

# Kolničke konstrukcije aerodroma

Izv.prof. dr.sc. Irena Ištoka Otković

SVEUČILIŠTE  
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER  
UNIVERSITY OF OSIJEK

# SADRŽAJ



1. Opterećenje kolnika aerodroma
2. ACN – PCN klasifikacija
3. ACN – PCN metoda za određivanje refrentne debljine kolničke konstrukcije
4. Klasificiranje mjerodavnog tipa zrakoplova i kolnika po LCN metodi za kruti i savitljivi kolnik
5. Određivanje proračunskog broja operacija godišnje, svedeno na mjerodavni tip zrakoplova



# OPTEREĆENJE KOLNIKA AERODROMA

## OPTEREĆENJE KOLNIKA

Opterećenje kolničkih konstrukcija manevarskih površina aerodroma nastaje od težine zrakoplova koje se preko podvozja i gumenih kotača prenosi na dodirnu površinu.

Dodirna površina je površina nalijeganja kotača na površinu kolnika.

Uslijed težine zrakoplova ( $G$ ) kod određenog tlaka punjenja guma kotača ( $p_i$ ) i tlaka koji kotač prenosi na podlogu  $p$ , površina nalijeganja ( $A$ ) je

$$A = G/p \quad (\text{m}^2)$$

## OPTEREĆENJE KOLNIKA

Tlak gumenih kotača zove se unutarnji tlak, tlak punjenja ili inflacijski tlak. Inflacijski tlak kod kotača zrakoplova koji služe za civilni promet kreće se do 1,5 N/mm<sup>2</sup>.

Gumeni kotač preko dodirne površine prenosi tlak na podlogu.

Uzimajući u obzir vlastiti otpor kotača (krutost gume) tlak na dodirnoj površini je veći od tlaka punjenja.

Za proračun se uzima da je tlak koji prenosi točak na podlogu za 10% veći od tlaka punjenja (inflacijskog tlaka).

$$A = G / (1,1 * p_i) \quad (\text{m}^2)$$

## OPTEREĆENJE KOLNIKA

Aproksimacija:

tlak se ne raspoređuje ravnomjerno po cijeloj dodirnoj plohi, već raste od početne vrijednosti  $p=0$  na rubu dodira do  $p=\max$  na sredini dodirne plohe, ali se zbog jednostavnosti proračuna uzima da je tlak po cijeloj dodirnoj površini jednakomjerno raspoređen.

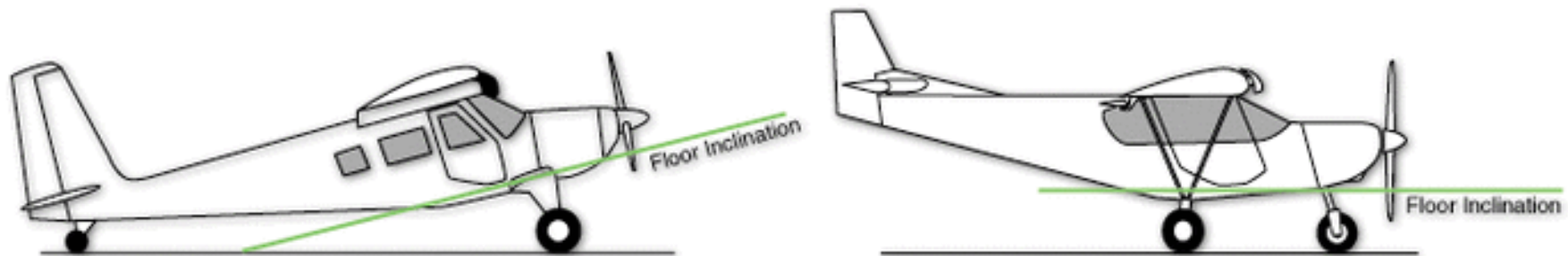
## OPTEREĆENJE KOLNIKA

Ukupna težina zrakoplova sa teretom se na površinu kolnika prenosi preko podvozja.

Podvozje je dio konstrukcije zrakoplova koji nosi trup, a oslanja se na tlo preko kotača.

Dva su osnovna sustava podvozja

- sa glavnim i nosnim podvozjem
- sa glavnim i repnim podvozjem.



## OPTEREĆENJE KOLNIKA

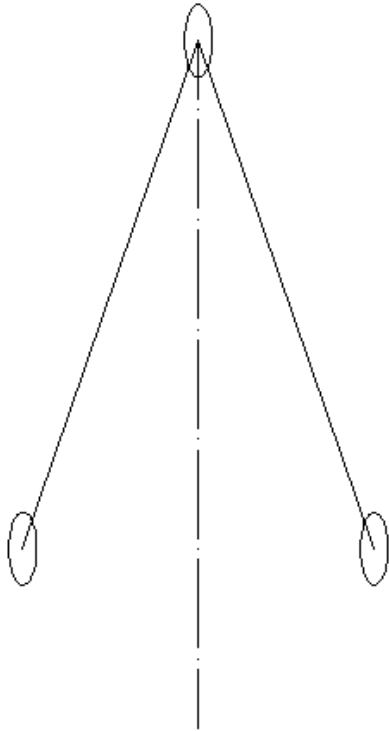
Sustav sa nosnim podvozjem najčešće je sa slijedećim rasporedom:

- jednostruki tricikl,
- dvostruki tricikl,
- bicikl-tricikl.

