

Određivanje prometnog opterećenja za dimenzioniranje kolničke konstrukcije

Matasić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:766655>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-19**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Karlo Matasić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

**ODREĐIVANJE PROMETNOG OPTEREĆENJA ZA
DIMENZIONIRANJE KOLNIČKE KONSTRUKCIJE**

Završni rad

Mentor:

doc. dr. sc. Josipa Domitrović

Izradio:

Karlo Matasić

Zagreb, 2023.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta:

JMBAG:

Završni ispit iz predmeta:

Naslov teme
završnog ispita:

HR	
ENG	

Opis teme završnog ispita:

Datum:

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

Neizmerno se zahvaljujem doc. dr. sc. Josipi Domitrović na mentorstvu prilikom izrade ovog završnog rada te svojoj obitelji koja me bezuvjetno podržava.

SAŽETAK

Prometno opterećenje jedan je od ključnih ulaznih parametara u postupku dimenzioniranja kolničkih konstrukcija. Za potrebe dimenzioniranja prometno opterećenje se izražava brojem ekvivalentnih standardnih osovina. Postupak određivanja prometnog opterećenja za potrebe dimenzioniranja kolničkih konstrukcija u Hrvatskoj se provodi u skladu s normom HRN U.C4.010 koja datira iz 1981. godine. U normi prikazana mjerodavna vozila i osovinska opterećenja nisu u skladu s današnjim konfiguracijama vozila i osovina. U završnom radu je dan pregled i usporedba hrvatskih te srpskih i slovenskih smjernica. Proveden je proračun prometnog opterećenja prema hrvatskim i srpskim smjernicama za brojačko mjesto 3114 Karlovac.

KLJUČNE RIJEČI: dimenzioniranje kolničke konstrukcije, prometno opterećenje, ekvivalentna standardna osovina

SUMMARY

Traffic load is one of the most important input parameters for pavement design. The traffic load is expressed by the number of equivalent standard axles. The procedure for determining traffic load in Croatia is carried out in accordance with HRN U.C4.010 from 1981. The vehicles and axle loads specified in the standard do not represent today's vehicle and axle configurations. The thesis provides an overview and comparison of the Croatia, Serbian and Slovenian guidelines. The calculation of the pavement design traffic load was performed according to the Croatian and Serbian guidelines for the traffic count location 3114 Karlovac.

KEY WORDS: pavement design, traffic load, equivalent standard axle

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. PREGLED SMJERNICA	2
2.1. HRVATSKE SMJERNICE prema HRN U.C4.010	2
2.1.1. Analiza prometnog opterećenja.....	2
2.1.2. Određivanje ekvivalentnog prometnog opterećenja	5
2.1.3. Približno određivanje ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja teških teretnih vozila u projektnom periodu dimenzioniranja.....	8
2.1.4. Grupe prometnog opterećenja	9
2.2. SLOVENSKE SMJERNICE prema TSC 06.511 : 2009	10
2.2.1. Analiza prometa	10
2.2.2. Ekvivalentno prometno opterećenje	11
2.2.3. Dodatni utjecaji na prometno opterećenje.....	16
2.2.4. Mjerodavno prometno opterećenje.....	18
2.2.5. Klasifikacija prometnog opterećenja.....	19
2.3. SRPSKE SMJERNICE prema „Priručnik za projektiranje puteva u Republici Srbiji“ Beograd, 2012.	20
2.3.1. Analiza prometa	20
2.3.2. Ekvivalentno prometno opterećenje	21
2.3.3. Prometno opterećenje	25
2.3.4. Mjerodavno prometno opterećenje.....	27
2.3.5. Kategorizacija prometnog opterećenja.....	28
2.4. USPOREDBA SMJERNICA	29
3. IZRAČUN PROMETNOG OPTEREĆENJA	32
3.1. HRVATSKE SMJERNICE	33
3.2. SRPSKE SMJERNICE	37
4. ZAKLJUČAK	39
PRILOG 1	40
PRILOG 2	44
POPIS TABLICA	52
LITERATURA	54

1. UVOD

Prometno opterećenje jedan je od ključnih ulaznih parametara u postupku dimenzioniranja kolničkih konstrukcija. Za potrebe dimenzioniranja kolničkih konstrukcija prometno opterećenje se izražava brojem ekvivalentnih standardnih osovina.

