

6 SUSTAVI PREDNAPINJANJA

6.1 Što je sustav prednapinjanja

Sustav je prednapinjanja (engl. *prestressing system*; njem. *Vorspannsystem*) **ukupnost** što obuhvaća:

- tehničko rješenje,
- postupak napinjanja i
- potrebne uređaje i pribor.

Dobar sustav prednapinjanja mora ispuniti ova četiri uvjeta:

- **sila prednapinjanja** ostvaruje se **pouzdana** i **nadzirano** se unosi;
- **sveza** je između **natege** i **uređaja za napinjanje** **jednostavna, čvrsta** i razmjerno lako **razrješiva**;
- **sidrenje** je **pouzdana** i **trajno** (neosjetljivo na vremenske prilike) i
- **utrošak i cijena gradivā** nisu neprihvatljivo **visoki**.

6.1 Što je sustav prednapinjanja

Danas ima u svijetu **nekoliko stotina** sustava prednapinjanja, ali je golem broj njih manje ili više vješt **preslik** jednog od **desetka najvažnijih**.

Za **četiri** od njih može se reći da su rasprostranjeni po **cijelomu svijetu**:

- *BBR* (švicarski),
- *Dywidag* (*Dywidag System International, DSI*, njemački),
- *Freyssinet* (francuski) i
- *VSL* (švicarski).

Uočavamo da su čak **dva** švicarska, što pokazuje kako se i mali narodi mogu natjecati s velikima.

U nas se još rabe austrijski sustav *Vorspann-Technik* i talijanski *Rizzani de Eccher*.

S vremenom su se u sklopu gotovo svih sustava razvili **podstavi**, što se razlikuju po tomu jesu li im **vlačni članci** od **žica** ili od **užeta**.

6.1 Što je sustav prednapinjanja

Pojedini se sustavi načelno razlikuju međusobno:

- po oblikovanju i smještaju vlačnih članaka,
- po izvedbi prolaza (šupljina) za vlačne članke,
- po sidrenim uređajima, te
- po načinu napinjanja i ubrizgavanja uštrcnog morta itd.

Primjena sustava prednapinjanja zavisi:

- od vrsti vlačnih članaka (žice, šipke, užeta, spletovi struna),
- od toga je li natega spregnuta s betonom ili slobodna i
- od vlastitosti građevine.

U sljedećem ćemo izlaganju prikazati spomenuta **četiri glavna** sustava prednapinjanja, ali i jedan nešto **stariji** što je u bivšoj državi imao **povlaštenu uporabu**, pa je i primijenjen na mnogim građevinama, navlastito **mostovima** (IMS).

Već se sada brojni od tih mostova **popravljaju**, pa je dobro poznavati taj sustav.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Već smo u uvodnomu predavanju spomenuli četiri **glavna** postupka prednapinjanja:

- mehanički,
- hidraulički,
- toplinski (termički) i
- kemijski.

Također je rečeno kako je nesrazmjerno najrasprostranjeniji **mehanički** postupak.

Međutim, i u sklopu njega razlikujemo:

- napinjanje greda i ploča i
- napinjanje rotacijski simetričnih građevina (spremnikā, silosā i sl.).

Opet se u praksi nesrazmjerno češće susrećemo s **prvim** poljem primjene (grede i ploče), pa ćemo se u sljedećem izlaganju ograničiti na nj.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Još jednom se prisjetimo kako prednapinjanje greda i ploča može biti:

- **predhodno** (prije betoniranja) i
- **naknadno** (nakon očvrsnuća betona).

I ovo drugo ima svoje podvrsti:

- s nategama **spregnutima** s okolnim betonom i
- sa **slobodnim** nategama.

Na kraju i ove druge dijele se na:

- **unutarnje** i
- **vanjske**.

Međutim, bitne se razlike između predhodnog i naknadnog prednapinjanja očituju u:

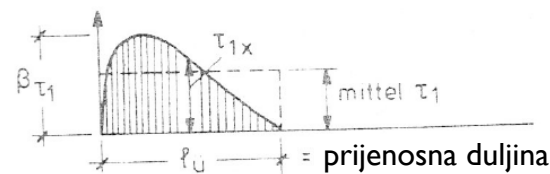
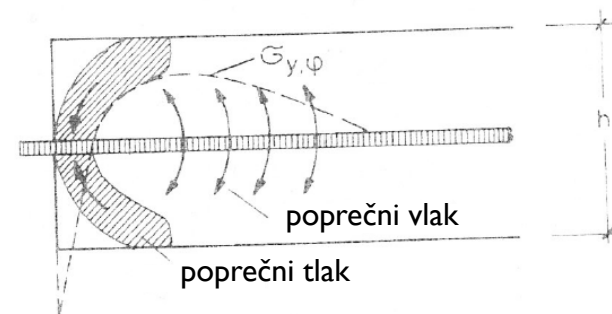
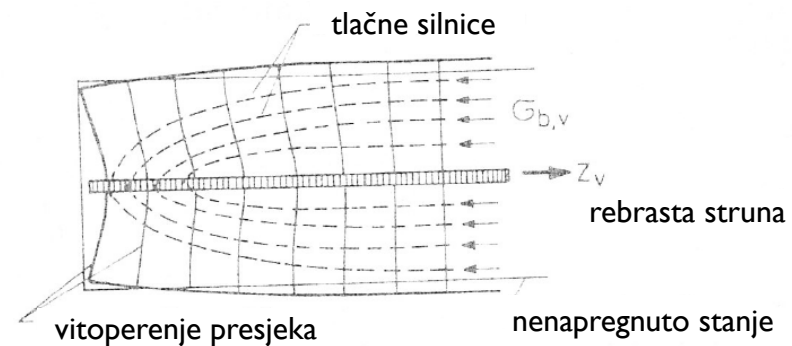
- načinu **sidrenja** i
- **obliku osi** natege.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednap.

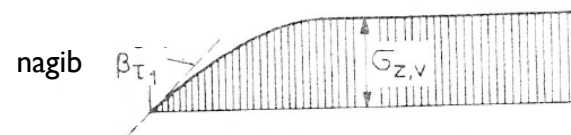
U slučaju **predhodnog** napinjanja **sidrenje** se ostvaruje **izravnim prijanjanjem** (slika 6.1).

Na slici su predočeni i **osnovni pojmovi iz teorije prijanjanja**:

- prijenosna duljina,
- duljina unošenja,
- vitoperenje presjeka,
- poprečni tlak,
- poprečni tlak,
- naprezanje prijanjanja.



neprezanje prijanjanja na čeliku za prednap.



naprezanje u čeliku



naprezanje u betonu u blizini osi štapa

Slika 6.1: Osnovni pojmovi iz teorije prijanjanja

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Definirajmo navedene pojmove.

- **Prijenosna je duljina** razmak između presjekā u kojima **iščezava posmično naprezanje** (naprezanje prijanjanja) između **čeličnoga** vlačnoga članka i okolnog **betona**, tj. to je **duljina** duž koje djeluje **prianjanje**. Počev od kraja prijenosne duljine **naprezanja u čeliku** postaju **nepromjenjiva** duž vlačnoga članka.
- **Duljina je unošenja** razmak između čela nosača i presjeka počev od kojeg **naprezanja u betonu postaju jednoliko raspodijeljena po presjeku**.
- **Vitoperenje je presjeka** posljedak **nejednolike** raspodjelbe uzdužnoga **tlaka** po presjecima na potezu duljine unošenja. Najjače je izvitoperen **čelni** presjek (u kojem sila prednapinjanja djeluje gotovo u točki, pa se izvitoperenost postupno smanjuje do presjeka na kraju duljine unošenja, koji je **ravan**).

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Poprečni tlak** i **vlak** ne treba posebno definirati – sve je jasno iz druge skice odozgor.
- **Naprezanje** je **prianjanja** posmično naprezanje što djeluje između **čeličnoga vlačnoga članka** i okolnog **betona** na potezu **prijenosne duljine**, a zahvaljujući njemu moguće je **sprezanje** između **vlačnoga članka** i **betona**. S ovim smo se pojmom susreli i u *Betonskim konstrukcijama*.

* * * * *

Međutim, usprkos bitnoj razlici u **unošenju** sile prednapinjanja između predhodno i naknadno napetih AB sklopova, sama se sila prednapinjanja ostvaruje na **načelno jednak način** i uz uporabu **slične opreme**.

Jedina je **bitna razlika** u tomu što se u predhodnog napinjanja **sidreni uređaj** nalazi **izvan** napinjanoga sklopa, a u naknadno napinjanoga – **na njemu** ili **u njemu** (najčešće na čelu ili blizu njega).

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Prije nego što prijedemo na prikaz pojedinih sustava naknadnog prednapinjanja, izrecimo definiciju natege.

- **Natega** iliti **kabel** (*tendon, cable; Spannglied*) jest **cjelina** sastavljena od **vlačnoga članka** i **sidrenog uređaja** (sidra), što služi za za **trajno unošenje sile prednapinjanja** u AB nosač, ploču ili zategu.

Pri tomu se **vlačni članak** može sastojati od **šipke** (glatke ili rebraste) ili **više žica** (ili struna) što mogu biti **usporedne** (u svežnjevima) ili **upletene** u spletove ili užeta.

Budući da se radi o **naknadnom** napinjanju što se ostvaruje **nakon** očvrsnuća betona, mora se **spriječiti** izravni **doticaj** između **čelika** vlačnoga članka i okolnoga **betona**. Tomu služi **zaštitna cijev**.

Nakon **napinjanja** vlačnoga članka u prostor između njega i zaštitne cijevi ubrizgava se **uštrcni mort**, koji, nakon očvrsnuća osigurava **sprezanje** između čelika i betona.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

A sada definirajmo sidro.

- **Sidro** iliti **sidreni uređaj** (*anchorage; Anker*) jest uređaj što služi za **unošenje** sile prednapinjanja s **uređaja za napinjanje** (hidraulički tijesak) **na beton** (napetljivo ili pomično sidro), dotično iz **vlačnoga članka** na kraju natege **u okolni beton** (nepomično ili nenapetljivo sidro).

Vidimo dakle da postoje **dvije** bitno različite **vrsti** sidra:

- **napetljivo** iliti pomično (aktivno) i
- **nenapetljivo** iliti nepomično (pasivno).

Definirajmo i njih.

- **Napetljivo** je **sidro** (*stressing anchorage; Spannanker*) uređaj što služi za **prenošenje sile prednapinjanja s uređaja za napinjanje** (hidraulički tijesak) **na beton**.

Pri tomu se vlačni članak **zahvaća** hidrauličkim tijeskom, pa se **razvlači** i na kraju **sidri** u razvučenu stanju.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Zahvaćanje vlačnoga članka **hidrauličkim tijeskom** ostvaruje se s pomoću **čeljusti** ili s pomoću **navojā**.

- **Nenapetljivo** (nepomično) je **sidro** (*fixed anchor; Festanker*) uređaj što služi za **unošenje** sile prednapinjanja iz **vlačnoga članka** na kraju natege **u okolni beton** ili **na beton**.

Može biti i **jednako** kao **napetljivo** sidro (u kojem se slučaju **vlačni članak sidri prije napinjanja**) ili takvo da se vlačni članak **presavije** u obliku **petlje**, s tim da se petlja **podloži limom** kako bi se spriječilo **cijepanje betona**.

Treća je mogućnost **raspletanje** žica pojedinih užet tako da tvore **lukovicu**.

O ovim će pojedinostima biti više riječi u prikazima pojedinih sustava prednapinjanja.

Na kraju definirajmo i zaštitnu cijev, te nabrojimo glavne dijelove pojedinih sidara.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Zaštitna je cijev** (*duct, conduit; Hülrohr*) crijevo unutar kojeg se **vlačni članak** natege **razvlači** pri **naknadnom prednapinjanju** uz **razmjerno mali otpor trenja**.

Do sredine **90.-ih godina prošloga stoljeća** za izradbu ovih cijevi rabljene su gotovo isključivo **vrpce hladno valjanoga pocinčanog lima** debljine 0,20 – 0,35 mm, što su **poprečno nabrane** (orebrene) i namotane poput **zavojnice**, tako da se na mjestima **nastavaka** ili **priključaka** mogu navrnuti **kolčaci** ili **tuljci** kao **vijci**.

Poprečni nabori **ukrućuju** cijev i poboljšavaju **spregu** između okolnog **betona** i **uštrcnog morta**.

Osim toga omogućuju **savijanje** cijevi u razmjerno **malim polumjerima** tako da se **velike natege** mogu prevoziti namotane u **kolute** na **vitlovima**.

Budući da je nađeno da **uštrcni mort pruža slabu zaštitu od hrđanja**, zaštitne su se cijevi počele izrađivati od **plastike**, približno **dvostruko deblje od lima**.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Od **glavnih dijelova sidra** valja navesti sljedeće:

- sidrena glava,
- sidrena glavica,
- sidrena matica,
- sidrena petlja,
- sidrena ploča,
- sidrena zavojnica,
- sidreni klin,
- sidreni kotur,
- sidreni lijevak,
- sidreni podmetač,
- sidreno kućište,
- sidreno zvono.

Svaki ćemo od ovih dijelova najprije sažeto **opisati**, a u prikazu pojedinog **sustava prednapinjanja** svratiti pozornost na nj na dotičnom **crtežu**.

Naravno, **nema svih dijelova u svakom sustavu prednapinjanja**, ali se **većina pojavljuje u svima**.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Sidrena je glava** (*anchorage head; Ankerkopf*) **najvažniji dio sidrenog uređaja.**

U napetljivog sidra može se sastojati:

- od sidrenoga kućišta i sidrenoga kotura,
- od sidrene ploče i sidrenoga kotura ili
- samo od sidrene ploče.

Ako **nenapetljivo** sidro nije oblikovano poput **petlje** i ono ima **jednaku** sidrenu glavu.

Prijelazna zaštitna cijev (tuljac), **odušak** i **priključak za uštrcavanje morta** također su **sastavni dijelovi** sidrene glave.

- **Sidrena je glavica** (*button-head; angestauchtes Ankerköpfchen*) **prošireni** završetak žice ili strune užeta napravljen s pomoću **osobitoga hidrauličkog tijeska** kako bi se žica (struna) mogla **usidriti**.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Glavica **žice** opire se o sidreni **kotur**, a glavice **struna** jednog užeta o **trodjelni** sidreni **klin**, a zatim o kotur.

Ovaj je način sidrenja vlastit švicarskom sustavu prednapinjanja **BBR**, što ima pojedinačne natege sastavljene i od 173 žice $\varnothing 7$ mm s početnom silom prednapinjanja 6,0 MN.

- **Sidrena je matica** (*anchor nut; Ankermutter*) dio sidrenog uređaja što prenosi silu prednapinjanja u **napetljivoga** sidra na **sidreno zvono** (nadomjestak sidrene ploče u sustava *Dywidag*) ili na **sidrenu ploču** (sustav *BBR*).

Dywidagova ima **klinast dosjed**, zahvaljujući čemu se postiže znatno **povoljnija raspodjelba opterećenja** po navojima duž matice.