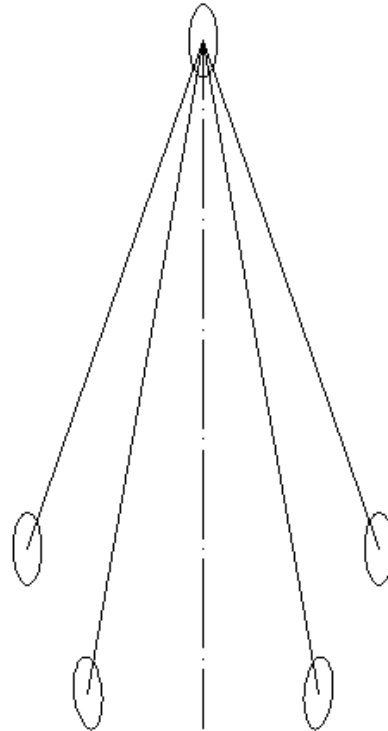


# OPTEREĆENJE KOLNIKA

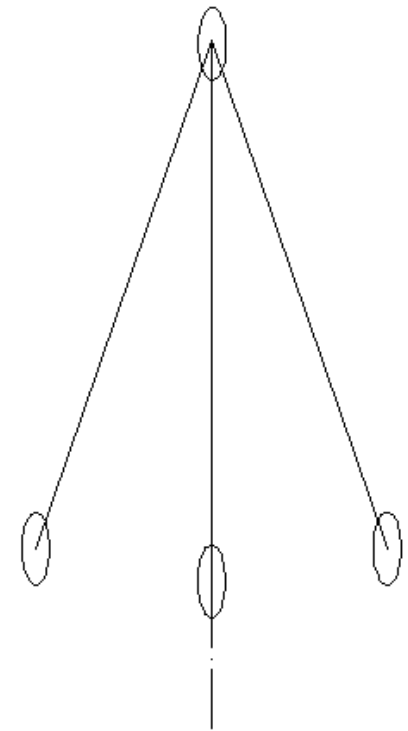
## Sustavi sa nosnim podvozjem



JEDNOSTRUKI TRICIKL

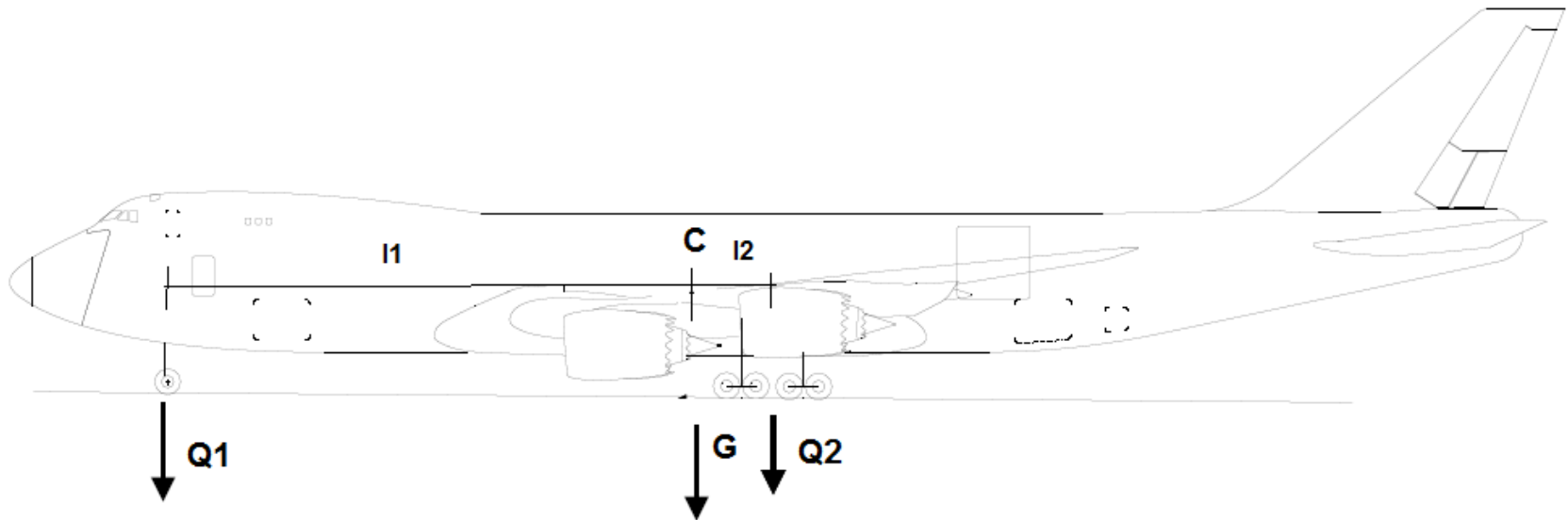


DVOSTRUKI TRICIKL



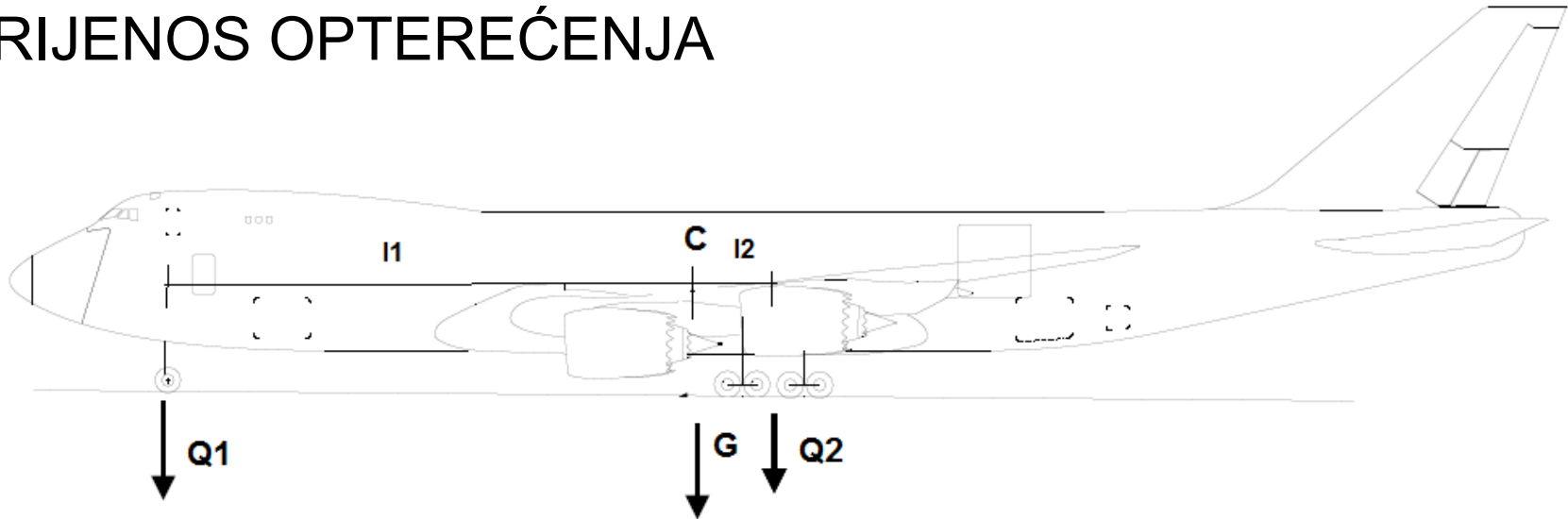
BICIKL - TRICIKL

# PRIJENOS OPTEREĆENJA



Klasičan raspored prijenosa opterećenja zrakoplova preko podvozja

## PRIJENOS OPTEREĆENJA



$G$  – brutto težina zrakoplova

$Q_1$  – opterećenje na podlogu preneseno preko nosnog podvozja

$Q_2$  – opterećenje na podlogu preneseno preko glavnog podvozja

$l_1, l_2$  – udaljenost težišta nosnog odnosno glavnog podvozja od težišta zrakoplova

$$G = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 \cdot l_1 = Q_2 \cdot l_2$$

## RASPORED KOTAČA

Broj kotača jednog podvozja može biti različit.

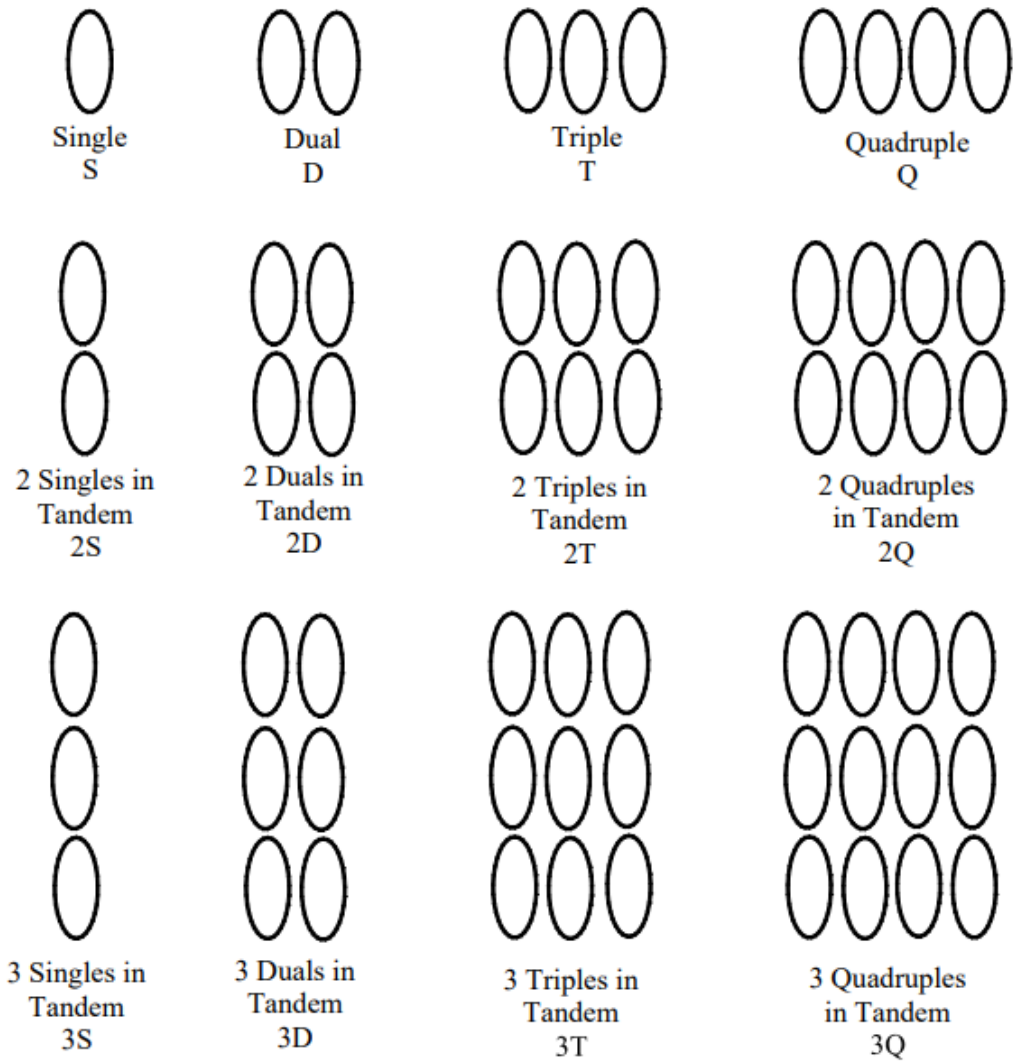
Nosno podvozje:

- jednostruki kotač,
- dvostruki kotač.

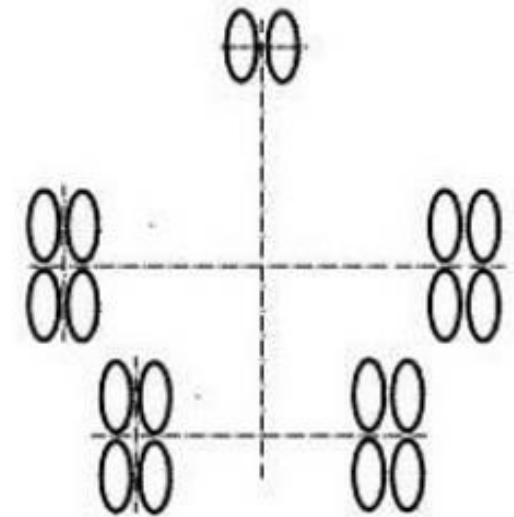
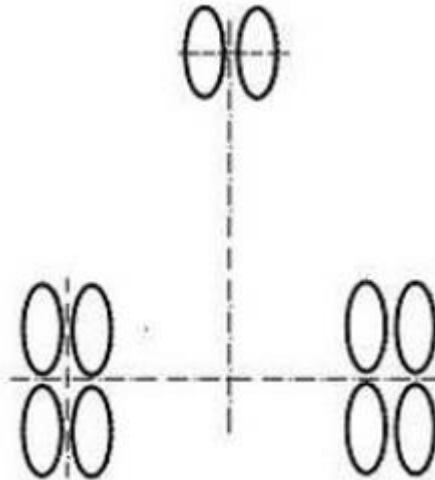
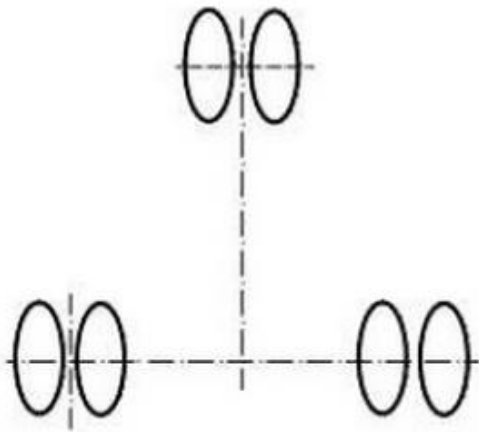
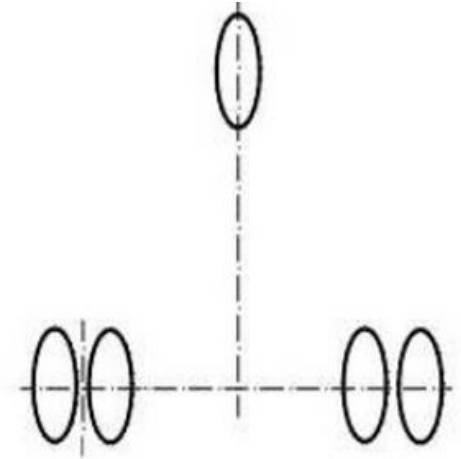
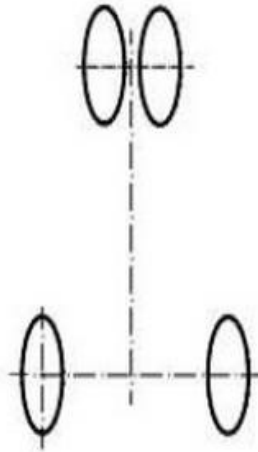
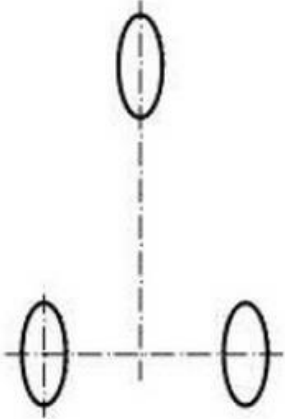
Glavno podvozje se sastoji od određenog broja:

- jednostrukih kotača,
- dvostrukih kotača,
- dvostrukih tandem sustava,
- trostrukih tandem sustava.