Ekvivalentno osovinsko opterećenje je opterećenje jednostruke osovine vozila opterećene unaprijed dogovorenim iznosom koje se uzima kao mjerodavno. Određeno je kao osnova za uspoređivanje utjecaja različitih osovinskih opterećenja u prometnom toku [1].

Faktor ekvivalencije je faktor koji predstavlja prosječne štetne utjecaje osovinskih opterećenja vozila na kolničku konstrukciju u odnosu na utjecaje standardnih osovina [2].

Mjerodavno prometno opterećenje je proračunata vrijednost prometnog opterećenja jedne vozne trake kolničke konstrukcije u projektnom razdoblju. Određen je na temelju prosječnog godišnjeg dnevnog prometa i njegova povećanja, kao i dodatnih utjecaja: broja prometnih traka, širine prometnih traka, najvećeg uzdužnog nagiba nivelete prometnice i dinamičkih utjecaja [1].

Cilj određivanja mjerodavnog prometnog opterećenja je odrediti vrijednost prometnog opterećenja temeljem kojeg se određuju dimenzije slojeva kolničke konstrukcije te vrsta i kvaliteta materijala za pojedine slojeve u sastavu nove ili za pojačanja postojeće asfaltne ili cement-betonske kolničke konstrukcije [3].

U ovom radu dan je pregled i usporedba hrvatskih, slovenskih i srpskih smjernica za određivanje mjerodavnog prometnog opterećenja.

2. PREGLED SMJERNICA

U ovom poglavlju detaljno je opisan postupak određivanja prometnog opterećenja za potrebe dimenzioniranja kolničke konstrukcije prema hrvatskim, slovenskim i srpskim smjernicama te je dana njihova usporedba.

2.1. HRVATSKE SMJERNICE prema HRN U.C4.010 [2]

Ovim standardom se utvrđuje postupak određivanja ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja za dimenzioniranje novih, kao i rekonstrukciju i pojačanje postojećih asfaltnih prometnih konstrukcija javnih cesta izvan naselja.

Mjerodavna osovina je jednostruka osovina s opterećenjem od 82 kN . Standardna osovina ima po dva dvostruka kotača, od kojih svaki prenosi opterećenje od $20,5\text{ kN}$.

2.1.1. Analiza prometnog opterećenja

U postupku određivanja ekvivalentnog prometnog opterećenja za dimenzioniranje asfaltne prometne konstrukcije mora se provesti analiza prometnog opterećenja.

U analizi se ne uzimaju u obzir putnička motorna vozila zbog vrlo malog utjecaja na oštećenje prometne konstrukcije u odnosu na teška teretna motorna vozila. Zbog toga se analiza radi samo za teška teretna vozila.

Pod teškim teretnim motornim vozilima podrazumijevaju se vozila s pojedinačnim osovinskim opterećenjem većim od 20 kN .

Za analizu prometnog opterećenja uzimaju se u obzir sljedeći parametri:

- prosječni godišnji dnevni (24-satnog) broj teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije puta,
- prosječna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila u projektom periodu dimenzioniranja prometne konstrukcije
- osovinsko opterećenje mjerodavnih vrsta vozila
- prosječna iskoristivost nosivosti teških teretnih vozila
- raspodjela prometnog opterećenja po voznim trakama

Prosječni godišnji dnevni broj teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije ceste

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom broju teških teretnih vozila za auto-ceste i ceste I, II i III prometnog razreda moraju se odrediti na osnovu proučavanja prometnog odnosa brojanja i prognoze broja teških teretnih vozila za određeni prometni smjer.

Ako ne postoje podaci o brojanju vozila za ceste IV i V prometnog razreda, može se prosječni godišnji dnevni broj teških teretnih vozila predvidjeti približno na osnovu procjene.

Prosječna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila u projektnom periodu dimenzioniranja prometne konstrukcije

Prosječna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila, koja se očekuje u određenom vremenskom periodu, određuje se dugoročnom prognozom prometnih tokova u analiziranom prometnom sistemu.