Matica Dywidagova **nenapetljivog** sidra **srasla je sa sidrenom pločom**, tako da joj presjek kroz os šipke (vlačnoga članka) ima **zvonast** obris.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Sidrena je petlja** (*anchor loop; Ankerschlaufe*) vrst **nenapetljivog** sidra natege čiji se **vlačni članak** sastoji od **žica** ili **užetā**, što se presavijaju tako da tvore **luk** sa središnjim kutom oko 240° .

Radi smanjenja polumjera **zakrivljenosti** luka (i potrebnoga prostora za smještaj sidra) umeće se **limeni uložak** što znatno **ublažuje tlak** kojim **skretne sile** u petlji djeluju na **beton** (učinak **cijepanja**).

Za preuzimanje **skretnih sila** pri **ulazu** krakova petlje u **zaštitnu cijev** ugrađuje se **zavojnica** (spiralna).

- **Sidrena je ploča** (*anchor plate; Ankerplatte*) dio sidrene glave što prenosi silu prednapinjanja **izravno** u beton.

Treba biti **što kruća** kako bi se po mogućnosti postigla **što jednolikija raspodjelba naprezanja** na dodirnoj plohi između nje i betona.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Zato se izrađuje od **debelog lima** (deb. 20 – 50 mm, zvisno od izmjera lica).

Obično je **četvorinasta** (kvadratnog) **obrisa** (rjeđe pravokutna).

U sustava Dywidag s užetima kao vlačnim člancima nadomještena je **trima prstenastim obodima kućišta** (višeplošno sidrenje), a u **napetljivog** Dywidagova sidra za šipke **sidrenim zvonom**.

- **Sidrena je zavojnica/sidrena spirala** (*anchor spiral; Ankerwendel*) dio sidrene glave izrađen od glatkoga betonskog čelika što služi za **mjesno povećanje tlačne čvrstoće betona**.

Naime, zavojnica **obujmljuje beton** i tako mu znatno **ograničuje bočno širenje**, čime ga dovodi u stanje **troosnoga tlaka**, zahvaljujući čemu on ima znatno **veću čvrstoću**.

Zavojnica se obično **privaruje** za sidrenu ploču.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Sidreni je klin**, (*anchor wedge; Ankerkeil*) dio sidrene glave što **pridržiava žice ili uže u razvučenom stanju**.

Naime, **razvučena** žica ili uže nastoji, **nakon otpuštanja iz čeljusti hidrauličkog tijeska**, poprimiti **početnu duljinu**, ali se tomu **opire sila trenja** što nastaje na dodirnoj plohi između žice ili užeta i klina.

Radi sprječavanja prekomjerna **prokliznuća** klina, njegova se **dodirna ploha posebno obrađuje** (nazubljuje) ili se u nju **utiskuju zrnca karborunduma**.

Usprkos tomu **prokliznuće** je klina **neizbježno** i o tomu se mora **voditi računa pri proračunu**, a osim toga mora se i **mjeriti pri napinjanju natega**.

Klin može biti **jednodijelan**, te **trodijelan** i **četverodijelan**.

Jednodijelni je najčešće **čunjasta** oblika, ali može biti i **prizmast**, dok su **trodijelni** i **četverodijelni** redovito **čunjasti**.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Sidreni je kotur** (*anchorage fixture, wedge plate; Ankerscheibe*) dio sidrene glave što prenosi silu prednapinjanja sa **žica** (sustav BBR), **užetā** ili **šipke** u **sidrenu ploču** (izravno ili preko podmetača u obliku poluprstenova), **kućište** ili neposredno u **beton**.

U **prvom** slučaju kotur ima u sebi **valjkaste** provrte kroz koje prolaze **pojedinačne žice** (obično Ø 7 mm), u **drugom** su ti provrti **čunjasti** – kroz njih prolaze **užeta s višedjelnim klinovima**, dok je u **trećemu** slučaju provrt **valjkast s navojem po obodu** (sustav Dywidag).

- **Sidreni je lijevak** (*anchor trumpet; Übergangsrohr*) **spoj zaštitne cijevi i sidrene glave** u obliku krnjega čunja ili plohe sastavljene od plašta valjka i krnjega čunja (sustav BBR). Valjkasti **nastavak** služi za to da bi **sidrenom koturu** omogućio **dostatan hod** za vrijeme napinjanja.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

U njemu se žice ili užeta **postupno šire** iz **zgusnuta rasporeda** kakav imaju **duž natege** u **razmaknut raspored** što odgovara **provrtima** u **sidrenom koturu**.

U nekih sustava (npr. Dywidag) umeće se **plastični uložak** u **lijevak** čime osigurava **pravilan** raspored užetā.

- **Sidreni je podmetač** (*anchor shim; Ankerhalbring*) čelični **poluprstenasti uložak** što se umeće **između sidrenoga kotura i sidrene ploče** pošto se žice razvuku do mjere pri kojoj dosežu **predviđenu silu prednapinjanja** (sustav BBR).

Rabi se u natega čije **napetljivo** sidro ima razmjerno **malen hod** pri napinjanju (do 150 mm).

Umeće se kroz otvore u stalku hidrauličkoga tijeska.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

- **Sidreno je kućište** (*anchorage cone; Ankerkörper*) dio sidrene glave što može biti oblikovan poput **čunjaste potpore sidrenomu klinu** (pri čemu su žice raspoređene po njegovu obodu) ili poput **debelostjena tuljca** po čijem su obodu **prstenasta rebra** što preuzimlju ulogu **sidrene ploče** (višeplošno sidrenje, sustav Dywidag s užetima kao vlačnim člankom) ili poput **ljevkašte provrćene kape sidrenoga zvona** o koju se opire **klinasta matica** (kao u sustava Dywidag, kojom se sidri pojedinačna šipka).
- **Sidreno je zvono** (*bell anchorage; Ankerglocke*) dio sidrene glave **napetljivoga** sidra sustava Dywidag (s rebrastom šipkom kao vlačnim člankom) oblikovan tako da ulogu sidrenoga **kućišta** preuzima **ljevkašta provrćena kapa**, srasla s **čunjastim prstenom**, što **obujmljuje beton pod kapom i tako mu povisuje čvrstoću**.

Kako bi prostor pod zvonom bio **potpuno ispunjen betonom**, po obodu prijegiba između kape i prstena ostavljaju se **provrti** (obično četiri) što služe kao **odušci**.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

Za nastavljjanje natega služe tzv. **spojke**.

- **Spojka** (*coupler*; *Koppelanker*) jest uređaj što ostvaruje **nastavljanje** natega s pomoću spojnih **glavā** (koturā) i **vretena** (sustav *BBR*) ili s pomoću spojnoga **kotura** i trodijelnih **klinova** (sustav *Dywidag*), dok se pojedinačna **užeta** nastavljaju s pomoću vlačnih **tuljaca**.
- **Sidreno vreteno** prenosi **silu** iz sidrene glave jedne natega u sidrenu glavu druge preko **narezā** na svojem oplošju što točno odgovaraju narezima unutar sidrenih glava.
- Nastavljanje **kotutom** ostvaruje se tako što se nastavljaju **pojedinačna užeta**, pri čemu male **opruge** utiskuju trodijelne **klinove** za sidrenje užetā novog dijela natega.
- Nastavljanje **pojedinačnih užetā** izvan sidara (najviše po dvaju u istom poprečnomu presjeku) ostvaruje se s pomoću dviju valjkastih **kućišta** s čunjastim šupljinama za **klinove** (opet opruge!) i valjkaste **jezgre** što povezuje kućišta **narezima**.

6.2 Opće vlastitosti sustavā prednapinjanja

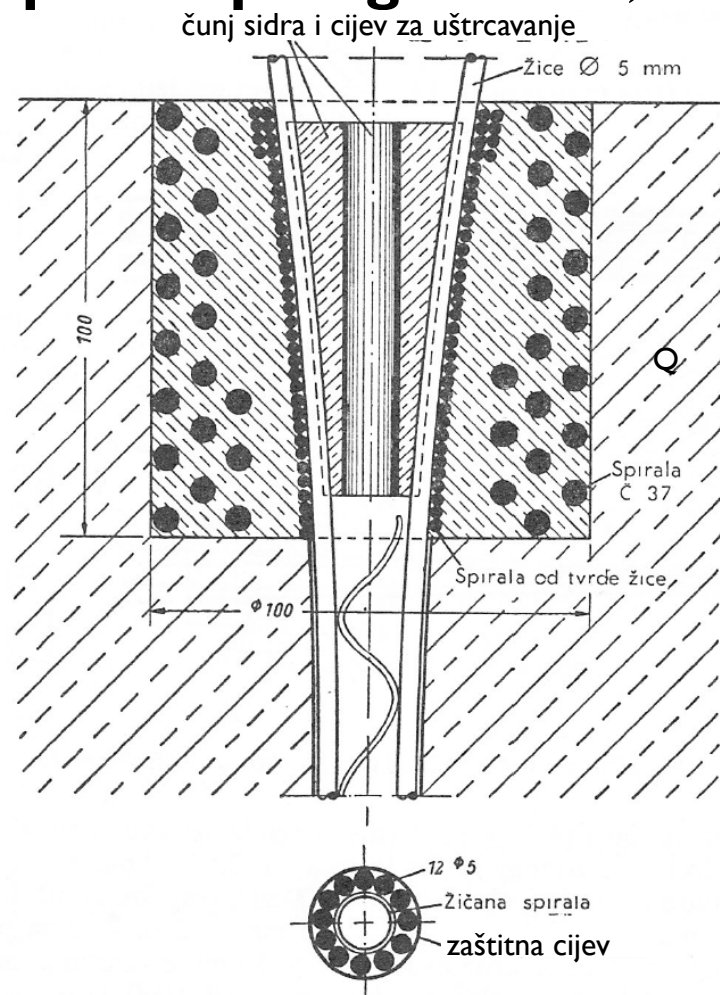
* * * * *

Izlaganje o glavnim dijelovima natege završit ćemo prisjećanjem na **sidro** što ga je izumio **tvorac prednapetog betona, Eugène Freyssinet (1879-1962)**.

Radi se o **betonskoj** (C 60/50) sidrenoj glavi, zavojito armiranoj, s čunjastim otvorom obloženim zavojito namotanom tvrdom žicom $\varnothing 2,5$ mm (slika 6.2).

Po obodu otvora može se rasporediti 12-18 žica, a zanimljivo je da je i **klin** s užljebinama za žice od **betona** (C 100/85).

Iako se beton **nije drobio**, ovo je sidro **napušteno**, jer je izradba bila **presložena i preskupa**.



Slika 6.2: Freyssinetovo AB sidro 23

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.1 Sustav BBR

a) **Uvod**

U nazivu se nalaze početna slova prezimenā tvoracā sustava:
Birkenmeier, Brandestini i Roš.

Mirko Roš (1879-1962) bio je inače rođeni Zagrepčanin, koji je stekao međunarodni stručni ugled u Švicarskoj, te je postao i **ravnateljem** znamenitog *Instituta za ispitivanje gradiva i izvedbu pokusā* u Zürichu (*Eidgenössisches Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, EMPA*).

Zaslужan je za to što je ovlasnica (“licenca”) za primjenu ovoga sustava ustupljena zagrebačkom poduzeću *Geotehnika* pod vrlo povoljnim uvjetima, a zanimljivo je da je, živeći dugo na Zapadu, ustrajavao na pisanju prezimena sa š.

Počet ćemo sa **starijom** inačicom sustava, što je imao vlačne članke od žicā Ø 7 mm.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3. I Sustav BBR

a) *Uvod*

U primjeni je od 1949. godine, a **rasprostranjen** je gotovo po **cijelom svijetu**.

Vlačni mu se **članci**, kako je već rečeno, sastoje od **glatkih žica** Ø 7 mm.

Od **broja žica** zavisi **sila prednapinjanja** što može iznositi od 0,5 do **6,0 MN** (14 – 163 žice).

Vlačni se članci ugrađuju **prije betoniranja** u cijevi od rebrasta lima.

Žice moraju biti **jednako duge** što se postiže s pomoću osobitog uređaja.

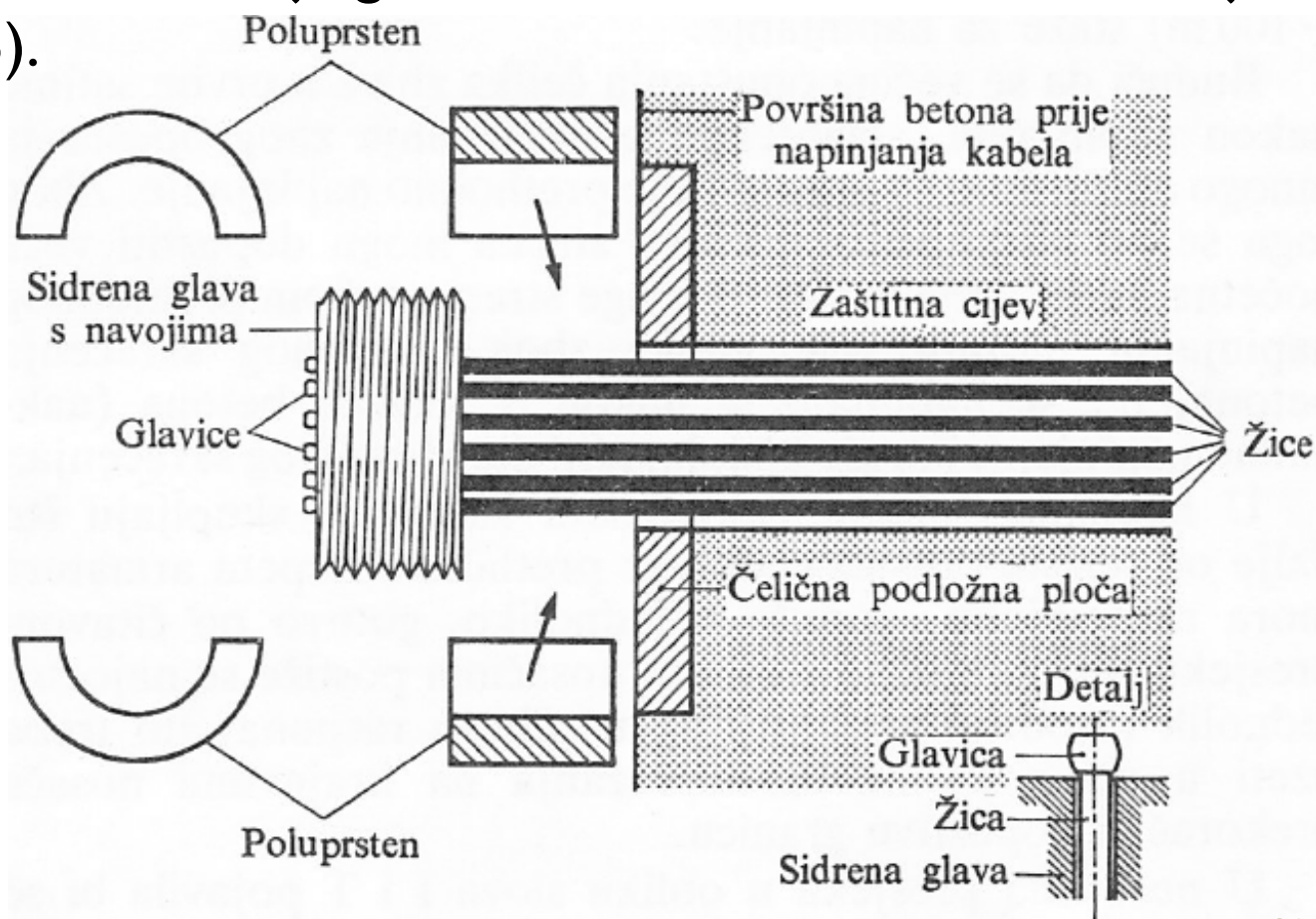
Moguće je napinjanje natega **do bilo kojeg postotka pune sile**, što može biti zanimljivo kada se gradi od PG dijelova.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3. I Sustav BBR

b) Napetljivo sidro

Sidro je od jakog čeličnoga prstena (glava sidra) kroz koji prolaze žice što imaju glavice oblikovane u hladnom stanju (slika 6.3).