# VRSTE KOTAČA

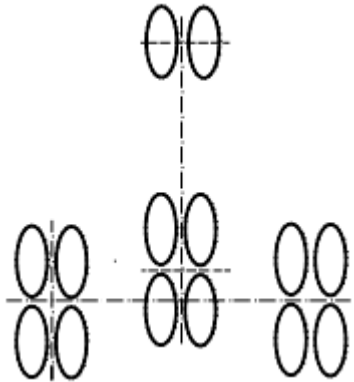


# RASPORED KOTAČA

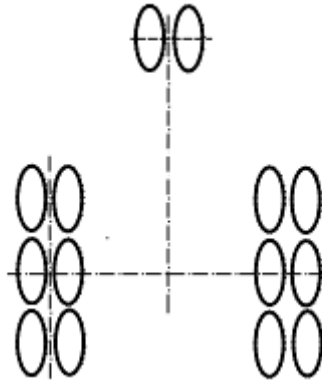


Boeing B-747

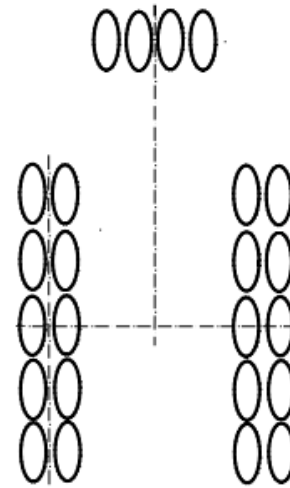
# RASPORED KOTAČA



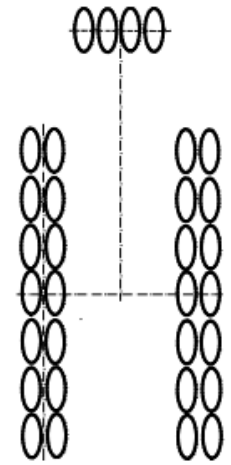
Airbus A340-600



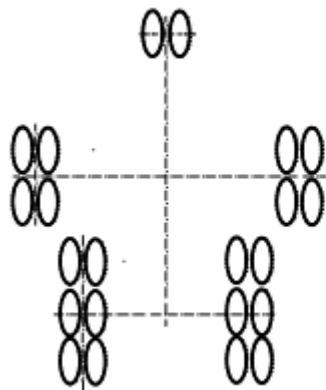
Boeing B-777



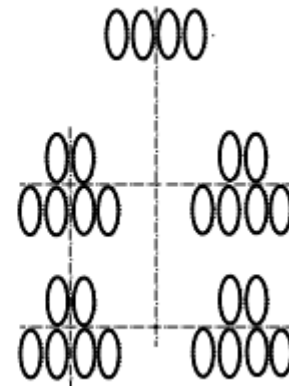
Antonov AN-124



Antonov AN-225



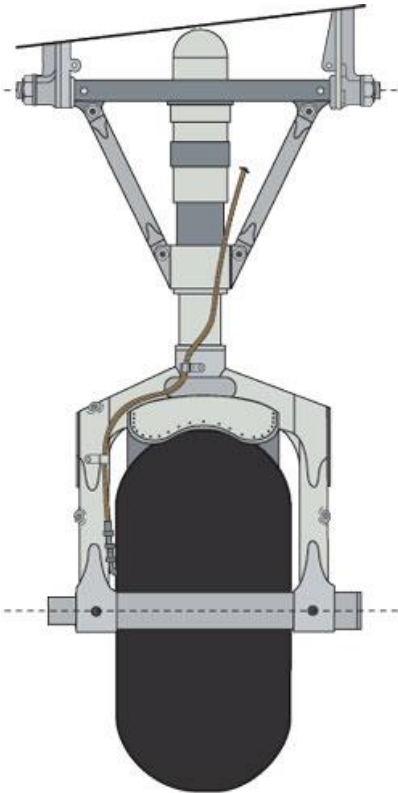
Airbus A380



Lockheed C5 Galaxy

# RASPORED KOTAČA

## JEDNOSTRUKI KOTAČ





# RASPORED KOTAČA

## DVOSTRUKI KOTAČ



# RASPORED KOTAČA

## DVOSTRUKI TANDEM SUSTAV



# RASPORED KOTAČA

## TROSTRUKI TANDEM SUSTAV



# ACN – PCN KLASIFIKACIJA

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

Od 1983. godine, kada je ICAO prihvatila Amandman 35 Aneksa 14, primjenjuje se ACN-PCN klasifikacija zrakoplova i kolnika. Detaljno je opisana u *Aerodrome Design Manual, Part 3*.

Metodom ACN-PCN se određuje granično opterećenje aerodromskih manipulativnih površina putem usporedbe vrijednosti ACN i PCN.



## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**ACN** (Aircraft Classification Number) je broj koji izražava relativni utjecaj nekog zrakoplova na kolničku konstrukciju, uzevši u obzir deformabilnost posteljice.

Numerički je ACN definiran kao dvostruko opterećenje ekvivalentnog pojedinačnog kotača s inflacijskim tlakom od 1,25 MPa, izraženo u tisućama kilograma:

$$ACN = \frac{2Q_{eq} [kg]}{1000}, \quad \text{za } p_i = 1,25 \text{ MPa}$$

koji zahtjeva istu debljinu kolničke konstrukcije kao glavno podvozje tog zrakoplova za određeno opterećenje kolnika ili određeni broj ponavljanja opterećenja (10.000).

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**ACN** (Aircraft Classification Number) se posebno izražava za

- krutu kolničku konstrukciju
- fleksibilnu (savitljivu) kolničku konstrukciju.

ICAO je objavio **ACN** broj za većinu komercijalnih zrakoplova, a za one za koje nije mogu se dobiti od proizvođača zrakoplova.

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**ACN** (Aircraft Classification Number) uzima u obzir deformabilnost posteljice:

### KRUTI KOLNICI

za maksimalni napon savijanja betonske ploče od  $2,75 \text{ N/mm}^2$  za modul reakcije posteljice kako slijedi:

Kategorija nosivosti posteljice	Referentna vrijednost za $k$ – modul reakcije tla [ $\text{MN/m}^3$ ]	Raspon za $k$ – modul reakcije tla [ $\text{MN/m}^3$ ]	Kodna oznaka
Dobra	150	$\geq 120$	A
Srednja	80	$60 < k < 120$	B
Loša	40	$25 < k < 60$	C
Vrlo loša	20	$\leq 25$	D

Proračun je temeljen na matematičkom modelu Westergaard –a.



## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**Modula reakcije tla (k) [ kN/m<sup>3</sup> ]** je odnos kontaknog napona i slijeganja u nekoj točki kontaktne površine koje je posljedica toga naprezanja. Modulom reakcije tla uzimamo u obzir deformabilost tla, jer deformacija tla utječe na raspodjelu naprezanja u tlu a time i na raspodjelu sila u konstrukciji.

On je ovisan ne samo o vrsti tla i razini opterećenja nego je ovisan i o obliku i veličini kontaktne plohe. Modul reakcije tla se može odrediti ispitivanjem pločom gdje se mjeri slijeganje ploče za određene inkremente opterećenja.

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**ACN** (Aircraft Classification Number) uzima u obzir deformabilnost posteljice:

### SAVITLJIVI KOLNICI

Za 10.000 ponavljanja opterećenja za određeni CBR (California Bearing Ratio) posteljice kako slijedi:

Kategorija nosivosti posteljice	Referentna vrijednost za CBR [%]	Raspon za CBR [%]	Kodna oznaka
Dobra	15	$\geq 13$	A
Srednja	10	$8 < \text{CBR} < 13$	B
Loša	6	$4 < \text{CBR} < 8$	C
Vrlo loša	3	$\leq 4$	D

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

Definicija ekvivalentnog kotača:

Ekvivaletno opterećenje – ekvivalenti kotač - je svođenje utjecaja dva ili više kotača relativno povezanih na opterećenje jednog kotača koji bi u gornjim i donjim slojevima kolnika, kao i na posteljici, izazvao iste kritične efekte, odnosno jednaku defleksiju konstrukcije kolnika kao i grupa od više kotača koju zamjenjuje.

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

Za svaki zadani zrakoplov, kategoriju posteljice i vrstu kolnika, očitava se iz tablice pripadajući ACN broj.

**Mjerodavni zrakoplov** je onaj zrakoplov koji ima najveći ACN. Mjerodavni zrakoplov se određuje posebno za kruti, a posebno za savitljivi kolnik.

Vrijednosti ACN za zrakoplove očitavaju se iz tablice.

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

### **PCN** (Pavement Classification Number)

je broj koji označava nosivi kapacitet kolničke konstrukcije i njezine posteljice. Numerička definicija je jednaka onoj za ACN.

Zrakoplov s ACN manjim ili jednakim od PCN aerodroma može obavljati sve operacije bez ograničenja težine ili broja operacija.

Ako je ACN zrakoplova (pod punim opterećenjem) veći od PCN kolnika, treba ograničiti:

- opterećenje zrakoplova
- broj operacija
- tlak u gumama.

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**PCN** (Pavement Classification Number)

Za dimenzioniranje kolničke konstrukcije

Za mjerodavni zrakoplov:

$$\mathbf{PCN = ACN^{\max}}$$

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA



## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

Tlak u gumama je sekundarno opterećenje na kolničku konstrukciju i u određenim slučajevima može biti ograničen.

### Kategorije ograničenja inflacijskog tlaka

Kategorija	Raspon inflacijskog tlaka	Kodna oznaka
Visok	nema ograničenja	W
Srednji	$\leq 1,50$ MPa	X
Nizak	$\leq 1,0$ MPa	Y
Vrlo nizak	$\leq 0,50$ MPa	Z



## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

Metoda određivanja PCN aerodroma može biti:

- a) tehnička, koja se temelji na proračunima s dokazom naprezanja, kodna oznaka **T** ili
- b) posredno izvedena, dobivena iz podataka za zrakoplove koji koriste promatrani aerodrom, kodna oznaka **U**.