Osovinsko opterećenje reprezentativnih vrsta vozila

Prema vrsti osovinama, preko kojih se prenosi opterećenje vozila na prometnu konstrukciju, razlikuje se jednostruke i dvostruke (tandem) osovine.

Pod dvostrukim osovinama vozila podrazumijevaju se osovine na međusobnom razmaku između 1,0 i 2,0 m. Na razmaku manjem od 1,0 m osovine mogu biti opterećene samo polovinom dozvoljenog opterećenja jednostruke osovine. Kod razmaka većeg od 2,0 m obje osovine se tretiraju kao jednostruke osovine.

Ako se pri analizi prometnog opterećenja ne raspolaže detaljnijim podacima o vrstama i osovinskom opterećenju pojedinih teških teretnih vozila, koja će biti dominantna za određeni prometni pravac, koriste se usvojeni podaci za reprezentativne vrste vozila.

Prosječne vrijednosti osovinskog opterećenja reprezentativnih vrsta vozila određene su s obzirom na raspodjelu po osovinama od vlastite mase praznog vozila, korisnog tereta i ukupne mase punog vozila.

Pod pojmom koristan teret podrazumijeva se djelovanje od putnika ili robe koja se prevozi.

U podacima za reprezentativne vrste vozila uzeta je najveća dozvoljena masa korisnog tereta, koja je identične vrijednosti utvrđene nosivosti vozila.

Prosječna iskoristivost nosivosti teških teretnih vozila

Prosječna iskoristivost nosivosti za pojedine vrste teških teretnih vozila izražava se kao odnos između prosječne mase korisnog tereta koja se prevozi i nosivosti vozila.

Iskoristivost nosivosti pojedinih vrsta vozila tokom eksploatacije zavisi od društveno-ekonomskih kretanja na području određene regije, gdje se nalazi prometnica, a određuje se na osnovu proučavanja.

Opterećenje pojedinih osovina vozila za različite vrijednosti iskoristivosti nosivosti određuje se tako da se zbroje vrijednosti osovinskog opterećenja za prazno vozilo i odgovarajućeg raspodijeljenog dijela opterećenja od korisnog tereta.

Raspodjela prometnog opterećenja po voznim trakama

Raspodjela prometnog opterećenja teških teretnih vozila po prometnim trakama ovisi o:

- broju prometnih traka u poprečnom profilu prometnice
- geometrijskih elemenata prometnice (uspon ili pad niveliranja)
- ukupnog broja svih motornih vozila na prometnici (tokom dana i godine)
- propusne moći prometnica i dr.

Ovi utjecaji su predmet detaljnijih analiza u proučavanju prometa.

U slučaju ako se ne raspoložuje ovim posebnim podacima, primjenjuju se odnosi raspodjele prometnog opterećenja po prometnim trakama, kako je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Raspodjela prometnog opterećenja teških teretnih vozila po prometnim trakama

Broj prometnih traka u poprečnom profilu putu	Raspodjela prometnog opterećenja teških teretnih vozila po prometnim trakama u %			
Jedna prometna traka (jednosmjerni promet)	100			
Dvije prometne trake (dvosmjerni promet)	50	50		
Četiri prometne trake (dvosmjerni promet)	45	5	5	45
Četiri prometne trake – niveliranje ceste u usponu, $u > 4\%$ (dvosmjerni promet)	45	5	-	50

Za dimenzioniranje asfaltne prometne konstrukcije koristi se, po pravilu prometnog opterećenja, najopterećenije prometne trake.

2.1.2. Određivanje ekvivalentnog prometnog opterećenja

Osovinsko opterećenje pojedinih analiziranih teških teretnih vozila, koja se uzimaju u obzir za proračun, pretvara se u standardno osovinsko opterećenje pomoću odgovarajućih faktora ekvivalencije.