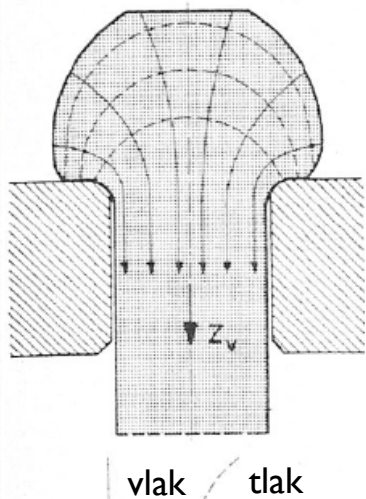


Slika 6.3: BBR-ovo sidro s detaljem sidrene glavice

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3. I Sustav BBR

b) Napetljivo sidro



Mehaničko djelovanje sidrene glavice prikazano je na slici 6.4 gdje su predložene **silnice** (trajektorije) **glavnih naprezanja**.

Punim su crtama izvučena **vlačna** naprezanja.

Glava sidra ima po obodu vanjski **narez** na koji se priključuje **stap** hidrauličkog **tijeska** (preše).

Slika 6.4: Silnice glavnih naprezanja

Žica se razvlači s pomoću tijeska, a sila se održava umetanjem čeličnih poluprstenova.

Tijesak se opire o beton prko **sidrene ploče** (podložnog lima).

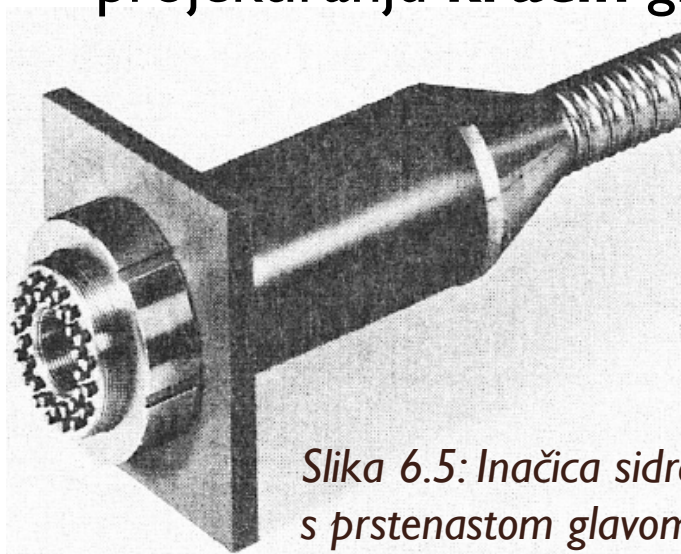
Povećanjem **izmjera** sidrene ploče može se postići to da se smije napinjati s oslonom na **beton manje čvrstoće** (pri manjoj starosti betona), što je **prednost** ovog sustava kojom **nadmašuje** sve ostale.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3. I Sustav BBR

b) Napetljivo sidro

Osnovni je, međutim, **nedostatak** ovog sustava razmjerna **skupoća sidara**, pa o tomu treba voditi računa pri projektiranju **kraćih** građevnih dijelova od PB.



Slika 6.5: Inačica sidra s prstenastom glavom

Inačica je ovog načina sidrenja u **prstenastoj sidrenoj glavi**, pri čemu se **stap** tijeska priključuje na **unutarnji narez**, a mjesto poluprstenova umeće se **puni sidreni prsten** što se navija na **vanjski narez** sidrene glave (slike 6.5 i 6.6).



Slika 6.6: BBR-ovo napetljivo sidro

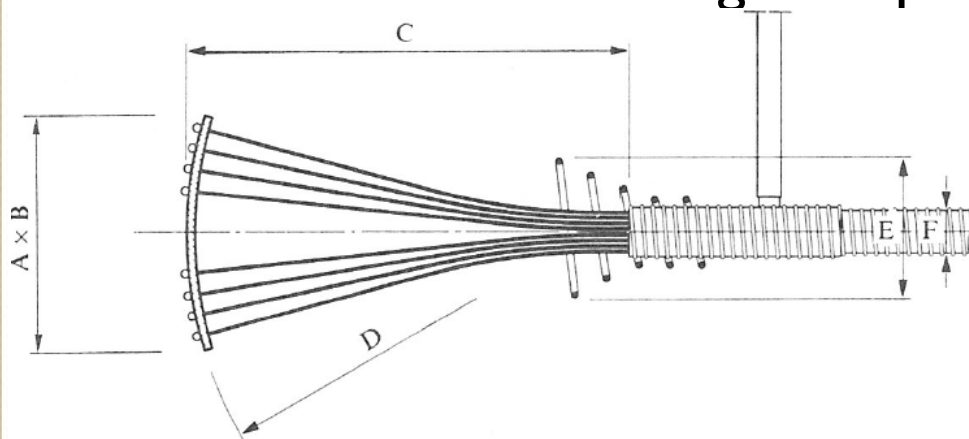
6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.1 Sustav BBR

c) *Nenapetljivo sidro*

Postoje dvije inačice ovoga sidra:

- ubetonirano sidro (slika 6.7) i
- sidro na čelu betonskoga sklopa (slika 6.8).



Slika 6.7: BBR-ovo ubetonirano sidro

Ubetonirano sidro ima **raspletene žice** s glavicama usidrenima u zakrivljeni lim.

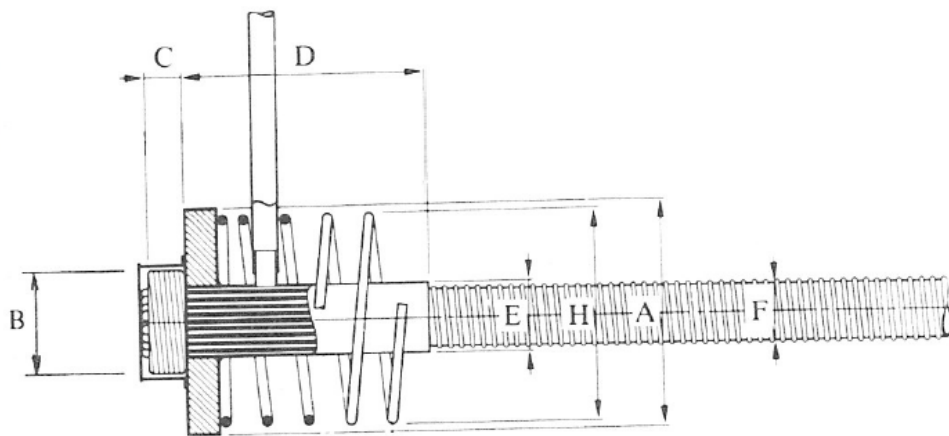
Uočimo **zavojnicu** pri kraju zaštitne cijevi (protiv sila cijepanja), te **proširenje zaštitne cijevi** na potezu priključka za ubrizgavanje uštrcnog morta (ili oduška – odzračnika).

Uočimo također da ovakva natega mora biti **u cijelosti predgotovljena** i ugrađena u PB sklop prije betoniranja.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.1 Sustav BBR

c) *Nenapetljivo sidro*



Slika 6.8: BBR-ovo vanjsko nenapetljivo sidro

nja vlačnoga članka, pa se dakle umeću pri tomu.

Kote na ovim crtežima označuju **promjenjive vrijednosti** zavisne od **jačine natege**, a dane su u prospektima proizvođača.

Valja još spomenuti kako se danas gotovo **u pravilu** rabe nenapetljiva sidra što se postavljaju **na beton**.

Sidro što se postavlja **na čelo AB grede** razlikuje se od napetljivoga samo utoliko što su izostavljeni sidreni **poluprstenovi** (ili prstenovi) što osiguravaju duljine žica nakon napinjanja

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

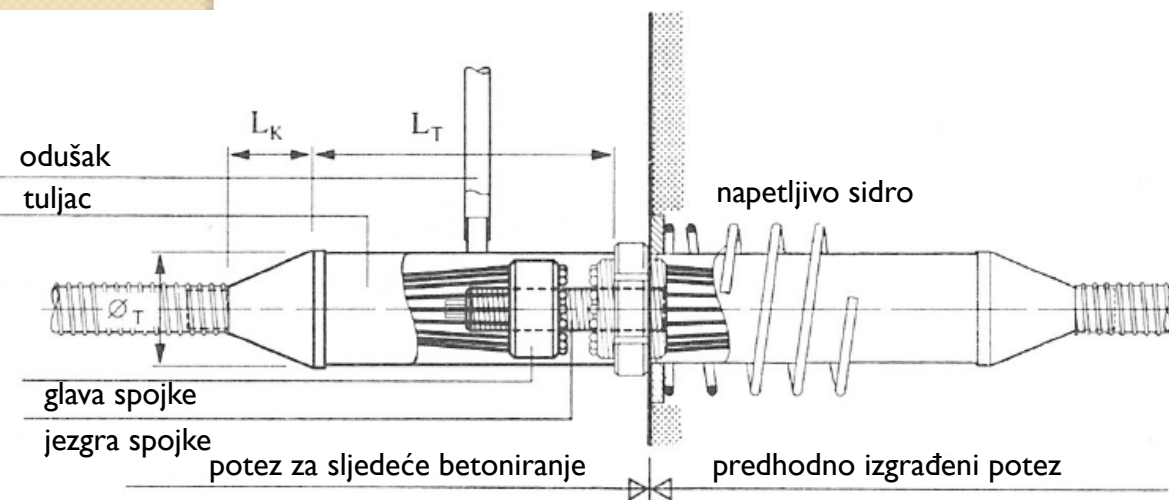
6.3.1 Sustav BBR

d) Spojke za nastavljjanje natega

Pri građenju **protežnih** (kontinuiranih) rasponskih sklopova mostova na uzdužno pomičnoj ili premjestivoj skeli (tzv.

postupak betoniranja **polje po polje**) natega se napi-
nju **nakon** dostatna
snuća betona (obično
nakon sedam dana).

Za **nastavljanje** natega
služi tzv. **spojka** (slike 6.9 i
6.10, vidi definiciju!).



Slika 6.9: BBR-ova nepomična spojka

Na **napetljivo** sidro predhodno dovršenog dijela sklopa pri-
ključuje se **svornjak** što se **uvrće** u **njegovu** prstenastu
glavu, a zatim se na nj **navrće** prstenasta glava nenapetljivog
sidra novoga dijela sklopa (slika 6.9).

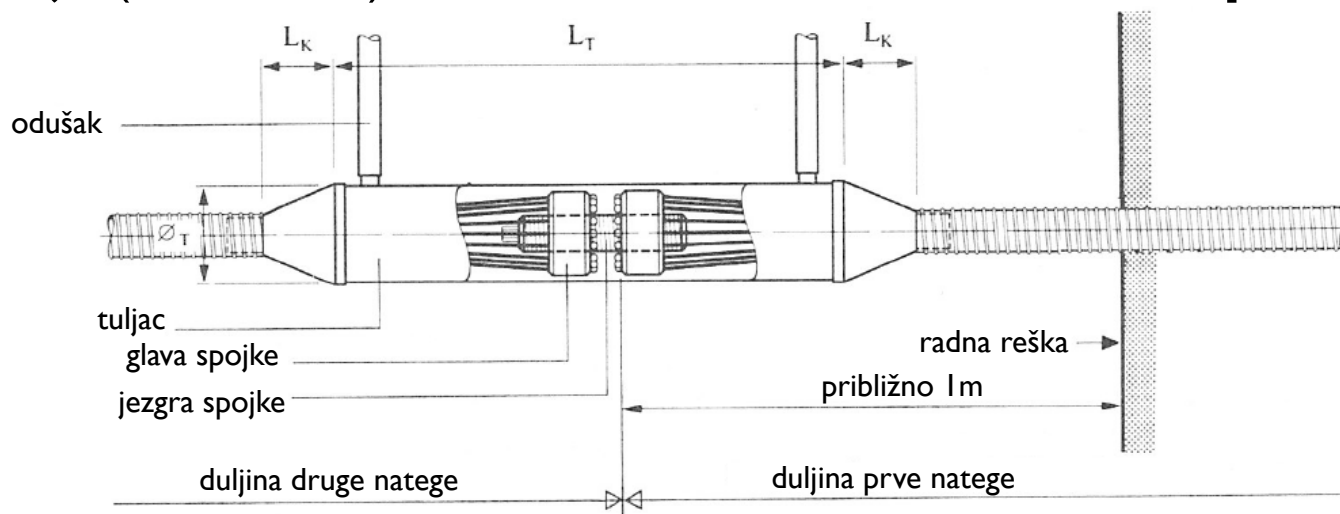
6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.1 Sustav BBR

d) Spojke za nastavljjanje natega

Pri izvedbi rasponskih sklopova na **stojećoj skeli** (postavljenoj **na cijeloj duljini** mosta ili stropa/krova kakve zgrade) natege znaju biti duge i po nekoliko **stotina** metara, pa bi bilo nespretno rukovati s njima.

Zato se natege izvode iz **dvaju** ili **više dijelova**, a spojke se postavljaju **u beton** blizu radne reške (mjesto nastavka betoniranja (slika 6.10). Uočimo da su **oba sidra nenapetljiva!**



Slika 6.10: BBR-ova pomična spojka

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.2 Sustav Dywidag

a) Uvod

Naziv potječe od prvih slogova prezimenā osnivača tvrtke **Dyckerhof** i **Widmann**; **ag** je kratica za **Aktiengesellschaft** (dioničko društvo).

Vlačni su članci **šipke**, najčešće $\varnothing$ 26 mm, što imaju po oplošju **navoje** (orebrenja) izrađene hladnim valjanjem, pa **sidrene glave** imaju oblik **maticā**.

Navojna su **sidra** osjetljiva na **dodatna naprezanja** zbog **mjesnog savijanja**, pa sila u šipci mora biti **točno u osi**, tj. **sidrena glava** mora biti **točno okomita na os šipke**.