U okviru kolegija Aerodromi, PCN aerodroma se određuje posredno.

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

**PCN** (Pavement Classification Number) **kod**

sastoji se od 5 oznaka

1. oznaka je PCN
2. oznaka je tip kolničke konstrukcije **R**(rigid) – kruta ili **F** (flexible) - savitljiva
3. oznaka je kategorija posteljice (**A,B,C,D**)
4. oznaka maksimalnog dopuštenog tlaka u gumama (**W,X,Y,Z**)
5. oznaka je metoda određivanja PCN (**T, U**)

**Primjer PCN koda:**

**49/R/A/W/U**

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

*Primjer:*

Za krutu kolničku konstrukciju modul reakcije posteljice  $k = 30 \text{ MN/m}^3$ , a mjerodavni zrakoplov je Boeing 747-400. Koliki je ACN zrakoplova i kako glasi PCN kod?

Aircraft	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]			
	High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low
	A	B	C	D	A	B	C	D
	15	10	6	3	150	80	40	20
B747-400, 400F, 400M	59 23	66 24	82 27	105 35	54 20	65 23	77 27	88 31

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

*Primjer:*

Interpolacija

$$\mathbf{ACN} = 77 + (88 - 77) * (30 - 20) / (40 - 20) = 82,5$$

PCN broj je 83

Kruta kolnička konstrukcija – R

Modul reakcije posteljice je 30 - kodna oznaka C

Nema obraničenja u inflacijskom tlaku - W

Posredna je metoda određivanja PCN - U

**PCN kod je 83/R/C/W/U**

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

*Primjer 2:*

Zadano je prometno opterećenje aerodroma:

<b>tip zrakoplova (tip gl. podvozja)</b>	<b>broj operacija godišnje</b>
Airbus A300 B4 (dual tandem)	300
Boeing 707-320 C (dual tandem)	400
Boeing 747-100 (dual tandem)	300
DC-10-10 (dual tandem)	550
DC-10-30 (dual tandem)	300

podaci o tlu (posteljici)

kategorija: A (dobra nosivost)

$k = 150 \text{ MN/m}^3$

CBR = 15%

# ACN-PCN KLASIFIKACIJA

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_T}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
<b>A300B4-200</b>	1627 1236	46.5	1.28	50	57	69	86	46	56	66	75	89 140
				35	38	46	60	32	38	45	51	
<b>B707-320, 320B, 320C, 420</b>	1484 800	46.7	1.24	45	51	62	78	42	50	59	67	88 142
				20	22	25	33	19	21	25	29	
B747-100, 100B, 100SF	3350 1700	23.4	1.55	49	54	65	86	46	54	64	73	112 147
				21	22	25	32	20	22	25	29	
DC-10-10, 10CF, 15	2037 1035	46.85	1.34	57	62	74	101	49	58	69	81	137 162
				25	26	29	37	23	24	28	32	
<b>DC-10-30, 30 ER, 40</b>	2593 1220	37.9	1.22	59	65	79	107	50	59	72	84	137 162
				24	25	27	35	21	23	26	30	

## ACN-PCN KLASIFIKACIJA

određivanje ACN-a za zadane zrakoplove

	ACN	
	kruti kolnik	savitljivi k.
Airbus A300 B4	46	50
Boeing 707-320 C	42	45
Boeing 747-100	46	49
DC-10-10	49	57
<b>DC-10-30</b>	<b>50</b>	<b>59</b>

Mjerodavni zrakoplov za kruti i savitljivi kolnik je DC-10-30.

# ACN – PCN METODA ZA ODREĐIVANJE REFRENTNE DEBLJINE KOLNIČKE KONSTRUKCIJE

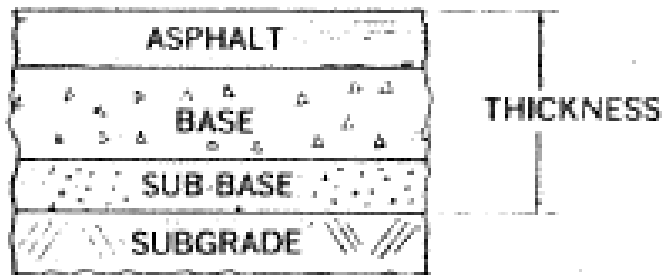


## ACN-PCN METODA

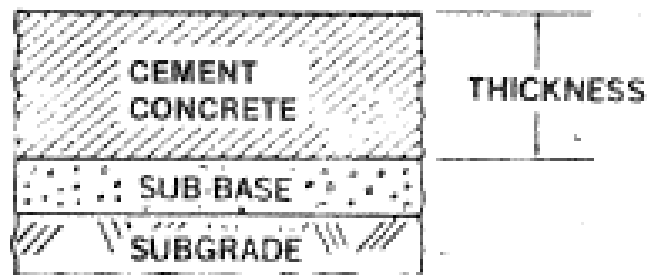
Referentna debljina kolničke konstrukcije je:

- kod savitljivih kolnika, ukupna debljina svih slojeva kolničke konstrukcije,
- kod krutih kolnika debljina betonske ploče.

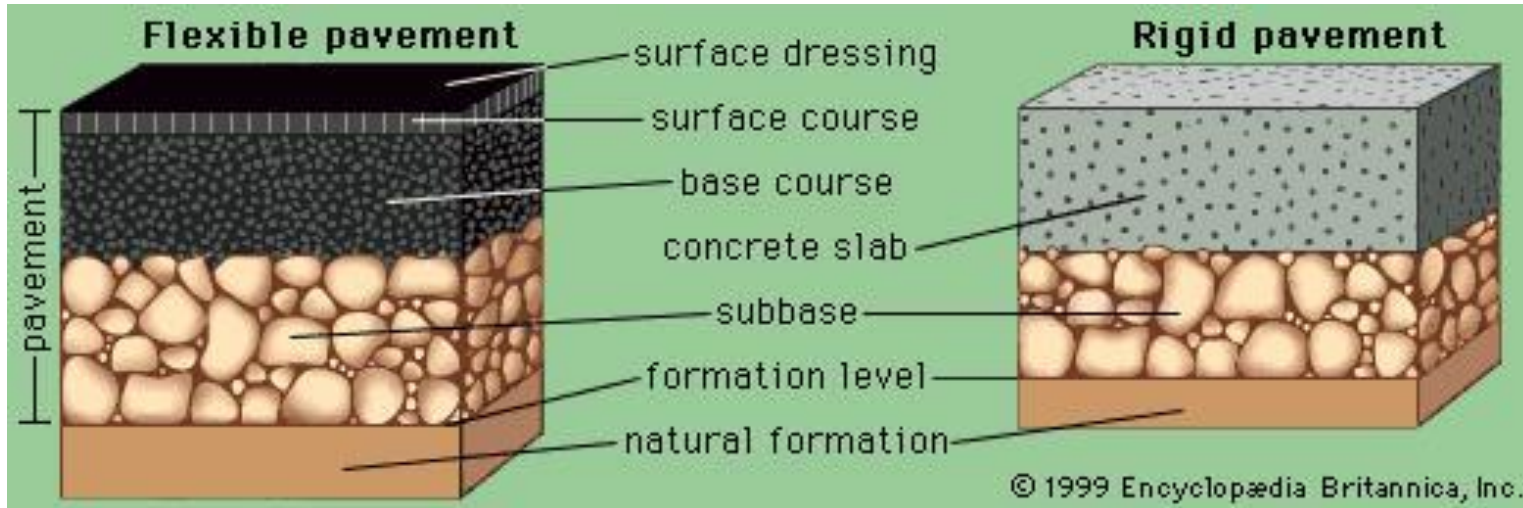
THEORETICAL ASPHALT PAVEMENT



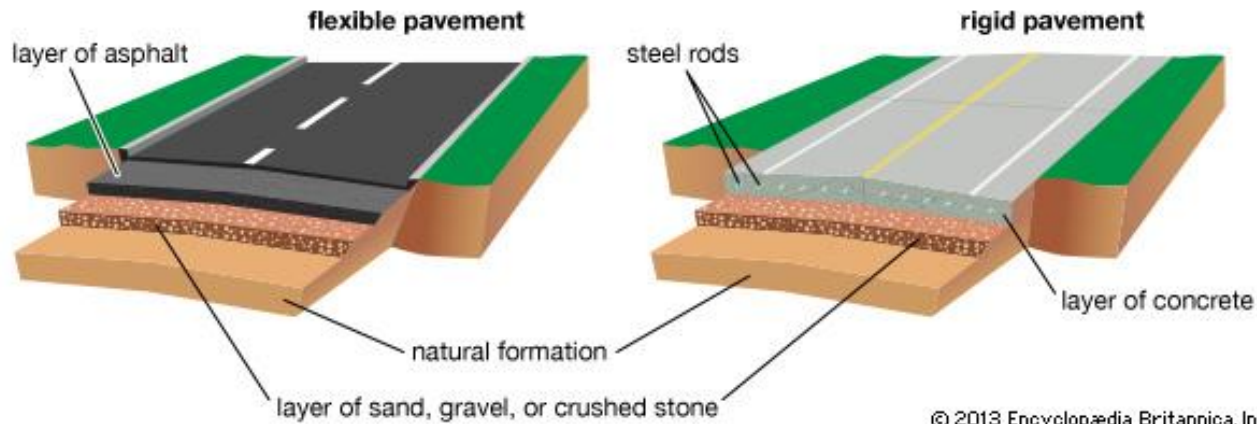
THEORETICAL CEMENT CONCRETE PAVEMENT



# ACN-PCN METODA

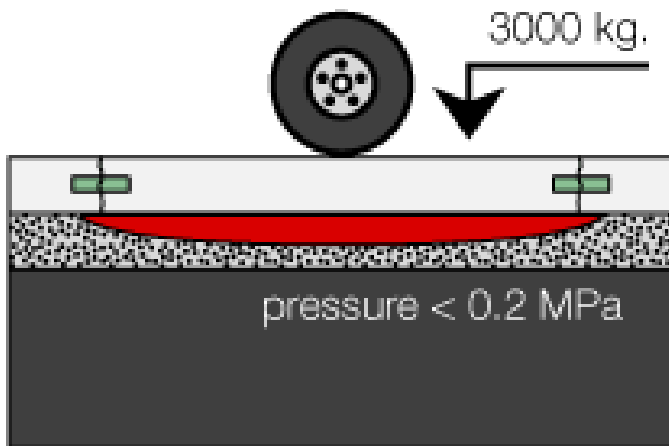


## Types of road construction

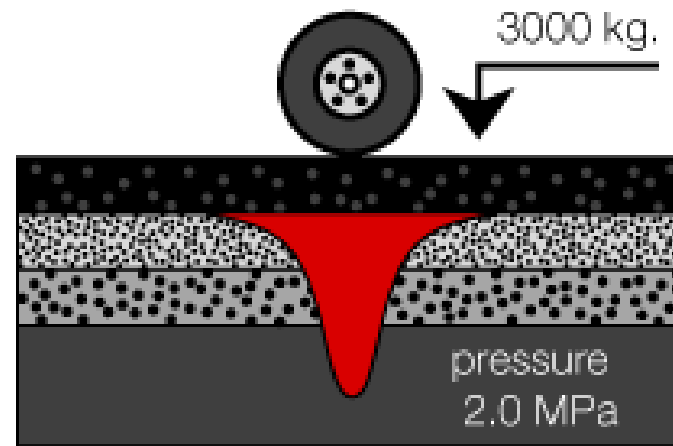


## ACN-PCN METODA

### PRENOŠENJE OPTEREĆENJA



KRUTI KOLNIK



SAVITLJIVI KOLNIK

## ACN-PCN METODA

ACN-PCN metoda služi za dimenzioniranje kolničke konstrukcije primjenom dijagrama.

