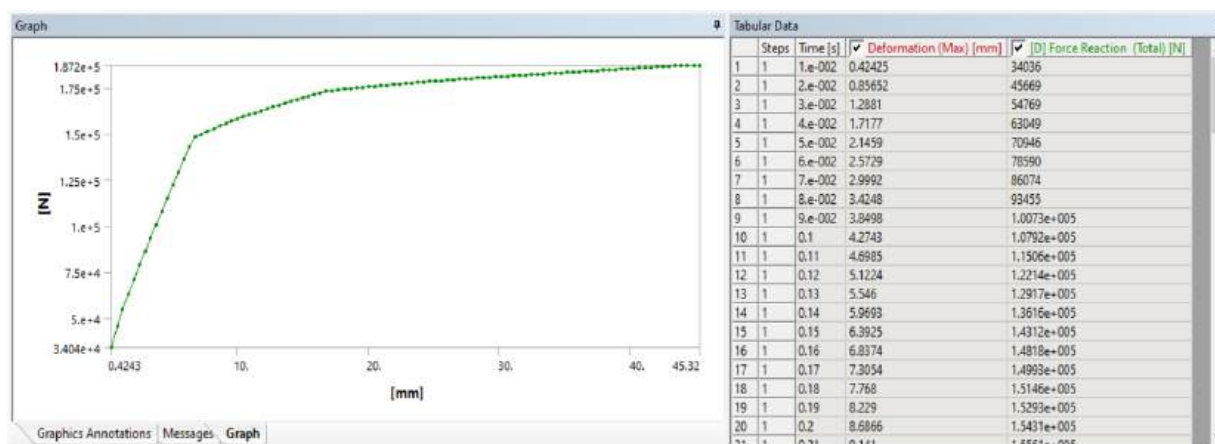
Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q503-Q335_C35/45 iz programa
Ansys



Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C25/30 iz programa
Ansys



Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C30/37 iz programa Ansys



Ponašanje modela plošnog nosača P-K-25_Q785-Q503_C35/45 iz programa Ansys

Curriculum vitae

Stanko Čolak rođen je 12. studenoga 1994. godine u Mostaru, u Bosni i Hercegovini. Završio je Gimnaziju fra Dominika Mandića u Širokom Brijegu 2013. godine. Preddiplomski studij građevinarstva završio je na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Mostaru 2016. godine i postao prvostupnik građevinarstva. Na istom Fakultetu 2018. godine završio je diplomski studij građevinarstva, smjer konstrukcije, čime je postao magistar građevinarstva.

U završnoj godini gimnazijskoga obrazovanja 2013. godine izabran je za Učenika generacije. Godinu dana ranije osvojio je 3. mjesto na srednjoškolskom matematičkom natjecanju u Federaciji BiH. Iste je godine sudjelovao na Mediteranskoj matematičkoj olimpijadi (Malaga, 2012.). Dobitnik je Rektorove nagrade Sveučilišta u Mostaru 2014. godine (po Pravilniku se može dobiti samo jedanput) i pet Dekanovih nagrada (od 2014. do 2018. godine), kao i pet nagrada od strane Federalnog ministarstva znanosti i obrazovanja za najbolje studente godine (od 2014. do 2018. godine). I preddiplomski i diplomski studij završio je s prosječnom ocjenom 5,0.

Akademске 2018./2019. godine upisao je poslijediplomski sveučilišni znanstveni studij građevinarstva, modul nosive konstrukcije, na Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Od 2018. godine do danas uposlen je na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Mostaru i radi kao viši asistent na kolegijima Mehanika I, Nosive konstrukcije I, Nosive konstrukcije II, Otpornost materijala I, Otpornost materijala II, Betonske konstrukcije II i Zidane konstrukcije. Trenutačno na Fakultetu obnaša dužnost asistenta za međunarodnu suradnju. Tijekom diplomskoga studija išao je dva puta na jednodnevna usavršavanja u Heerlen, Twente (Nizozemska) i Istanbul (Turska). Također, u okviru Erasmus projekta tijekom poslijediplomskoga studija boravio je dva puta u Aveiru (Portugal) i jedanput u Weimaru (Njemačka). Objavio je nekoliko znanstvenih i znanstveno-stručnih članaka u časopisima u zemlji i inozemstvu, a također je sudjelovao u izradi građevinskih stručnih projekata.