Sustav je osobito pogodan za **okomite** i **jako nagnute natege**, jer **nisu potrebna** posebna ukrućenja za osiguranje točna položaja natege.

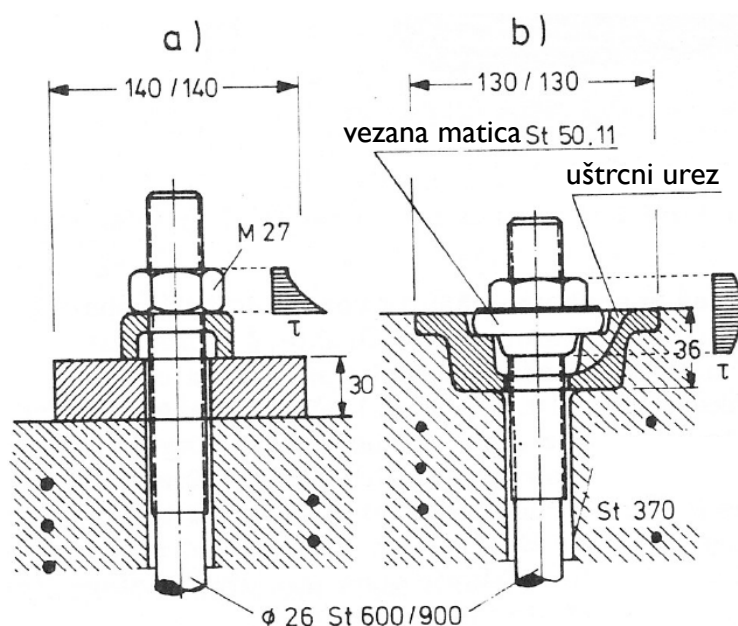
Također je pogodan za **privremeno pridržavanje PG dijelova**. (npr. pri postupnom prepuštanju PG odsječaka – mostovi).

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.2 Sustav Dywidag

b) *Napetljivo sidro*

Prije nego što prijedemo na prikaz sidra, pogledajmo zašto je nužna tzv. vezana matica.



Radi se o tomu da su u **obične** matice izrazito veća **posmična** naprezanja na **prvom** zubu, a odatle se smanjuju razmjerno brzo (slika 6.11 lijevo).

U tzv. **vezane** matice, što ima **tanjurast** nastavak, posmična su naprezanja prilično **jednoliko** raspodijeljena po zubima (slika 6.11 desno).

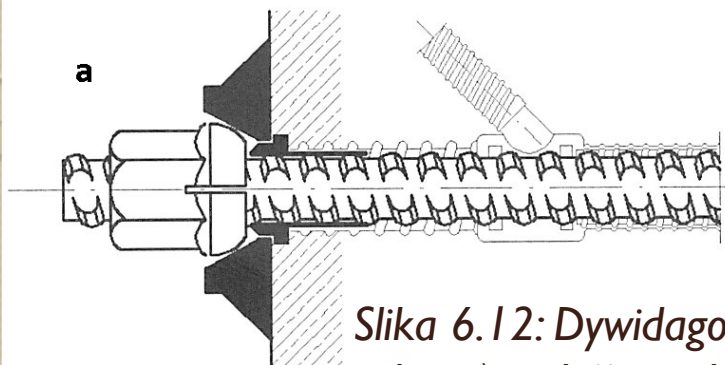
Slika 6.11: Razlika između obične i vezane matice

U ovog su se sustava razvile **tri** vrsti napetljivog sidra s tim što je vezana matica s **čunjastim** nastavkom i četirima uštrcnim **utorima** po obodu.

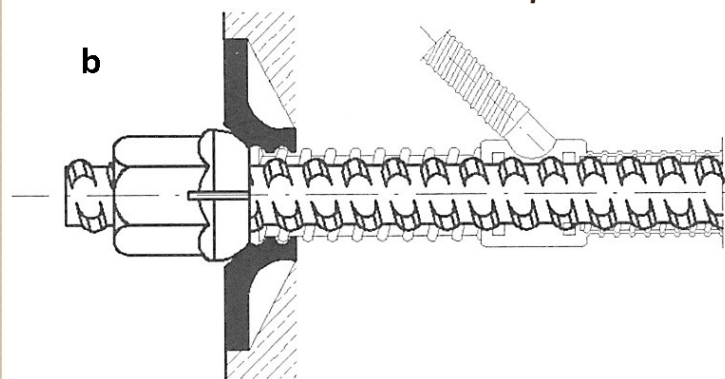
6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.2 Sustav Dywidag

b) *Napetljivo sidro*



Slika 6.12: Dywidagova napetljiva sidra: a) s običnom, b) s rebrastom sidrenom pločom



podložnim zvonom što **obujmljuje** beton pod sidrom i tako ga dovodi u stanje **svestranoga tlaka**, te mu **povisuje čvrstoću**.

Na slici 6.12 gore predloženo je sidro s **običnom** četvrtastom sidrenom pločom, a na istoj slici dolje s **rebrastom** sidrenom pločom.

U oba slučaja sidrena ploča ima čunjasta **udubljenja** kako bi čunjasti nastavak matice točno **dosjeo**.

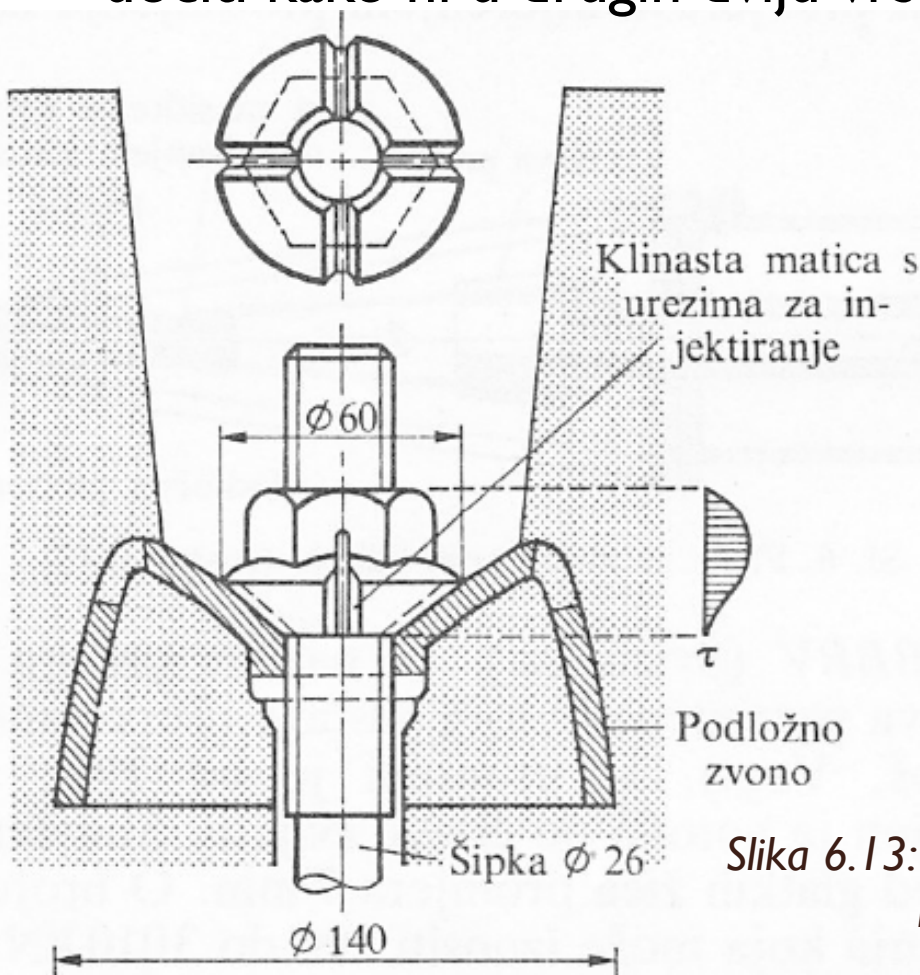
U **treće** je vrsti sidra sidrena ploča nadomještena

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.2 Sustav Dywidag

b) *Napetljivo sidro*

Zahvaljujući zvonu sidrena zavojnica postaje suvišnom, a valja uočiti kako ni u drugih dviju vrsti sidra nje nema.



Na slici 6.13 predloženo je **zvonasto** napetljivo sidro. Uočimo **otvore** u prijegima zvana – to su **odušci** što omogućuju **izlazak zraka** iz zvana prigodom zbijanja (vibriranja) betona.

Slika 6.13: Dywidagovo zvonasto napetljivo sidro

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

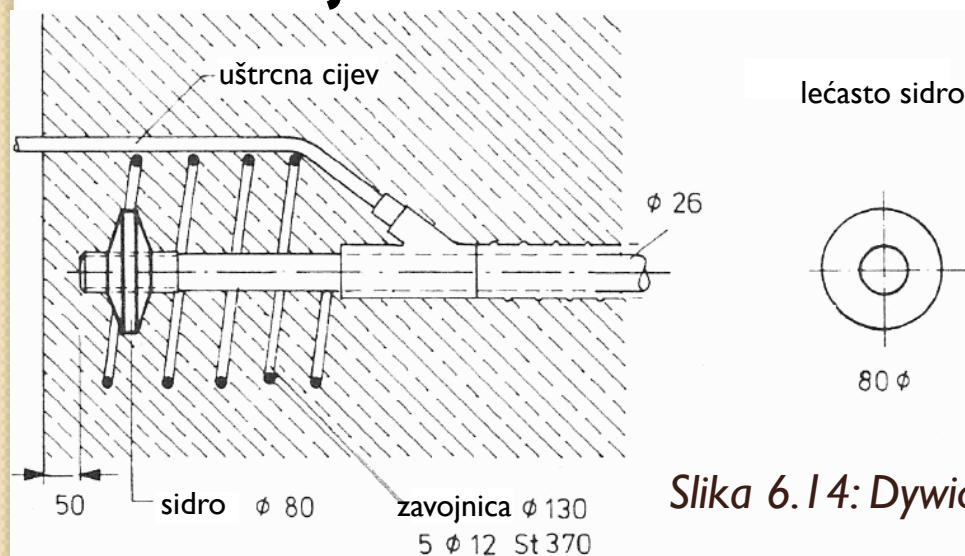
6.3.2 Sustav Dywidag

c) *Nenapetljivo sidro*

Isprva su se rabile povećane sidrene **lećaste** matice (u obliku diska) dimenzionirane tako da tlak pod njima **ne premaši dvostruku čvrstoću kocke**.

Ono je imali i sidrenu **zavojniciu**, te poseban navrtak za priključak crijeva za uštrcni mort (slika 6.14).

Uočimo da je **vlačni članak** na duljini zavojnice **u izravnu doticaju s okolnim betonom**.



Slika 6.14: Dywidagovo lećasto ubetonirano sidro

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

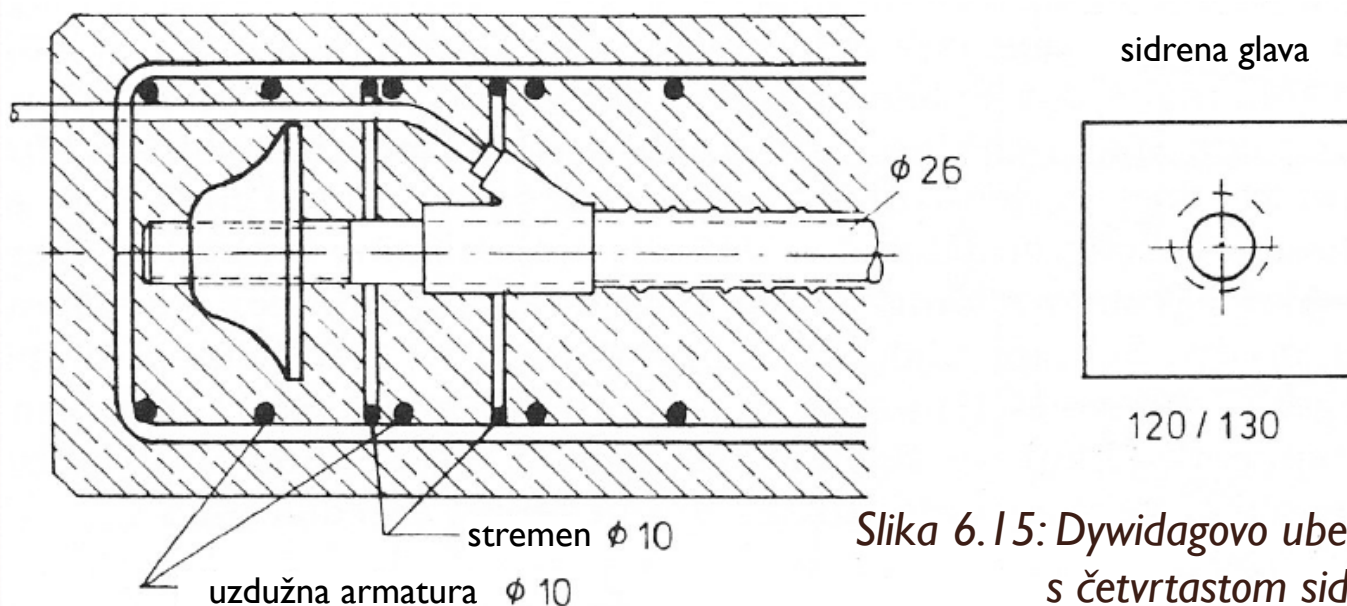
6.3.2 Sustav Dywidag

c) *Nenapetljivo sidro*

Međutim, postupno se prešlo na **čtvrtašte** sidrene ploče izravno navijene na šipku vlačnoga članka.

Izmjere ovih ploča dobivaju se na osnovi **dopustivog** mjesnoga (lokalnoga) tlaka, tako da se može **izostaviti sidrena zavojnica** (slika 6.15).

Dostatna je **obična** armatura za uvođenje sile prednapinjanja.



Slika 6.15: Dywidagovo ubetonirano sidro s četvrtastom sidrenom glavom 38

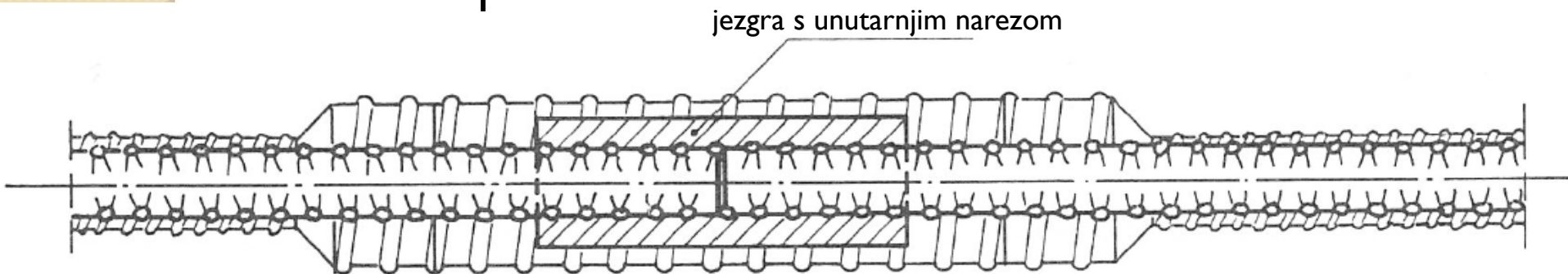
6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.2 Sustav Dywidag

d) Spojka

Nastavak šipaka ostvaruje se jednostavnom **navrtkom**, bez obzira na to radi li se o **pomičnoj** ili **nepomičnoj** spojci, tj. o spojci smještenoj **među radnim reškama** ili u **samoj radnoj reški** (slika 6.16).