Dijagrami služe za orijentaciono dimenzioniranje kolničke konstrukcije, posebno za krute ( $h^{rk}$ ), a posebno za savitljive kolnike ( $h^{rs}$ ).

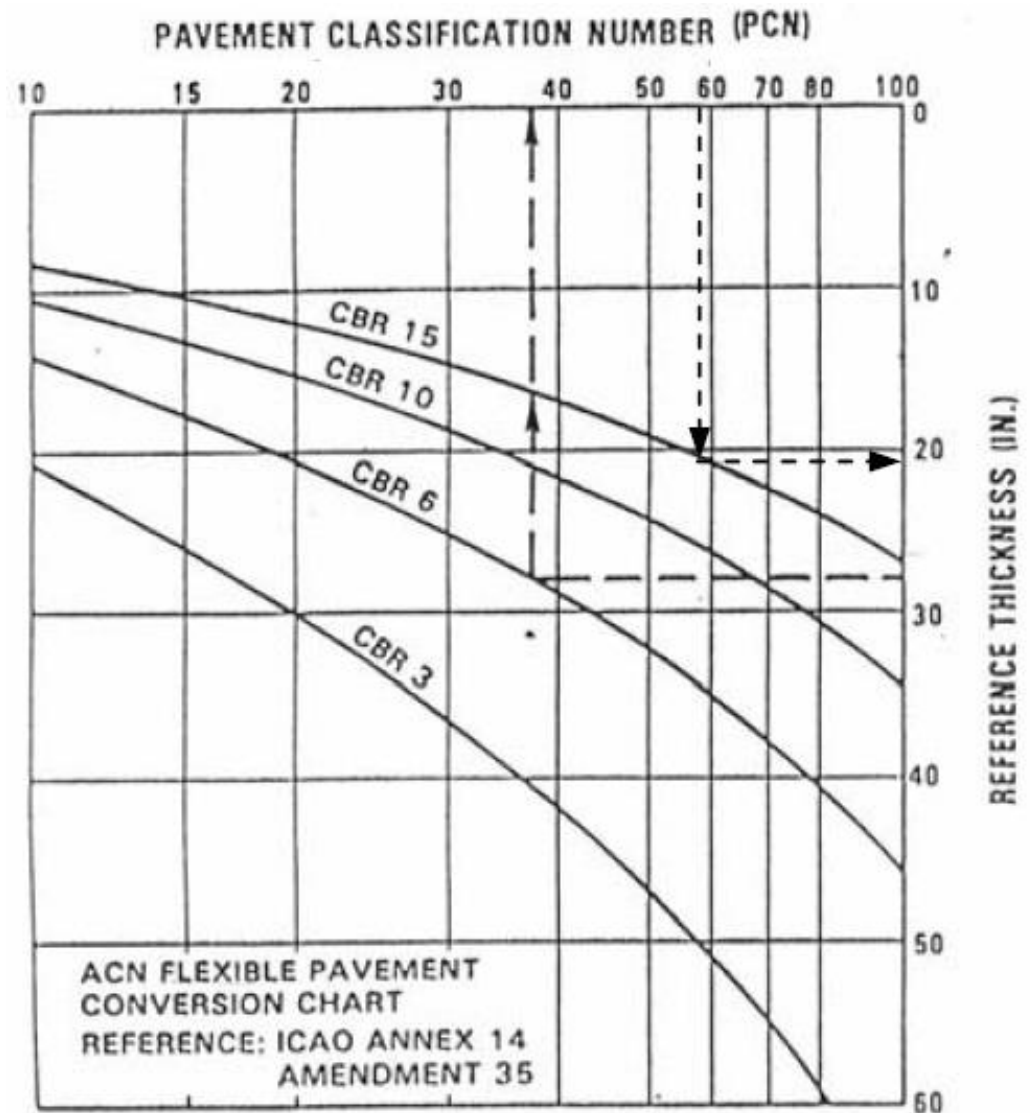
Za određenu vrstu kolničke konstrukcije i ACN se preko obilježja posteljice očitava vrijednost referentne debljine kolničke konstrukcije.

Dijagrami se mogu koristiti i u "suprotnom smjeru", tako da se za određenu debljinu kolnika odredi PCN aerodroma.

## ACN-PCN METODA

### SAVITLJIVA KOLNIČKA KONSTRUKCIJA

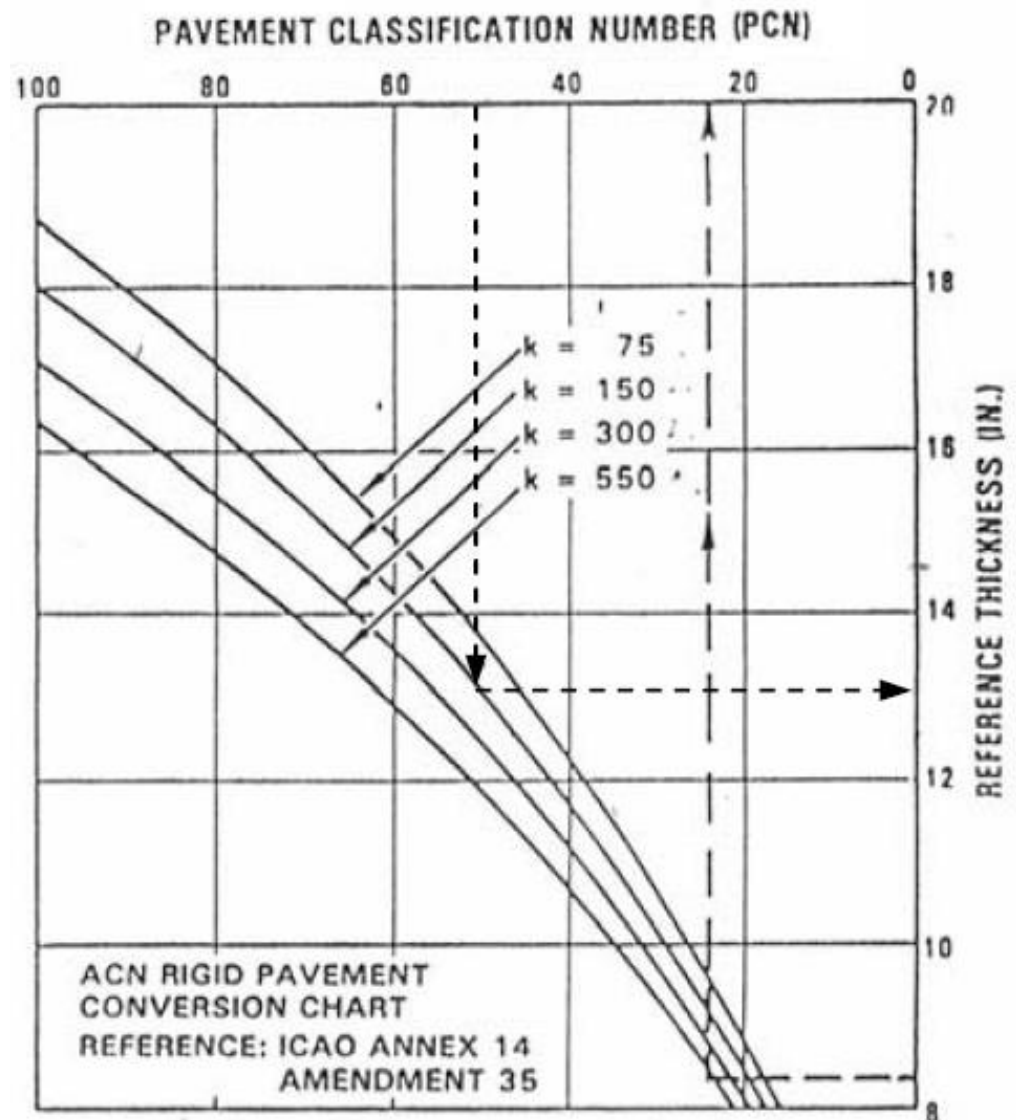
NAPOMENA: vrijednosti  
CBR-a po potrebi  
interpolirati.



## ACN-PCN METODA

### KRUTA KOLNIČKA KONSTRUKCIJA

NAPOMENA: vrijednosti modula reakcije posteljice, "k", po potrebi interpolirati.



## ACN-PCN METODA

Očitane vrijednosti referentne debljine kolničke konstrukcije iznose:

za savitljiv kolnik  $h^{rs} = 21 \text{ in} = 53,3 \text{ cm}$

za kruti kolnik  $h^{rk} = 13 \text{ in} = 33,0 \text{ cm}$

1 in = 2,54 cm

# ODREĐIVANJE PRORAČUNSKOG BROJA OPERACIJA GODIŠNJE, SVEDENO NA MJERODAVNI TIP ZRAKOPLOVA



## BROJ OPERACIJA MJERODAVNOG ZRAKOPLOVA

Svođenje broja prolaza različitih modela zrakoplova, na broj prolaza mjerodavnog (projektnog) zrakoplova obavlja se primjenom sljedećeg izraza:

$$\log N_1 = \sqrt{\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)} \cdot \log N_2$$

gdje su:

$N^1$  i  $N^2$  odgovarajući brojevi operacija zrakoplova modela 1 i 2,  
 $Q^1$  i  $Q^2$  optećenja po kotaču zrakoplova.