Faktori ekvivalencije

Faktori ekvivalencije (f_e) predstavljaju prosječne štetne utjecaje pojedinih osovinskih opterećenja vozila na prometnu konstrukciju u odnosu na utjecaj standarde osovine, a određuje se prema sljedećim izrazima:

- za jednostruku osovine:

$$f_e = 2,212 \times 10^{-8} \times L_1^4 \quad (1)$$

- za dvostruke osovine:

$$f_e = 1,975 \times 10^{-9} \times L_2^4 \quad (2)$$

gdje je: L_1 - opterećenje jednostruke osovine vozila izraženo u kN

L_2 - opterećenje dvostruke osovine vozila izraženo u kN

U tablici 2. dani su faktori ekvivalencije proračunati prema navedenim izrazima za jednostruke i dvostruke osovine vozila.

Ukupni broj standardnih osovina za pojedine vrste teških teretnih vozila

Ukupni broj standardnih osovina za pojedine reprezentativne vrste teških teretnih vozila (F_e) se određuju zbrajanjem faktora ekvivalencije za sve osovine vozila, a određuje se prema izrazu:

$$F_e = \sum_{i=1}^k f_e \quad (3)$$

gdje je: f_e - faktor ekvivalencije za pojedine osovine teških teretnih vozila

U postupku proračuna mora se uzeti osovinsko opterećenje s obzirom na prosječnu iskoristivost nosivosti vozila, a koje se određuje prema tablici 2.

Tablica 2. Faktori ekvivalencije za jednostruke i dvostruke osovine vozila

Osovinsko opterećenje [<i>kN</i>]	Faktor ekvivalencije u odnosu na standardno osovinsko opterećenje mase 82 <i>kN</i>	
	Jednostruka osovina	Dvostruka osovina
10	0,0002	-
20	0,0035	-
30	0,018	-
40	0,067	-
50	0,138	0,0124
60	0,287	0,0256
70	0,53	0,0474
80	0,91	0,061
90	1,45	0,13
100	2,21	0,20
110	3,24	0,29
120	4,59	0,41
130	6,32	0,56
140	8,50	0,76
150	11,20	1,00
160	14,50	1,29
170	18,47	1,65
180	23 22	2,07
190	-	2,57
200	-	3,16
210	-	3,84
220	-	4,60

Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije

Na osnovu prosječnog godišnjeg dnevnog broja teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije ceste na mjerodavnoj - najopterećenijoj prometnoj traci određuje se prosječno dnevno ekvivalentno prometno opterećenje prema izrazu:

$$T_d = \sum_{i=1}^i F_e \times n_i \quad (4)$$

gdje je: F_e - ukupni broj standardnih osovina za pojedine vrste teških teretnih vozila
 n_i - prosječni godišnji dnevni broj pojedinih teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije na najopterećenijoj prometnoj traci

Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije dobiva se prema izrazu:

$$T_g = T_d \times 365 \quad (5)$$

Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u projektom periodu dimenzioniranja

Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u projektom periodu dimenzioniranja (T_u) određuje se na osnovu ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja u početnoj godini eksploatacije (T_g), a uzimajući u obzir prosječnu godišnju stopu rasta broja teških teretnih vozila. Faktor rasta prometa u projektom periodu dimenzioniranja prometne konstrukcije određuje se po formuli:

$$q = \sum_{i=1}^{\rho} \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i \quad (6)$$

gdje je: ρ - projektni period dimenzioniranja prometa konstrukcije izražen u godinama
 $i = 1, 2, 3, \dots, \rho$ (godina)
 r - prosječna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila

Za praktičnu upotrebu vrijednosti faktora dane su u tablici 3.

Tablica 3. Faktori rasta prometa za različite projektne periode dimenzioniranja prometne konstrukcije i prosječne godišnje stope rasta broja teških teretnih vozila

Godišnja stopa rasta prometa, r , u %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Projektni period dimenzioniranja, ρ , u godinama	q									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u projektnom periodu za dimenzioniranje asfaltnih prometnih konstrukcija izvan gradskih javnih cesta iznosi:

$$T_u = T_g \times q \quad (7)$$

2.1.3. Približno određivanje ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja teških teretnih vozila u projektnom periodu dimenzioniranja

Približno određivanje ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja može se koristiti za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija u fazi idejnog projektiranja svih javnih cesta izvan naselja, kao i za glavni projekt kod cesta IV i V prometnog razreda.