Naravno, zaštitne se cijevi moraju priključiti na **spojno kućište** na ovom potezu.



Slika 6.16: Dywidagova pomična spojka

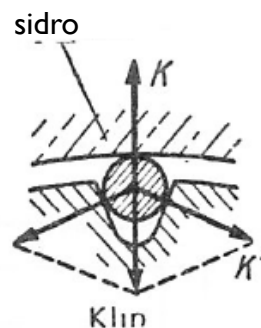
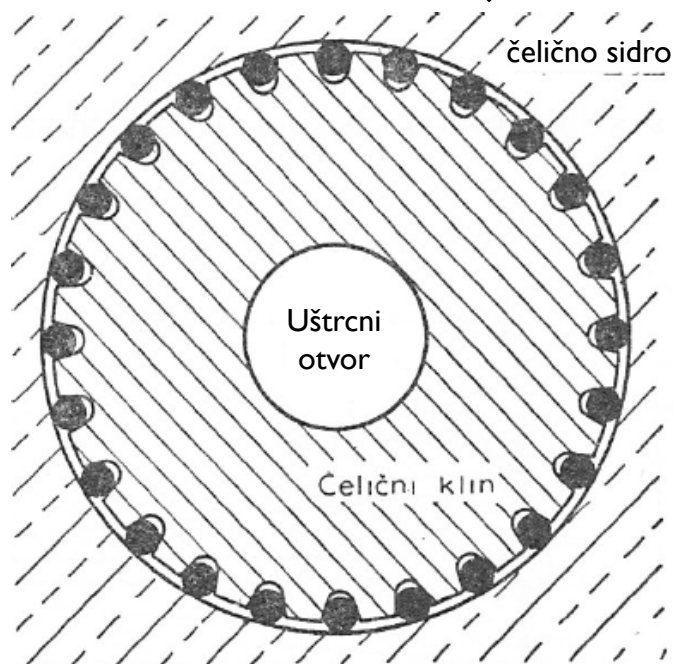
Duljina kućišta zavisi od **duljine hoda navrtke** pri napinjanju.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.3 Sustav Freyssinet

a) Uvod

Freyssinetovo **betonsko** sidro predloženo na slici 6.2 **napušteno** je ne samo zbog prevelike **složenosti izvedbe** i **skupoće**, nego i zbog **nemogućnosti sidrenja** vlačnih članaka sastavljenih od **više od 12 Ø 8 mm**.



Zbog toga se prešlo ne samo na **čelični klin**, nego i na **čelično kućište** (slika 6.17).

Uočimo kako se sila što **tlači** klin razlaže u **tri** sastavnice i tako **podvostru-**

Slika 6.17: Freyssinetovo sidro s čeličnim kućištem

čuje pouzdanost zaklinjenja bez hrapavljenja užljebina.⁴⁰

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.3 Sustav Freyssinet

a) **Uvod**

Na ovakav način postignuto je sidrenje vlačnih članaka od čak 30 Ø 7 mm (početna sila I 700 kN!).

Međutim, u kasnijem je razvoju i ovaj način sidrenja **napušten** – prešlo se na sidrenje **užetā** (o čemu će biti više riječi niže).

Sidrenjem vlačnih članaka od žica ne ćemo se više baviti iz dvaju razloga:

- U bivšoj državi **nije primjenjivan** *Freyssinetov* sustav.
- Sustav IMS zapravo je domišljen **po uzoru na Freyssinetov**, a IMS-ov ćemo prikazati zato što je za napinjanje velika broja sklopova (poglavito mostova) rabljen upravo on – treba ga poznavati radi kasnijih popravaka tih građevina do kojih će zacijelo doći.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.4 Sustav VSL

a) **Uvod**

Naziv je zapravo kratica od **Vorspannsystem Losinger**, sa sjedištem tvrtke u Crissieru u Švicarskoj.

Međutim, iz istih razloga iz kojih smo odustali od prikazivanja *Freyssinetova* sustava s vlačnim člancima sastavljenima od **žica** ne ćemo prikazivati ni odgovarajući VSL-ov.

Naime, on se **nije rabio** u bivšoj državi.

Doduše, do sada nije zabilježena nijedna primjena ni **suvremene inačice sustava**, ali, budući da se radi o jednom od **četiriju najvažnijih sustava u svijetu**, prikazat ćemo ju u odgovarajućem odjeljku.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.5 Sustav IMS

a) **Uvod**

I naziv je ovoga sustava kratica: **I**nstitut za **m**atrijale **S**rbije.

Vlačne mu se natege sastoje od **svežnjeva usporednih žica** promjera 5, 7, 10 ili 12 mm.

Zavisno od broja žica u svežnju **početna sila** u nategi može biti od 150 kN do 3 200 kN.

Ako su natege **vrlo duge** (dulje od oko 40 m), pa je **elastično produljenje žica veće od hoda stapa hidrauličkoga tijeska**, natege se **privremeno sidre**, dok se žice ne skrate rezanjem, pa se **ponovno napinju**.

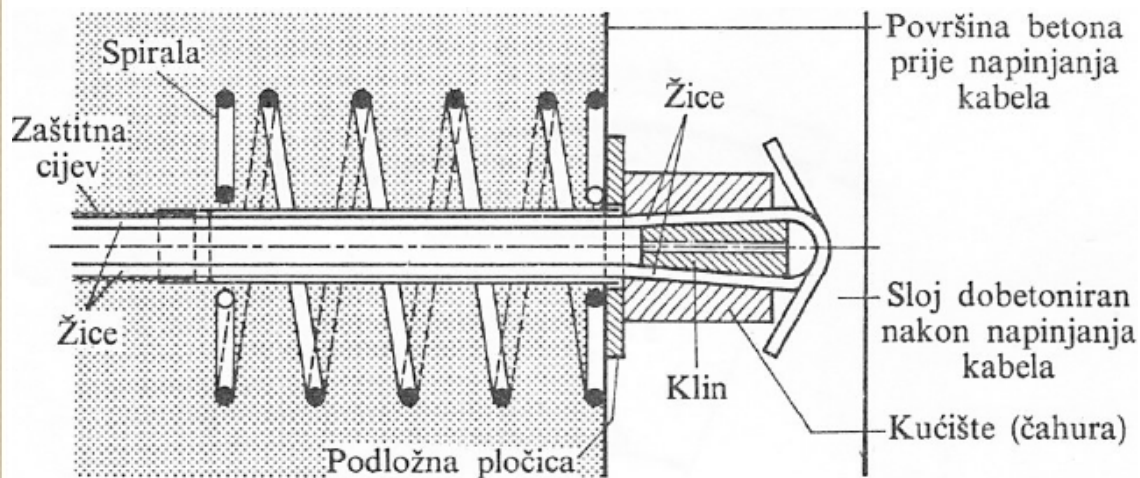
Ovaj se postupak može i **ponavljati**, čime se **smanjuje djelovanje opuštanja čelika**, a djelomice i **skupljanja i puzanja betona**.

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.5 Sustav IMS

b) *Napetljivo sidro*

Već je rečeno kako je ovo **sidro** domišljeno **po uzoru na starije Freyssinetovo**.



Slika 6.18: IMS-ovo napetljivo sidro

oko sidrenih glava naknadno **zapunjava betonom**.

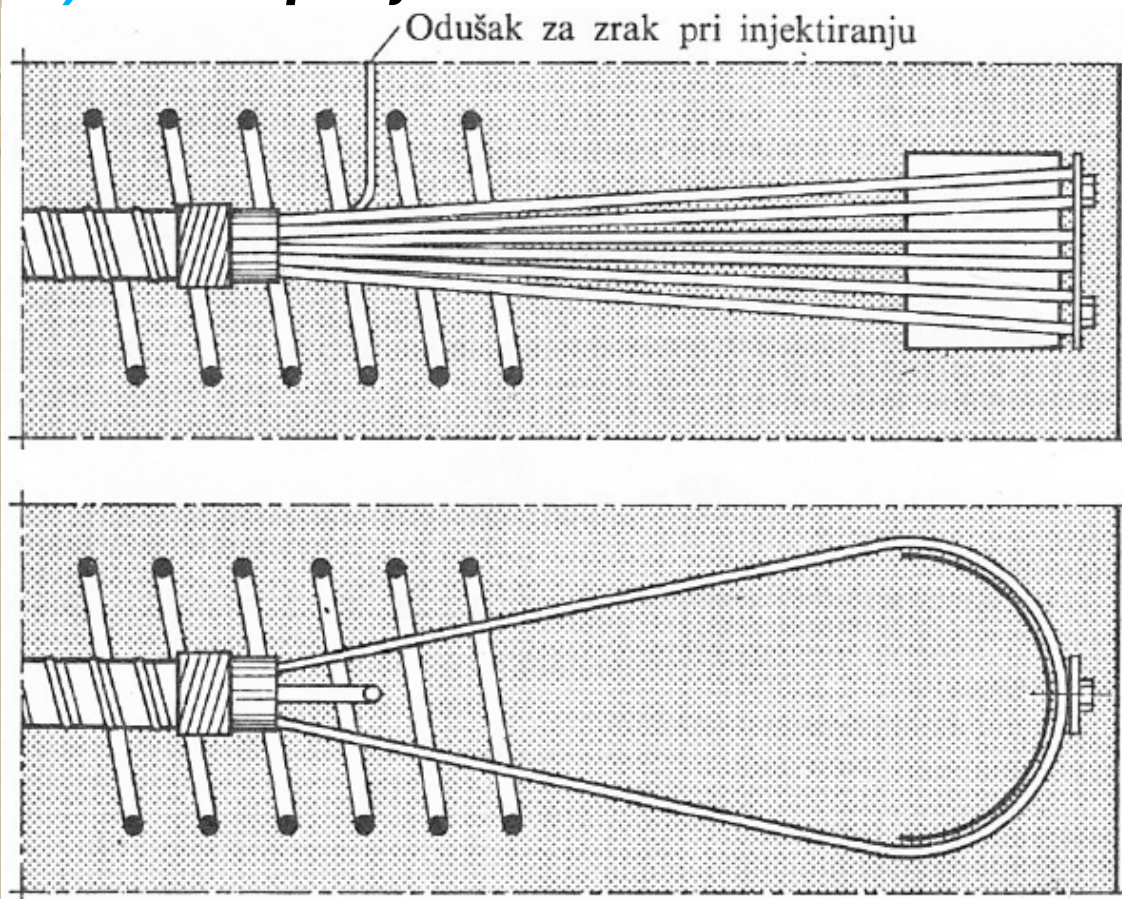
Naravno ovaj se beton mora povezati s ranije očvrslim betonom (ROB) s pomoću armature preklopljene sa šprljcima što strše iz ROB-a.

Na slici 6.18 vidljivo je sve što je zanimljivo u svezi s njim. Valja uočiti kako se **žice presavijaju** nakon zaklinjavanja, te da se **prostor**

6.3 Prikaz pojedinih sustavā prednapinjanja

6.3.5 Sustav IMS

c) *Nenapetljivo sidro*



Slika 6.19: IMS-ovo ubetonirano sidro

dvaju **vijaka**. Često se kao **nenapetljivo sidro** rabi **napetljivo** čije se žice **zakline prije napinjanja**.

Nenapetljivo se **sidro** izvodi **previ-
janjem žica** tako
da tvore **petlju**
(slika 6.19).

Kako ne bi došlo
do **cijepanja be-
tona** pod žicama,
umeće se **podložni
lim** pričvršćen za
niz petljā s pomoću
limene letvice i

6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s vlačnim člancima od užetā

6.4.1 Uvod

Ovdje se **bitno** razlikuju **napetljiva sidra** od **nenapetljivih**.

U **napetljivih** se u pravilu **užeta sidre pojedinačno** s pomoću **trodijelnih klinova**.

Jedina se **razlika** očituje u obliku **sidrene glave** (ili sidrenoga **kotura**).

Nenapetljiva se sidra načelno svrstavaju u **dvije** skupine:

- **raspletena (lukovičasta) sidra** (*bondhead anchorage; Zwirbelanker*) i
- **petljasta sidra** (*looped anchor; Schlaufenanker*).

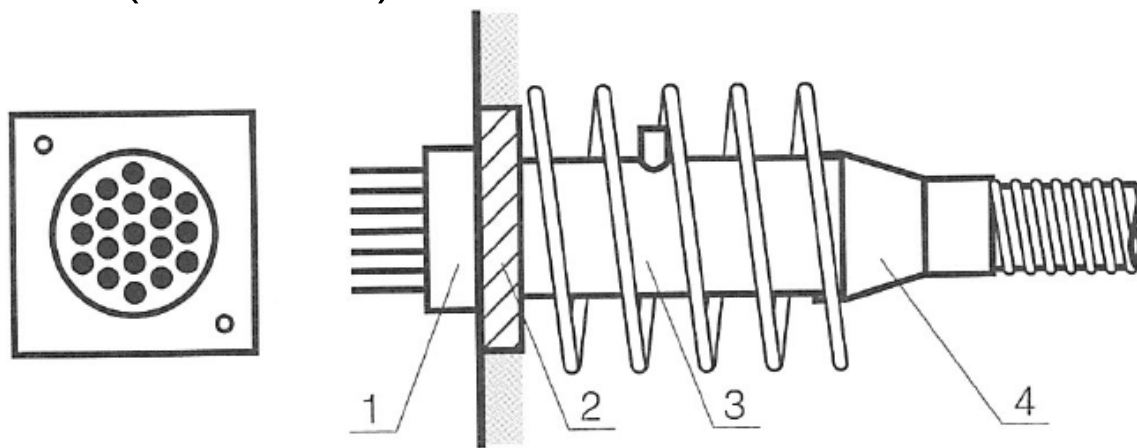
Nastavljanje natega ostvaruje se u pravilu **spojkama** što imaju **sidrene koturove**.

6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užetima

6.4.2 Sustav BBR

a) *Napetljivo sidro*

Sidreni **kotur** (1) s čunjastim provrtima za prolaz **pojedinačnih** užeta sjeda na sidrenu **ploču** (2) na čelu AB sklopa (slika 6.20).



Slika 6.20: BBR-ovo napetljivo sidro za užeta

Sidrena je **ploča** četvorinasta (kvadratna) izmjerā stranice 175 440 mm i debljine 20 70 mm. Brojem 3 označena je **čelična prijelazna**

zna cijev, a brojem 4 plastični prijelazni lijevak (tuljac).