## BROJ OPERACIJA MJERODAVNOG ZRAKOPLOVA

Ovi se izrazi primjenjuju za konverziju broja prolaza samo za zrakoplove s istim brojem kotača glavnog podvozja, kao i mjerodavni zrakoplov. Ako to nije slučaj primjenjuju se sljedeći faktori redukcije broja prolaza:

sa	na	faktor
jednostruki kotač	dvostruki kotač	0,80
jednostruki kotač	dvostruki tandem	0,50
dvostruki kotač	dvostruki tandem	0,60

## BROJ OPERACIJA MJERODAVNOG ZRAKOPLOVA

### PRIMJER:

Potrebno je dimenzionirati kolničku konstrukciju za sljedeće prometno opterećenje u toku predviđenog vijeka trajanja od 20 godina.

zrakoplov	broj uzlijetanja ( <i>N</i> )	težina po kotaču [kN]	vrsta podvozja
B 727-200	10000	177	dvostruki kotač
B 707-320	4000	173	dvostruki tandem
DC-9	11000	127	dvostruki kotač
DC-8-61	3000	171	dvostruki tandem

Cjelokupno prometno opterećenje svodi se na ekvivalentan broj uzlijetanja zrakoplova DC-8-61

## BROJ OPERACIJA MJERODAVNOG ZRAKOPLOVA

proračun

B 727-200	$0,60 \times 10000 = 6000$	$\log N_1 = \sqrt{\left(\frac{177}{171}\right)} \cdot \log 6000$	$N_1 = 6980$
B 707-320	$1 \times 4000 = 4000$	$\log N_1 = \sqrt{\left(\frac{173}{171}\right)} \cdot \log 4000$	$N_1 = 4198$
DC-9	$0,60 \times 11000 = 6600$	$\log N_1 = \sqrt{\left(\frac{127}{171}\right)} \cdot \log 6600$	$N_1 = 1957$
DC-8-61	$1 \times 3000$		$N_1 = 3000$
			$\Sigma = 16135$

Ukupan broj uzlijetanja mjerodavnog zrakoplova za projektno razdoblje iznosi 16135. S tom vrijednošću se ulazi u dimenzioniranje kolničke konstrukcije.

# **KLASIFICIRANJE MJERODAVNOG TIPA ZRAKOPLOVA I KOLNIKA PO LCN METODI ZA KRUTI I SAVITLJIVI KOLNIK**

## LCN METODA

Dokazano je da postoji jedan općeniti odnos između opterećenja loma kolnika i površine nalijeganja koja kolnik opterećuje.

Da bi se uveo jedinstveni sustav po kojem bi sposobnost nosivosti kolnika s obzirom na različite modele zrakoplova bila izražena samo jednim brojem uvedena je standardna krivulja koja klasificira kolnik u odnosu na otpornost i zrakoplov prema težini.

Sustav klasifikacije kolnika uveden je u Velikoj Britaniji usvajanjem metode LCN (Load Classification Number).

## LCN METODA

Na vrijednost nosivosti kolnika utječe niz faktora:

- čvrstoća kolnika koja ovisi o konstrukciji kolnika i nosivosti posteljice
- na nosivost utječe zamor kolnika i broj ponavljanja opterećenja
- temperaturne razlike uzrokuju napone u krutom kolniku i promjene u ponašanju savitljivog kolnika
- na posteljicu utječe različit sadržaj vlage u tlu
- veličina kontaktne površine koja je određena veličinom opterećenja koje se prenosi i inflacijskim pritiskom

## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

Prvo je potrebno izračunati ekvivalentno opterećenje preko jednostrukog (ekvivalentnog) kotača. To opterećenje je ono, koje uz isti tlak nalijeganja svih kotača podvozja izaziva iste deformacije betonske ploče, kao i opterećenje koje se prenosi preko čitavog podvozja.



## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

Za određivanje ekvivalentnog opterećenja potrebno je poznavati:

E – Youngov modul elastičnosti betona [MN/m<sup>2</sup>];

E=30000 MN/m<sup>2</sup>

v – Poissonov koeficient;

v=0,15

k – modul reakcije tla [MN/m<sup>3</sup>];

k-zadan u zadatku

h – debljina kolnika [m]

h-uzeti referentnu d

l – radijus relativne krutosti bet. ploče [m];

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_1 \cdot h_{rk}^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k}}$$

## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

Za određivanje ekvivalentnog opterećenja potrebno je poznavati:

A – ukupna površina nalijeganja kotača jednog podvozja [m<sup>2</sup>];

$$A = \frac{G}{1,1 \cdot p_i}$$

$p_i$  – inflacijski tlak u gumama [MPa]

G – masa koju prenosi jedno podvozje [MN]

f - faktor redukcije; određuje se iz nomograma

## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

Za zadane podatke:

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_1 \cdot h_{rk}^3}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot k}} \rightarrow l = \sqrt[4]{\frac{30000 \cdot 0,33^3}{12 \cdot (1 - 0,15^2) \cdot 150}} = 1,17$$

Podaci o mjerodavnom zrakoplovu (DC-10-30):

$G^{\text{zrakoplov}} = 2593 \text{ kN}$  (tablica) = 264,4 t ukupna težina zrakoplova  
( $2593 \cdot 0.10197162 = 264,4$ )

$G_{kv} = G^{\text{zrakoplov}} \times 37,9\% = 982,75 \text{ kN} = \mathbf{0,983 \text{ MN}}$

(37,9% je postotak težine koju nosi jednog glavno podvozjei koje zamjenjuje jedan ekvivaletni kotač - podatak se čita iz tablice)

## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

$$A = \frac{G}{1,1 \cdot p_i} \qquad A = \frac{0,983}{1,1 \cdot 1,22} = 0,732 \text{ m}^2$$

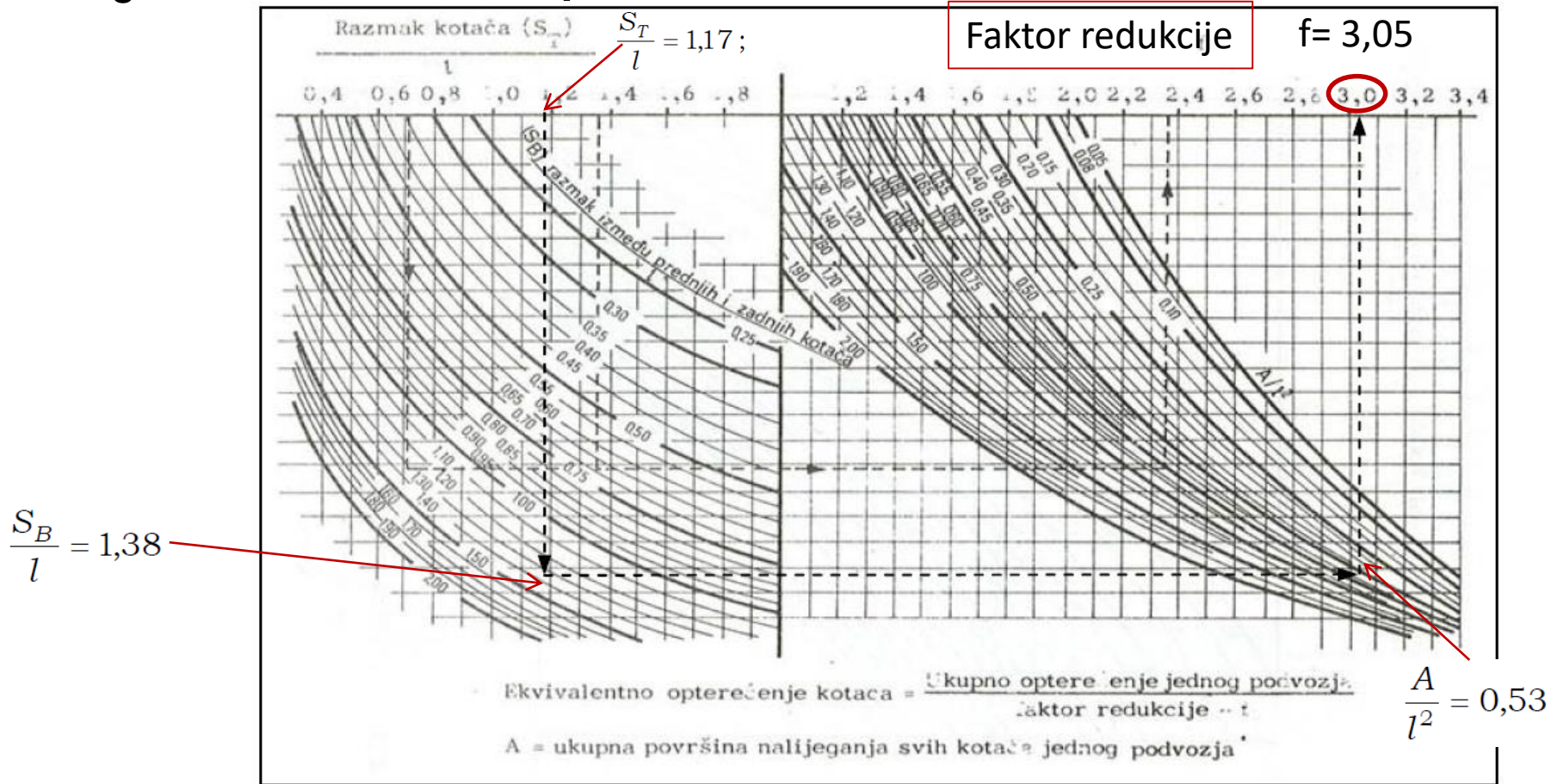
$$p_i = 1,22 \text{ MPa} \longrightarrow \text{tablica}$$

$$\begin{array}{lll} S_T = 1,37 \text{ m}; & S_B = 1,62 \text{ m} & \longrightarrow \text{tablica} \\ \frac{S_T}{l} = 1,17; & \frac{A}{l^2} = 0,53; & \frac{S_B}{l} = 1,38 \end{array}$$