U ovom postupku prosječni godišnji dnevni broj teških teretnih vozila u jednom smjeru u početnoj godini eksploatacije procjenjuje se iz prosječnog dnevnog godišnjeg prometa (PDGP) svih motornih vozila za razmatrani prometni razred.

Prosječno godišnje dnevno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila određuje se orijentacijski prema izrazu:

$$T_d = k \times n \quad (8)$$

gdje je: k - prosječan broj standardnih osovina za jedno teško teretno vozilo

n - procijenjeni prosječni godišnji dnevni broj svih teških teretnih vozila na najopterećenijoj prometnoj traci u početne godine eksploatacije

Prosječan broj standardnih osovina k određuje se u zavisnosti od procijenjenog prosječnog godišnjeg dnevnog broja svih teških teretnih vozila u jednom prometnom smjeru puta prikazanih u tablici 4.

Tablica 4. Točan broj standardnih osovina za teško teretno vozilo

Prosječan godišnji dnevni broj teških teretnih vozila u 1 prometnom smjeru puta	Prosječan broj standardnih osovina od 82 kN za jedno teško teretno vozilo
>500	1,2
100 – 500	0,75
<100	0,45

2.1.4. Grupe prometnog opterećenja

Prema veličini ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja u projektom periodu dimenzioniranja, projektno opterećenje se dijeli u pet grupa prema tablici 5.

Tablica 5. Podjela prometnog opterećenje na grupa

Grupe prometnog opterećenja	Ukupno ekvivalentno osovinsko opterećenje od 82 kN (T_u) u projektom periodu
vrlo teško	$>7 \times 10^6$
teško	$2 \times 10^6 \dots 7 \times 10^6$
srednje	$7 \times 10^5 \dots 2 \times 10^6$
lako	$2 \times 10^5 \dots 7 \times 10^5$
vrlo lako	$<2 \times 10^5$

Grupe prometnog opterećenja koriste se pri izboru vrste i kvalitete materijala za pojedine slojeve u sastavu nove ili za pojačanje postojeće asfaltne prometne konstrukcije javnih cesta izvan naselja.

2.2. SLOVENSKE SMJERNICE prema TSC 06.511 : 2009 [3]

Tehnička specifikacija za ceste TSC 06.511 utvrđuje postupak određivanja mjerodavnog prometnog opterećenja na temelju kojih se određuju dimenzije sloja kolničke konstrukcije s asfaltnim i betonskim kolničkim zastorom za nove kolnike kao i za popravke i ojačanja postojeće kolničke konstrukcije.

Mjerodavna osovina je jednostruka osovina s opterećenjem od 100 kN koje se prenosi dvostrukim kotačima (4x25 kN) na kolničku površinu.

2.2.1. Analiza prometa

Za određivanje prometnog opterećenja kolnika treba:

- definirati prosječni godišnji dnevni promet
- odrediti težinu pojedinih osovina vozila
- procijeniti iskoristivost vozila.

Prosječni godišnji dnevni promet

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) na postojećim autocestama, brzim cestama i drugim državnim cestama temelje se na rezultatima brojanja prometa na odabranim dijelovima dionica ceste koji su prikupljeni u nadležnim institucijama.

Prosječni godišnji dnevni promet za novo građene ceste treba odrediti s prometnim prognozama. Također i kod cesta s manjim prometnom je moguće odrediti PGDP.

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu općenito moraju sadržavati sljedeće klasifikacije reprezentativnih motornih vozila:

- osobna vozila i kombinirana vozila
- autobusi
- teretna vozila:
 - laka: s nosivošću do 3 t
 - srednja: s nosivošću od 3 t do 7 t
 - teška : s nosivošću iznad 7 t
 - teška s prikolicom

Određivanje mase vozila

Utvrđivanje stvarne mase motornih vozila i stvarnih opterećenja na pojedinim osovinama vozila moguće je samo uz odgovarajući postupak vaganja.

Vaganje može biti:

- statičko s fiksnim ili mobilnim vagama
- dinamičko za vozila u vožnji (s normalnom brzinom ili brzinom do 10 km/h na posebnim rampama).

Za vaganje motornih vozila ili tereta pojedinih osovina mjerodavni postupci su samo kod kojih su svi kamioni vagani ili barem uzet reprezentativni uzorak vozila.