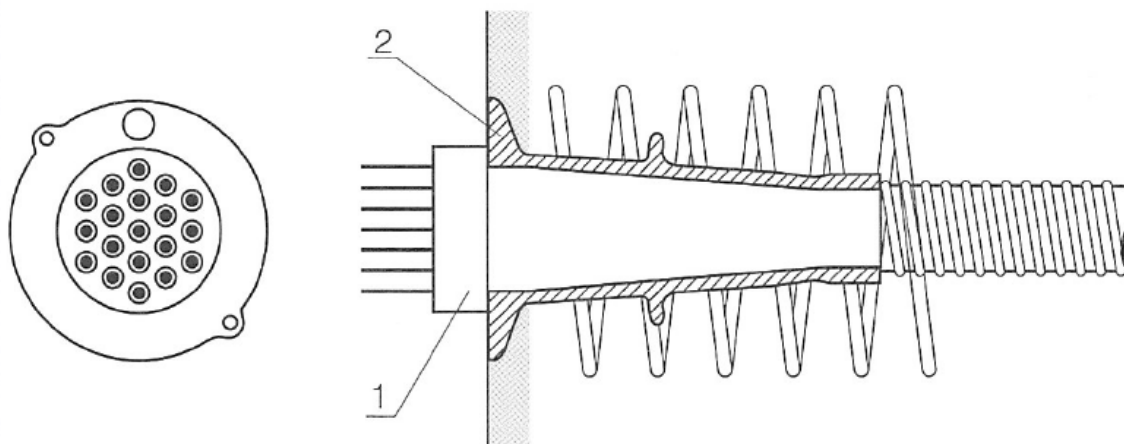
Naravno, u sidrenoj je ploči kružni **otvor** promjera malo manjeg od unutarnjega promjera prijelazne cijevi.

6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užetima

6.4.2 Sustav BBR

a) *Napetljivo sidro*

Inačica je ovoga sidra **višeplošno sidro** u kojega su **sidrena ploča** i **prijelazna cijev** spojeni u jedinstven **tuljac** (2) što ima jedan **obodni prsten** približno na polovištu oplošja (slika 6.21).



Slika 6.21: BBR-ovo višeplošno sidro za užeta

Sidreni je **kotur** (1) i ovdje jednak.

Valja spomenuti da je na objema slikama predôčen slučaj s **19 provrta** za užeta.

Međutim, osnovni je broj **sedam**, a zatim se provrti dodaju po **obodu** težeći za **simetrijom**.

Također valja reći kako je za inačicu sustava s užetima uvriježen naziv **BBR-CONA** uz dodatak **M** i broja inačice.

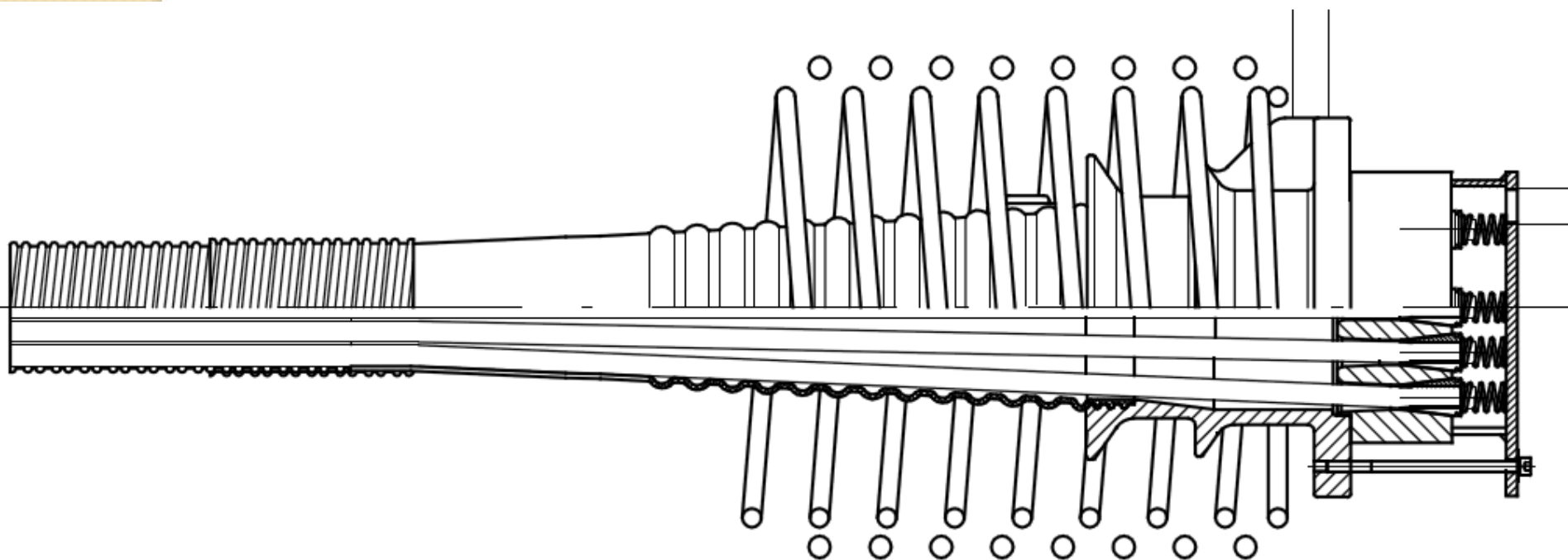
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užetima

6.4.2 Sustav BBR

b) *Nenapetljivo sidro*

Prikazat ćemo samo inačicu sidra u kojega se trodijelni klinovi zaglavljaju otpuštanjem opruga u sidrenoj kutiji nakon uvlačenja užetā.

Nakon napinjanja prostor u kutiji zapunjava se mortom.



Slika 6.22: BBR-ovo ubetonirano nenapetljivo sidro za užeta

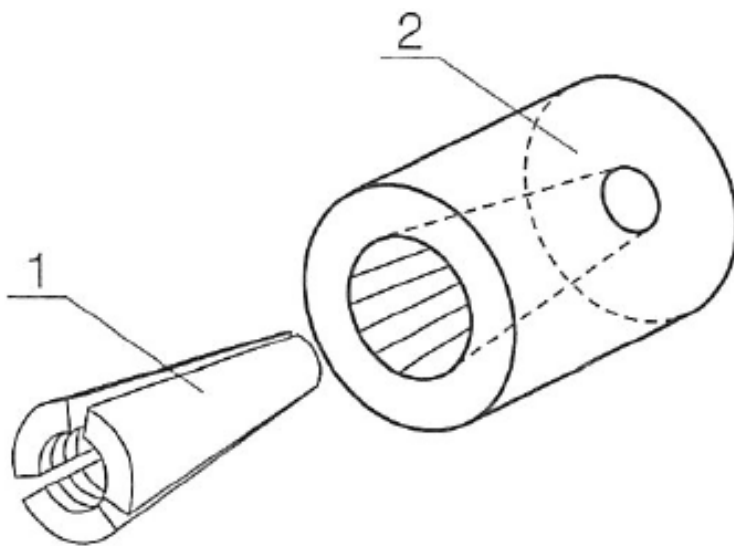
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.3 Sustav Dywidag (DSI)

a) *Napetljivo sidro*

Razlikuju se sidra s **jednoplošnom** i **višeplošnom** sidrenom glavom, te sa **zvonastom** glavom.

U prvim dvama slučajevima na glavu sjeda sidreni **kotur** s **čunjastim provrtima** kroz koje prolaze pojedinačna užèta, dok u trećem slučaju polučunjasti kotur dosjeda u **zvono**.



Slika 6.23: Trodijelni sidreni klin

Međutim, prije prikaza ovih triju inačica pokažimo kako izgleda sâm **trodijelni klin** (slika 6.23).

Na slici je predočena sidrena glava (2) natege što se sastoji od jednog užeta, ali načelo djelovanja klina ostaje jednako.

Uočimo **zube** unutar oplošja klina što **zagrizaju** uže pri sidrenju.

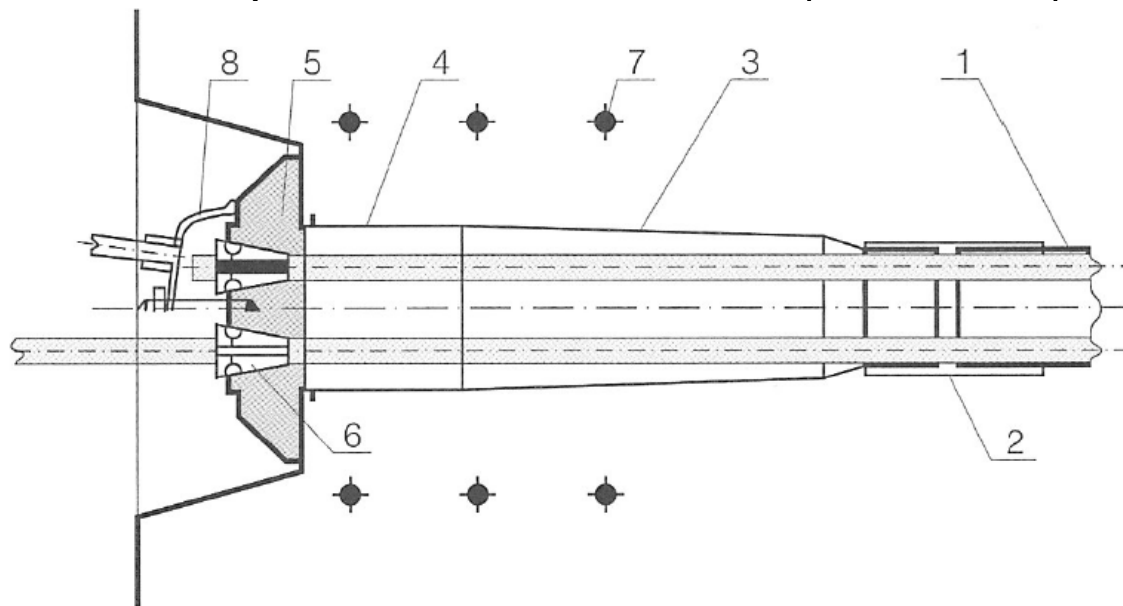
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užetima

6.4.3 Sustav Dywidag (DSI)

a) *Napetljivo sidro*

Jednoplošno se sidro izrađuje u dvjema inačicama.

U slučaju **manjega broja užetā** (tri do devet) sidreni se kotur oslanja **izravno** na beton (slika 6.24).



Slika 6.24: Dywidagovo napetljivo sidro
s koturom za užeta

Evo dijelova sidra:

- 1 – zaštitna cijev,
- 2 – spojna navrtka,
- 3 – polietilen. tuljac,
- 4 – spojna cijev,
- 5 – sidreni kotur,
- 6 – čunjasti provrt,
- 7 – sidr. zavojnica,

8 – priključak za uštrcavanje morta.

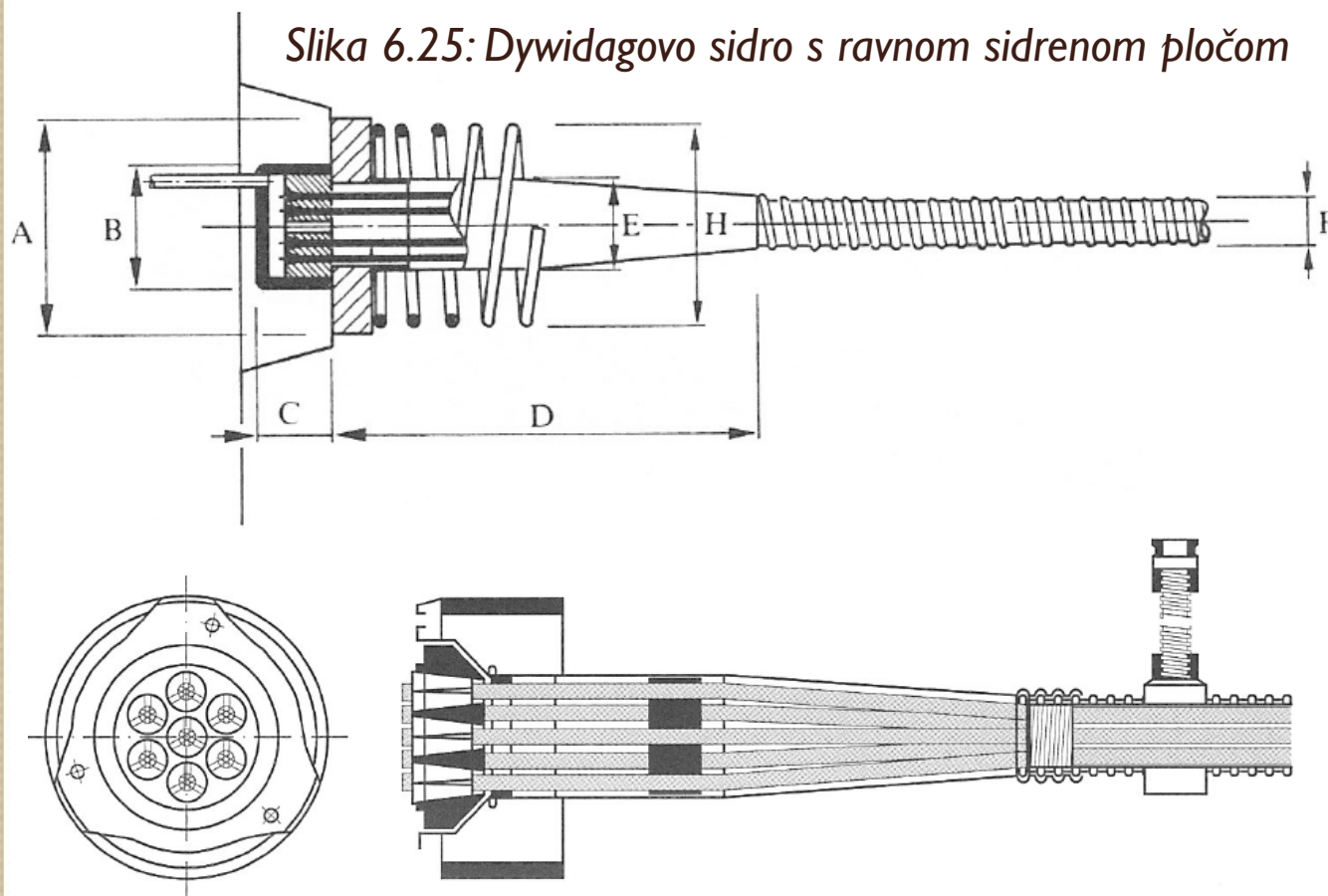
Udubljenje uza sidreni kotur naknadno se zapunjava betonom.

6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užetima

6.4.3 Sustav Dywidag (DSI)

a) **Napetljivo sidro**

Ako je užetā više (do 27), rabi se ravna sidrena ploča po slici 6.25.