# LCN METODA

## KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

### Nomogram za faktor redukcije



## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA KRUTI KOLNIK

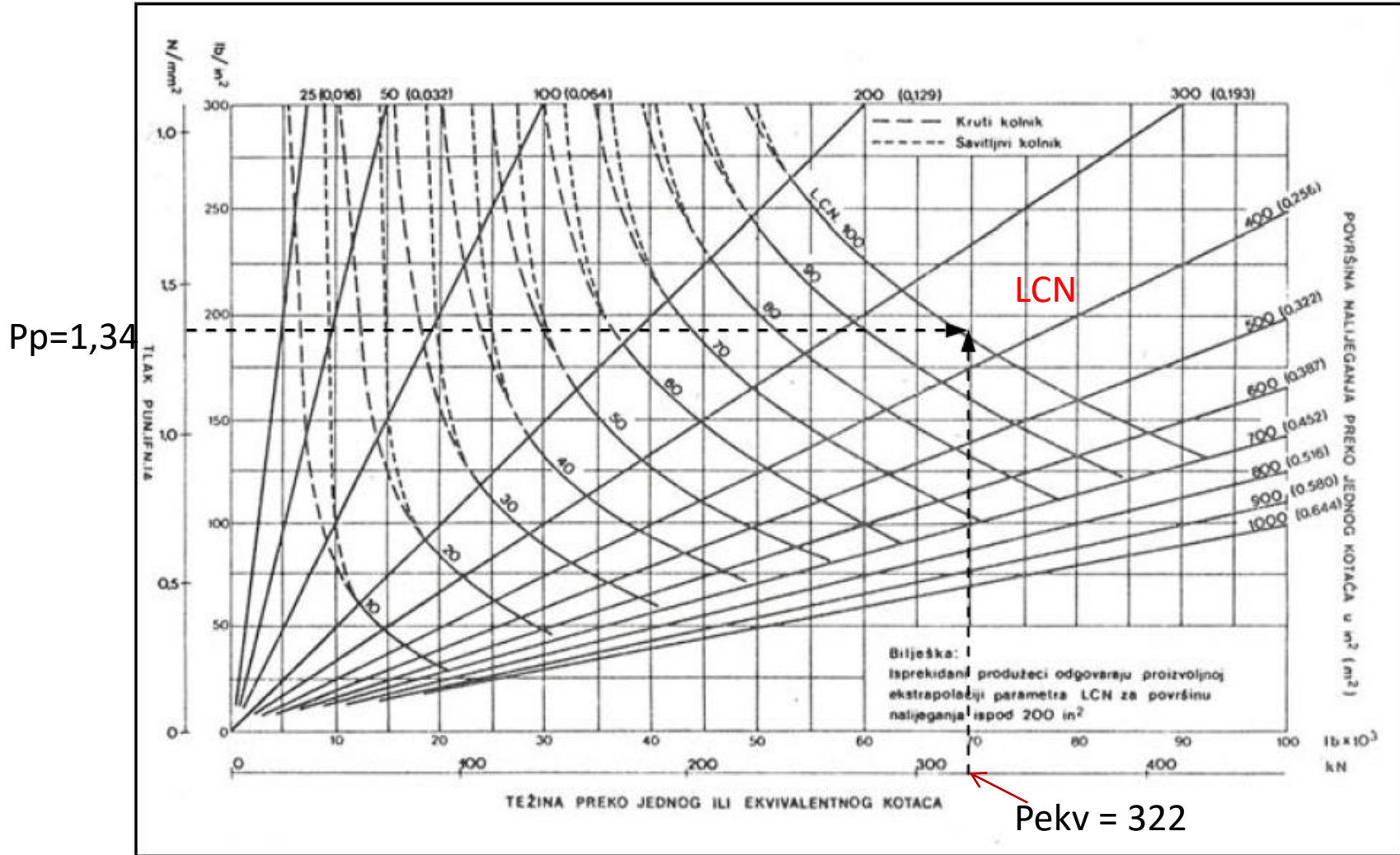
Ekvivalentno opterećenje

$$P_{ekv} = \frac{G}{f} = \frac{982,75}{3,05} = 322,21 \text{ kN}$$

$$p_p = 1,1 \times p_i = 1,1 \times 1,22 = 1,34 \text{ MPa}$$

Očitana je vrijednost LCN = 101.

# LCN METODA





## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA SAVITLJIVI KOLNIK

Proračun ekvivalentnog opterećenja preko jednostrukog kotača je kod savitljivog kolnika nešto kompliciranije nego kod krutog kolnika, zbog toga jer je savitljivi kolnik sastavljen od nekoliko slojeva od različitih materijala.

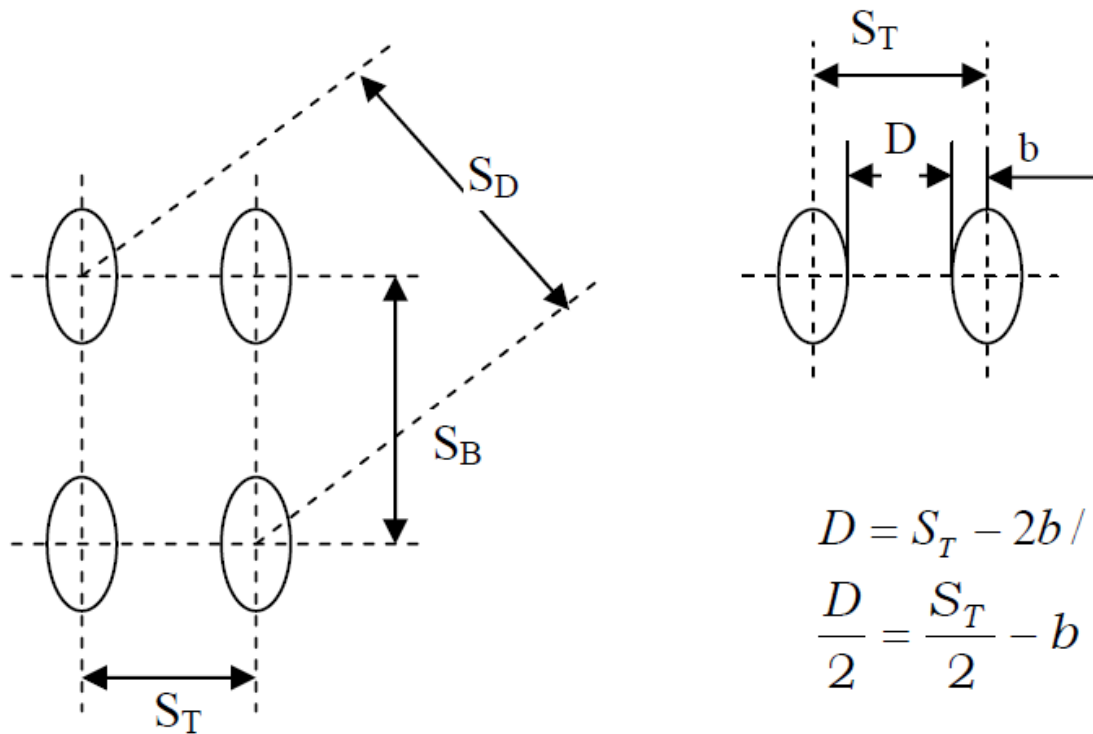
Proračun se vrši pomoću nomograma. Na nomogram se nanose točke ( $D/2$ ,  $Q$ -težina jednog kotača podvozja) i ( $2S^D$ ,  $G$ -težina svih kotača podvozja), koje se spoje pravcem. Točka u kojoj se sijeku pravac i vertikalna linija iz ukupne debljine kolnika ( $h^{rs}$  - savitljivi kolnik) se preslika na ordinatu i očitava se  $p_{ekv}$ .



## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA SAVITLJIVI KOLNIK

Za proračun su potrebni neki geometrijski podaci o podvozju koji se računaju na sljedeći način:



$$D = S_T - 2b / 2$$

$$\frac{D}{2} = \frac{S_T}{2} - b$$

## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA SAVITLJIVI KOLNIK

$A = \frac{Q}{p_i}$  [m<sup>2</sup>] - površina nalijevanja jednog kotača

$A = ab\pi = 1,4b^2\pi$  - površina elipse

Q = opterećenje po kotaču [MN) dvostruki tandem = 4 kotača  
slijedi, = 982,74/4=245,68 KN =0,246 MN

$$\frac{Q}{p_i} = 1,4\pi b^2 \quad \Rightarrow \quad b = \sqrt{\frac{Q}{1,4\pi p_i}}$$

iz toga je,

$$\frac{D}{2} = \frac{S_T}{2} - b = \frac{S_T}{2} - \sqrt{\frac{Q}{1,4\pi p_i}} = 1,37/2 - \text{SQRT}(0,246/(1,4*3,14*1,1*1,22))$$