Zvonasto se sidro (slika 6.26) također rabi pri manjem broju užetā (obično sedam).

Uočava se izostavljanje zavojnice.

Slika 6.26: Dywidagovo zvonasto sidro za užeta

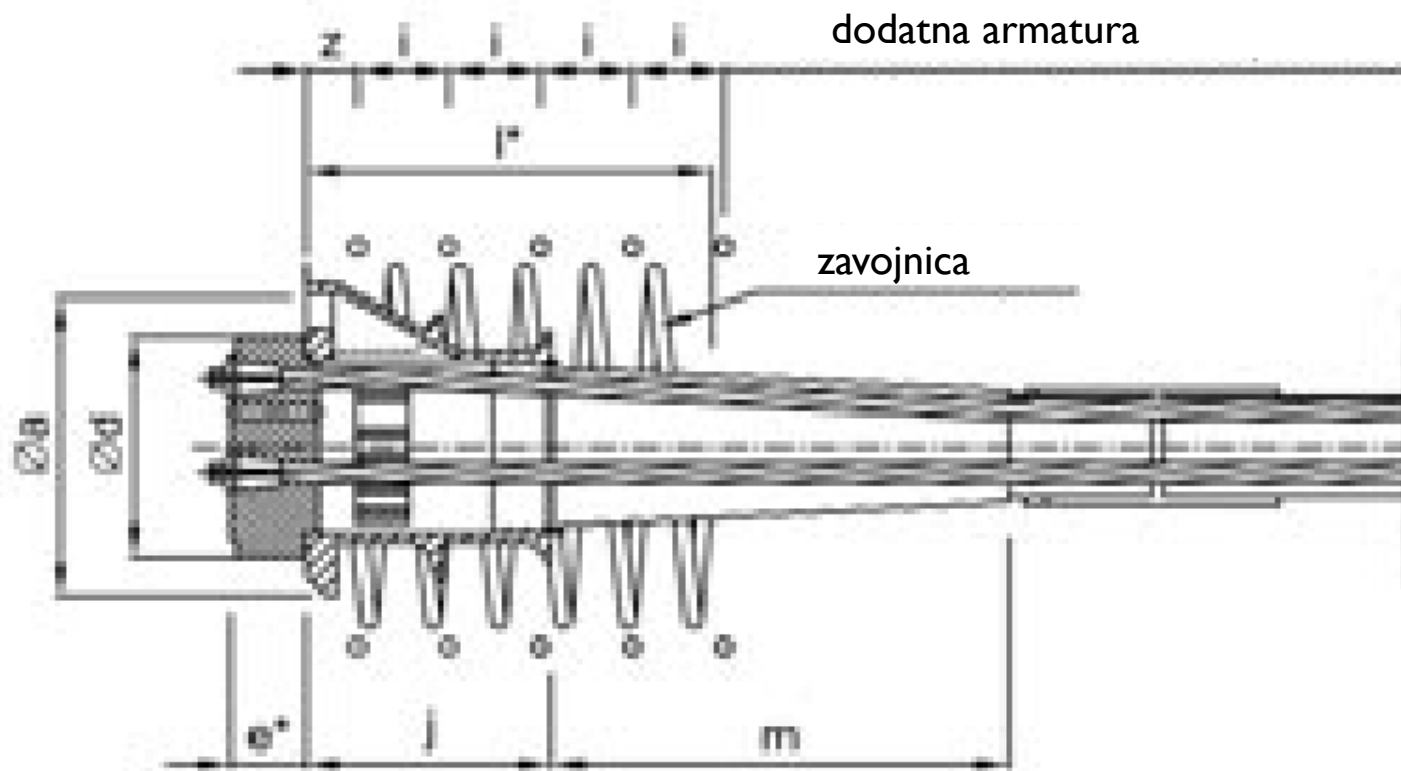
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.3 Sustav Dywidag (DSI)

a) *Napetljivo sidro*

Sastoji se od **kotura**, **tuljca** i **zavojnice** (slika 6.27).

Na gornjoj je polovici inačica višeplošnog sidra, a na donjoj s ravnom sidrenom pločom.



Slika 6.27: Dywidagovo napetljivo sidro s koturom

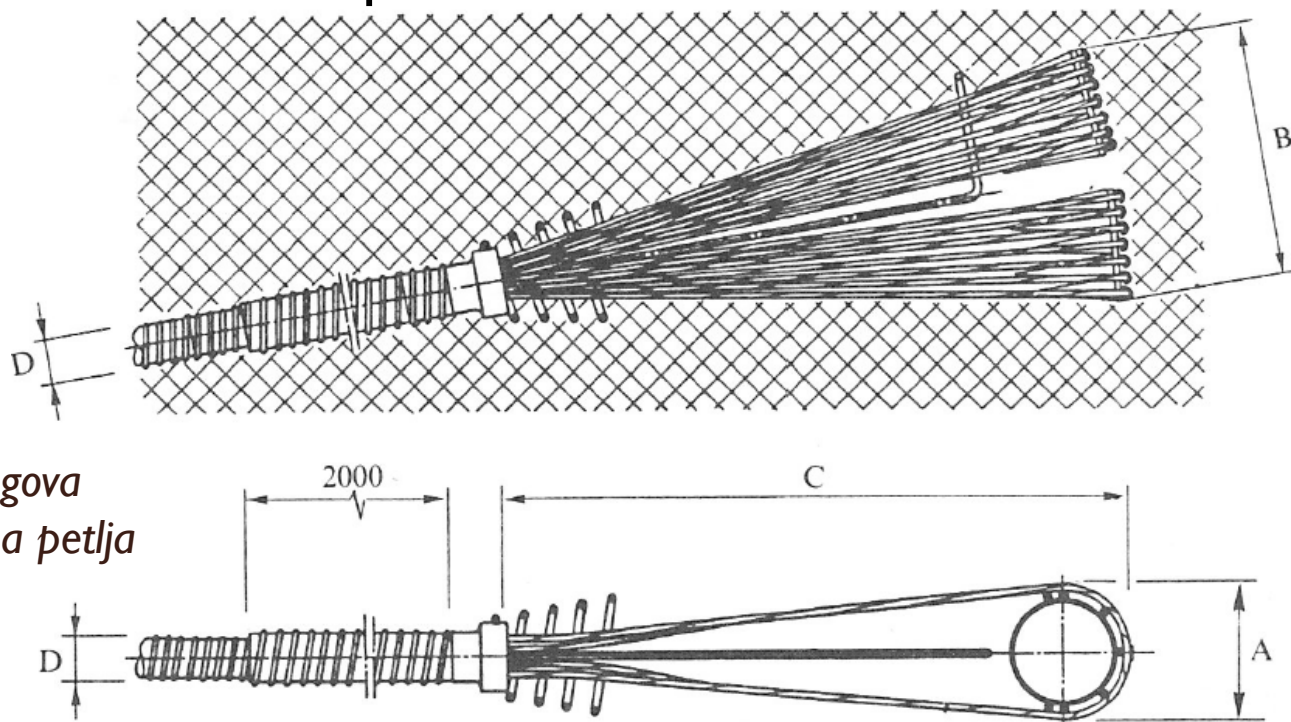
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.3 Sustav Dywidag (DSI)

b) Nenapetljivo sidro

Pokazat ćemo samo jednu vrst nenapetljivog sidra s petljama (slika 6.28).

Za razliku od IMS-ova sidra za žice, predložena na slici 6.19, ovdje se mjesto podložnog lima u obliku polucijevi umeće **zavojnica** s okomitim šipkama.

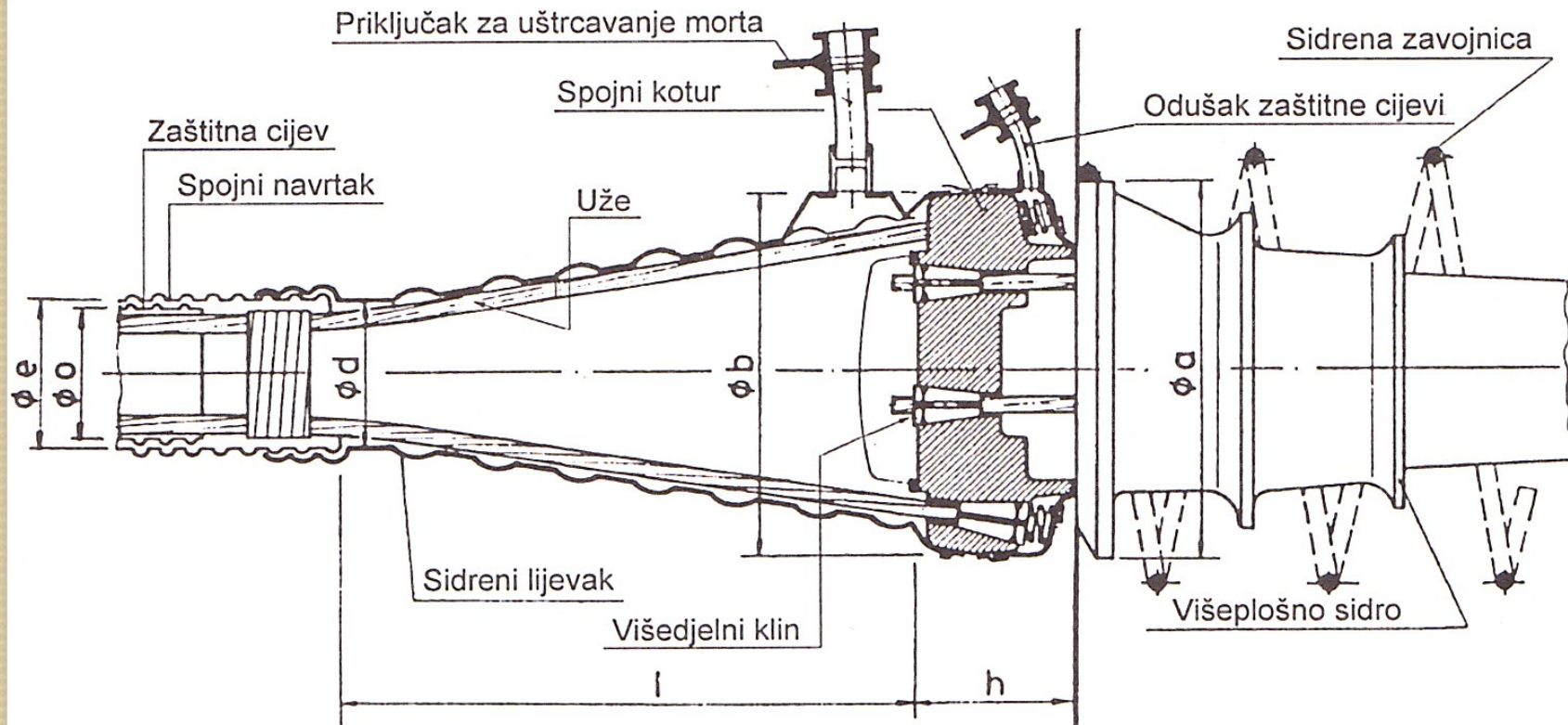


*Slika 6.28: Dywidagova
ubetonirana sidrena petlja*

6.4.3 Sustav Dywidag (DSI)

c) ***Spojka***

Također ćemo prikazati samo jednu vrst spojke (slika 6.29) na kojoj je sve vidljivo.



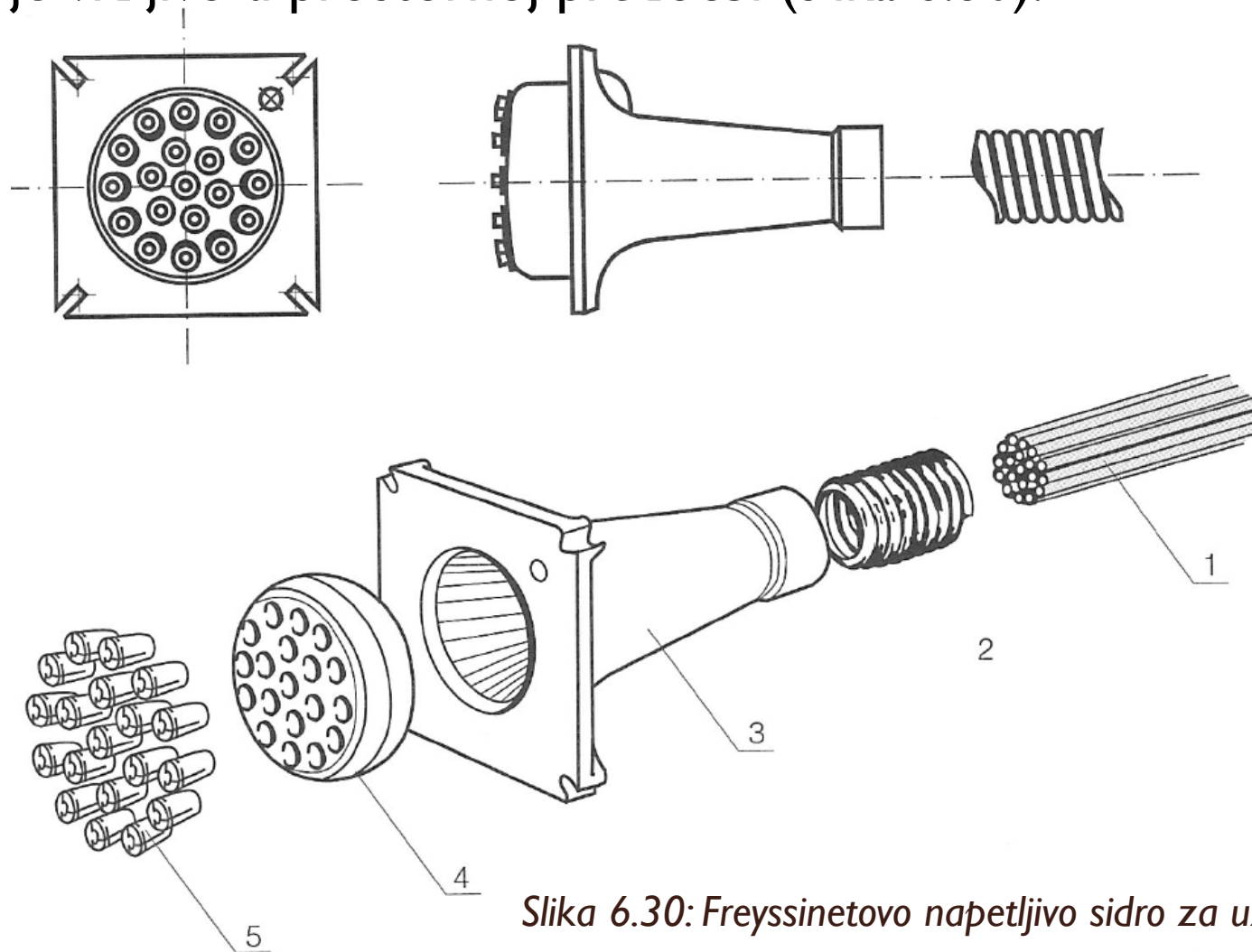
Slika 6.29: Dywidagova nepomična spojka za užeta

6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.4 Sustav Freyssinet

a) *Napetljivo sidro*

Sve je vidljivo u prostornoj predočbi (slika 6.30).



Slika 6.30: Freyssinetovo napetljivo sidro za užeta

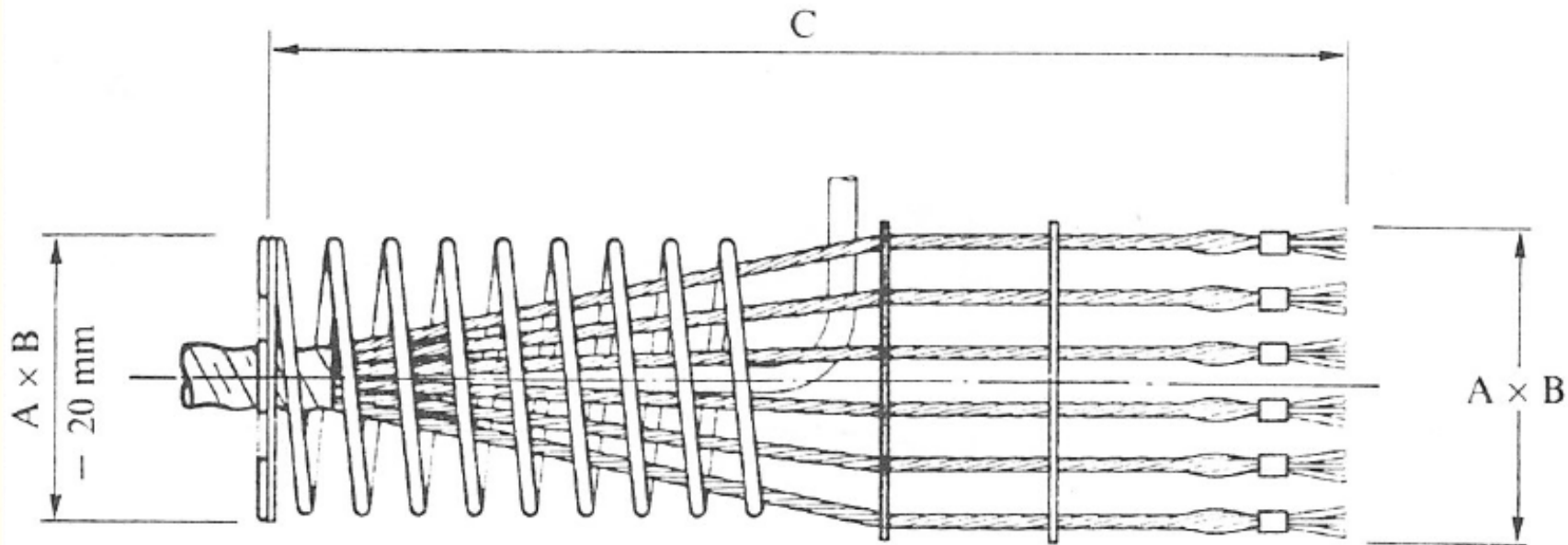
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.4 Sustav Freyssinet

b) Nenapetljivo sidro

Užeta se prvo rasporede zrakasto na izlazu iz zaštitne cijevi, a zatim se drže u usporednu položaju s pomoću dvaju roštilja od zavarenih betonskih šipaka (slika 6.3 I).

Pri kraju se vretenasto raspletu, pa se pojedinačna užeta obuhvate prstenovima i raspletu zrakasto.

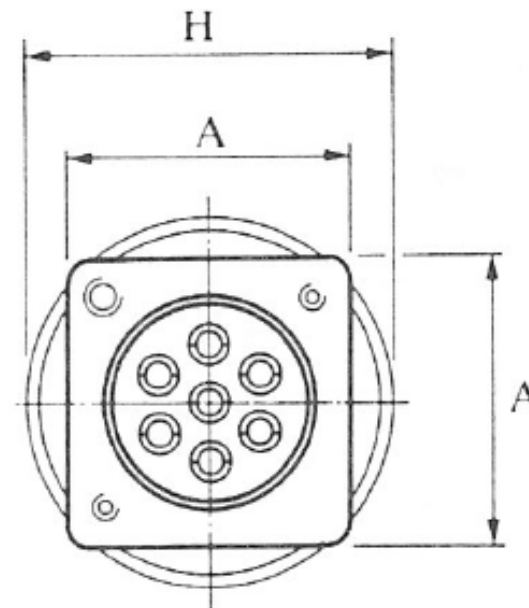
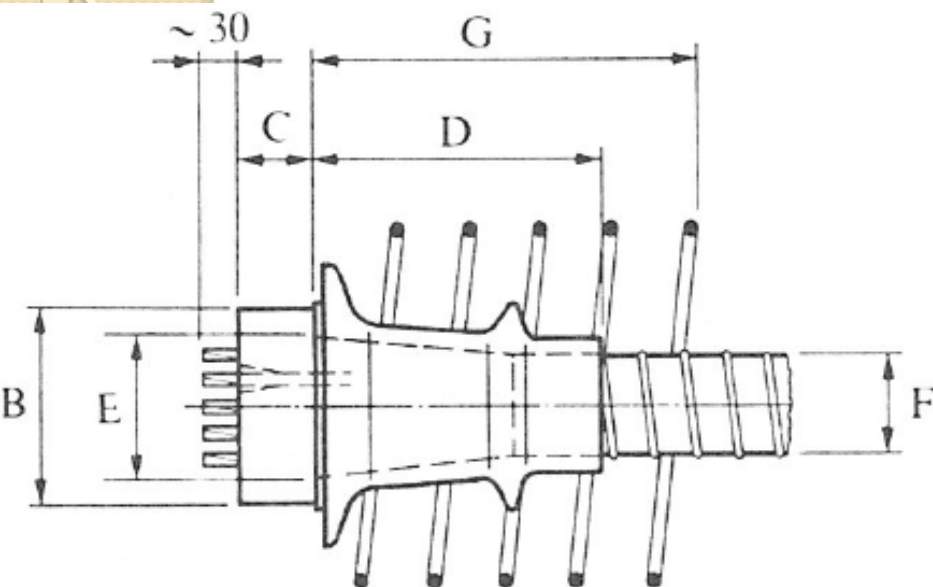


Slika 6.3 I: Freyssinetovo ubetonirano sidro za užeta

6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.5 Sustav VSL

a) *Napetljivo sidro*



Ima višeplošnu sidrenu glavu i uvriježeni sidreni kotur (slika 6.32).

Međutim, na slici je prikazano šest

Slika 6.32: VSL-ovo napetljivo sidro za užeta

užetā, a može ih biti i do 55 – vidi prospekt proizvođača.

Općenito, za sve prikazane sustave (i sva sidra i spojke unutar njih) vrijedi ista opaska.

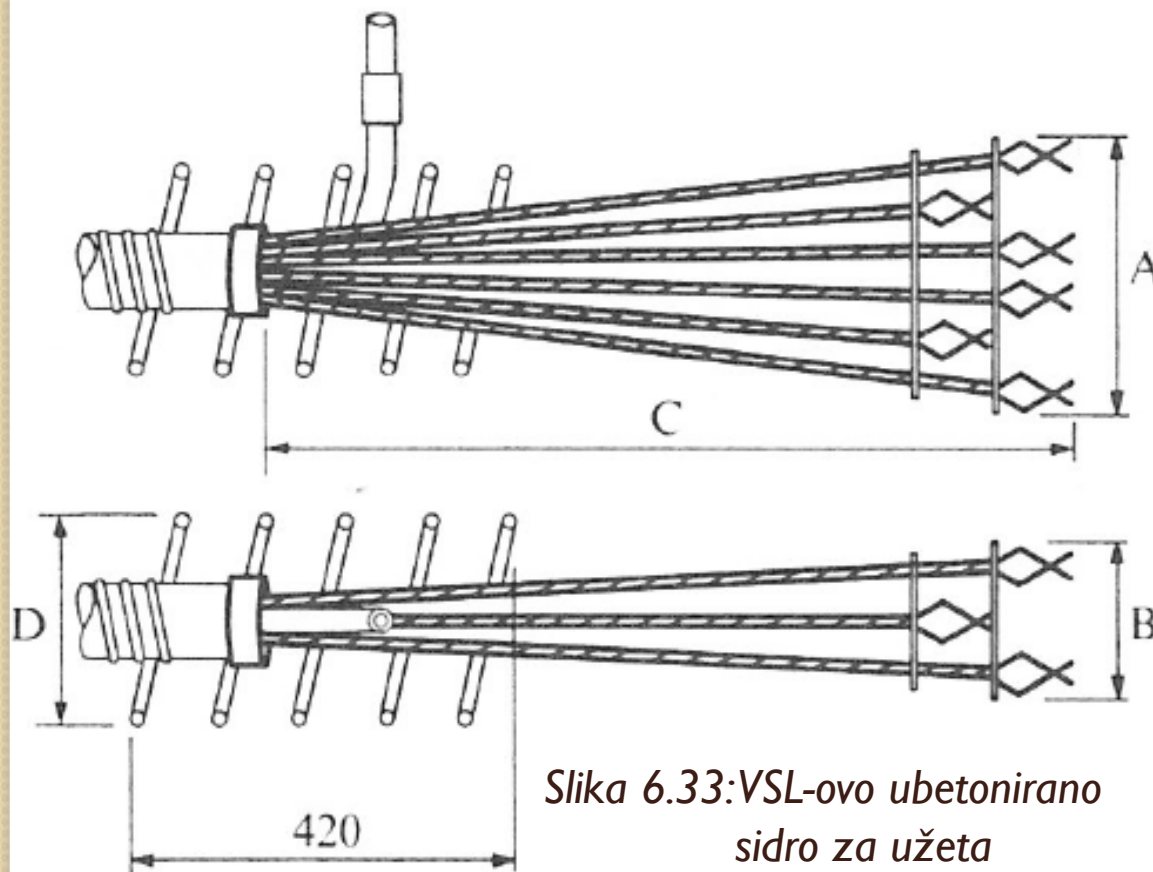
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užetima

6.4.5 Sustav VSL

b) *Nenapetljivo sidro*

Nenapetljivo je sidro **raspleteno** (lukovičasto, slika 6.33).

Osobitom napravom vanjske se žice stisnu duž jezgrene žice tako da tvore **lukovicu**.



Slika 6.33: VSL-ovo ubetonirano sidro za užeta

Pojedina užeta iz svežnja treba uzdužno **zamaknuti** tako da najviše po dvije lukovice budu u istom poprečnomu presjeku.

Pri izlazu iz zaštitne cijevi užeta su obujmljena zavojnicom.

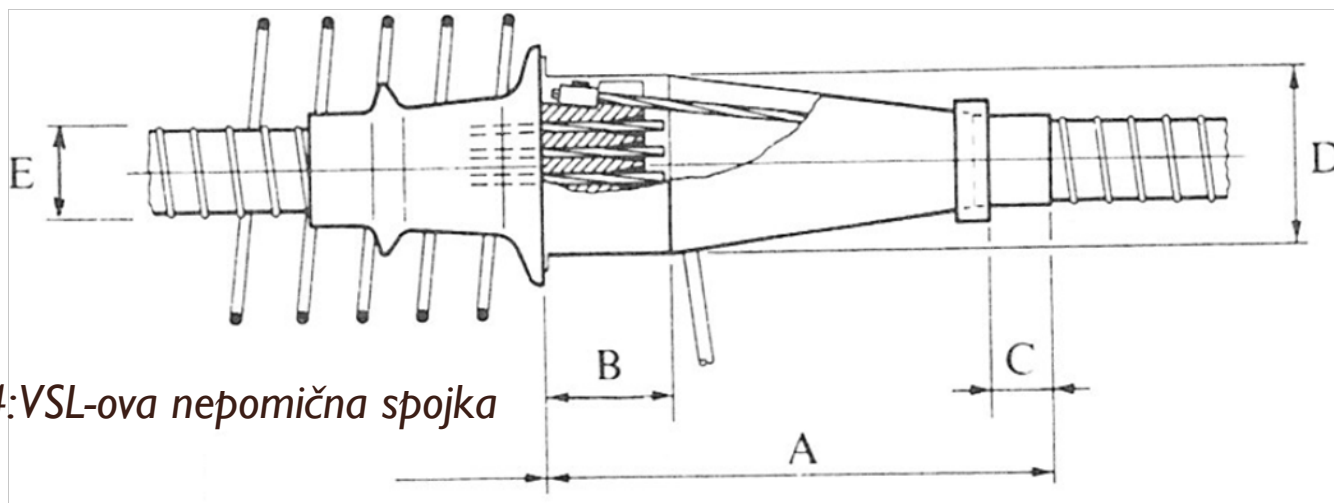
6.4 Prikaz sustavā prednapinjanja s užètima

6.4.5 Sustav VSL

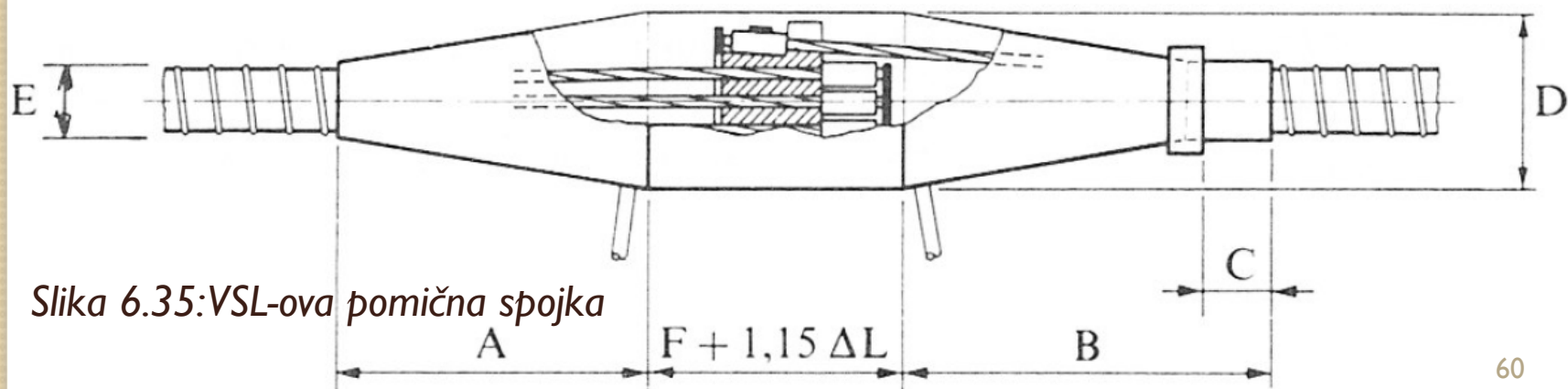
c) *Spojka*

Postoji nepomična (slika 6.34) i pomična spojka (slika 6.35).

Na slikama je sve vidljivo.



Slika 6.34: VSL-ova nepomična spojka



Slika 6.35: VSL-ova pomična spojka