## LCN METODA

### KLASIFIKACIJA ZRAKOPLOVA ZA SAVITLJIVI KOLNIK

*Primjer:* Parovi točaka koji formiraju pravac

$$\frac{D}{2} = 0,47 \text{ m} = 47 \text{ cm}; \quad Q = 245,69 \text{ kN}$$

Tip podvozja  
Dvostruki tandem  
( $Q=G/4$ )

$$2S_D = 4,24 \text{ m} = 424 \text{ cm}; \quad G = 982,75 \text{ kN}$$

$$S_D = \sqrt{S_T^2 + S_B^2}$$

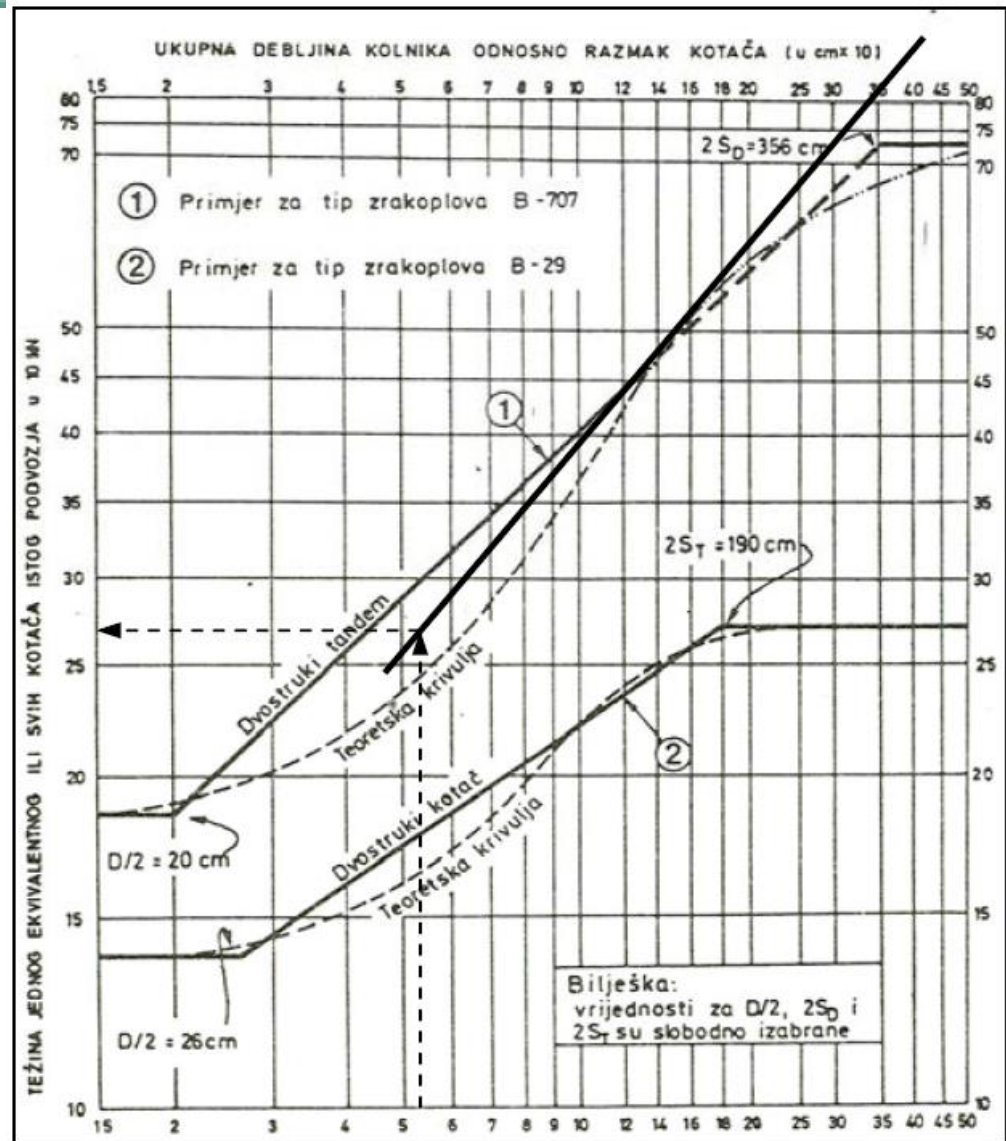
## LCN METODA

Nomogram za određivanje težine ekviv. kotača na asfaltnom kolniku  
- sve vrijednosti su u desetinama

**Očitana Pektiv 27\*10  
= 270 kN**

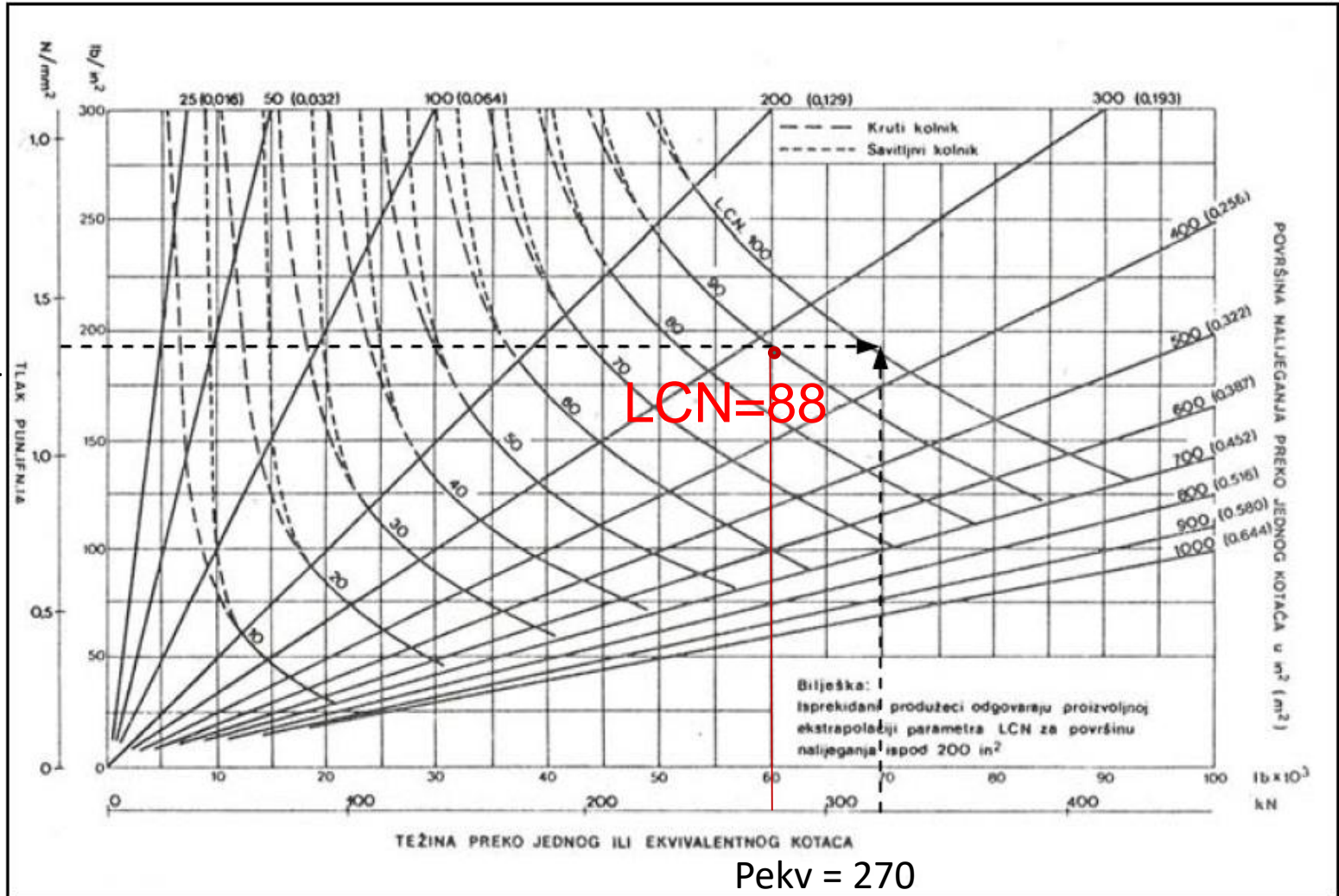
Parovi za formiranje pravca  
(4,7;24,6) i (42,4 ; 98,3)  
Iz ACN/PCN metode  $h=53,3$

Za 5,3 i nacrtanog pravca → Pektiv



# LCN METODA

$P_p = 1,34$





# LCN METODA

**Table 1. Allowable Gross Weights for Each Airplane at the LCG/LCN Value**

(Weights shown are x1000 lbs)		(MRW – Maximum Ramp Weight / OEW – Operating Empty Weight)													
LCG	I		II			III			IV			V		VI	VII
LCN	120	110	100	90	80	75	70	60	50	40	30	20	15	10	
707-120	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	299.0	253.0	198.5	153.0	<OEW	<OEW	<OEW	
707-320C	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	347.0	296.7	251.0	196.6	152.0	98.1	<OEW	<OEW	
717-200	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	116.3	93.2	70.3	47.2	<OEW	<OEW	
717-200HW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	140.9	117.5	94.1	70.8	47.5	<OEW	<OEW	
720B	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	246.0	194.0	151.0	102.8	<OEW	<OEW	
727-100	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	180.2	153.8	130.0	102.0	78.0	<OEW	<OEW	<OEW	
727-200	MRW	MRW	MRW	MRW	210.1	196.8	183.6	157.1	130.5	104.4	78.1	<OEW	<OEW	<OEW	
737-100	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	131.0	103.3	80.0	51.8	<OEW	<OEW	
737-200	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	149.3	126.0	99.2	76.0	49.6	<OEW	<OEW	
737-200LP	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	143.2	115.4	90.0	59.1	<OEW	<OEW	
737-300	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	147.3	122.4	97.6	73.0	<OEW	<OEW	<OEW	
737-300LP	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	153.8	128.0	102.3	76.7	51.2	<OEW	<OEW	
737-400	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	170.6	145.8	121.3	96.8	72.5	48.4	<OEW	<OEW	
737-500	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	146.6	121.8	97.1	72.7	48.5	<OEW	<OEW	
737-600	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	156.1	129.4	103.0	77.0	<OEW	<OEW	<OEW	
737-700	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	179.0	152.7	126.5	100.8	75.3	<OEW	<OEW	<OEW	
737-800	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	186.7	173.8	148.0	122.8	97.8	<OEW	<OEW	<OEW	<OEW	
737-900ER	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	186.7	173.8	148.0	122.8	97.8	<OEW	<OEW	<OEW	<OEW	
737BBJ	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	177.2	151.2	125.3	99.8	<OEW	<OEW	<OEW	<OEW	
737BBJ-2	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	177.6	151.4	125.4	99.9	<OEW	<OEW	<OEW	<OEW	
737BBJ-3	MRW	MRW	MRW	MRW	MRW	186.7	173.8	148.0	122.8	97.8	<OEW	<OEW	<OEW	<OEW	
747-200	MRW	MRW	MRW	MRW	882.4	825.0	767.0	653.1	540.0	428.9	319.3	<OEW	<OEW	<OEW	
747-400	MRW	MRW	MRW	980.1	865.0	809.0	752.0	639.0	529.0	419.5	312.0	<OEW	<OEW	<OEW	
747-400ER	MRW	MRW	MRW	941.2	830.1	775.0	720.4	612.2	505.0	400.9	<OEW	<OEW	<OEW	<OEW	

Literatura:

1. Horvat, Z: Aerodromi, Zagreb, 1983.
2. Ožbolt, M: Aerodromi, vodič za izradu programa, Zagreb, 2008.



Hvala na pozornosti!