Na temelju rezultata vaganja potrebno je razvrstati osovinska opterećenja motornih vozila u odgovarajuće klase, općenito s rasponom od 5, 10 ili 20 kN.

Rezultati vaganja motornih vozila ili opterećenja osovina moraju biti prikazani u obliku histograma za jednostruke, dvostruke i trostruke osovine, tako da su neposredno korisni za određivanje prometnih opterećenja na postojećim cestama i za predviđanje prometnih opterećenja na nove ceste.

Ako rezultati vaganja motornih vozila nisu reprezentativni, moraju se ispraviti sa relevantnim čimbenicima (npr. zbog sezonskih i/ili dnevnih utjecaja).

Ocjena iskoristivosti vozila

Ako se osovinska težina motornih vozila ne utvrđuje vaganjem, potrebno je utvrditi osovinska opterećenja reprezentativnih vozila ocjenom njihove iskoristivosti.

2.2.2. Ekvivalentno prometno opterećenje

Zamor materijala ugrađen u kolničku konstrukciju ovisi o:

- karakteristikama motornih vozila:
 - osovinska opterećenja
 - raspored osovina na vozilu,
 - raspored kotača na osovini vozila
- broju tereta motornih vozila, tj. prolaza kroz poprečni profil kolnika.

Ekvivalentno osovinsko opterećenje

Osovinska opterećenja motornih vozila moraju se pretvoriti u ekvivalentno prometno opterećenje.

Za kvantitativnu ocjenu utjecaja različitih osovinskih opterećenja motornih vozila na zamor materijala ugrađenih u konstrukcije kolnika, treba koristiti modificiranu jednadžbu AASHO Road Test-a:

$$FE_{naz} = 10^{-8} \times f_o \times (f_k \times L_{stat})^4 \quad (9)$$

gdje je: FE_{naz} - faktor ekvivalentnog utjecaja stvarnog osovinsko opterećenje motornog vozila na zamor u odnosu na utjecaj mjerodavnog osovinskog opterećenja od 100 kN

za $L_{stat} = 100 \text{ kN}$

f_o - faktor raspodjele osovina na vozilu:

- za jednostruku osovinu $f_{o11} = 0,4521$
- za dvostruku osovinu $f_{o12} = 0,3235$

f_k - faktor raspodjele kotača na osovini vozila:

- za jedan konvencionalni kotač $f_{k1} = 1,0$
- za dvostruki normalni kotač (u paru) $f_{k2} = 0,9$
- za jedan široki kotač $f_{k3} = 0,97$

Na temelju toga procijenjeni su faktori ekvivalencije osovinskog opterećenja odabranih motornih vozila u tablici 6.

Ekvivalentno opterećenje vozila

Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna motorna vozila utvrđene vaganjem vozila u vožnji dane su u tablici 7.

U slučajevima kada je poznata vrsta motornih vozila koja prevladava na određenoj cesti, a pritom ta vozila nisu vagana, odgovarajući faktor ekvivalencije za takva vozila mora se odrediti na temelju FE_v jednadžbe:

$$FE_v = \sum FE_{naz} \quad (10)$$

Ekvivalentni dnevni promet opterećenja

Određivanje ekvivalentnog dnevnog prometnog opterećenja je uvjetovano metodom određivanja prometnog opterećenja na kolniku.

Određivanje na temelju prosjeka vrijednosti faktora ekvivalencije

Ukupni dnevni ekvivalentni promet opterećenja u poprečnim presjeku ceste (T_d) može se odrediti na temelju planiranog prosječnog dnevnog broja motornih vozila u prvoj godini korištenja ceste prema jednadžbi:

$$T_d = \sum FE_v \times n_v \quad (11)$$

gdje je: FE_v - faktor ekvivalencije reprezentativnog motornog vozila

n_v - broj motornih vozila određene vrste (reprezentativnih) po danu na početku korištenja ceste

Tablica 6. Faktori ekvivalencije osovinskog opterećenja motornih vozila u odnosu na mjerodavno osovinskog opterećenja 100 kN

Osovinsko opterećenje kN	Faktor ekvivalencije					
	Pojedinačna/ jednostruka osovina			Dvostruka/ trostruka osovina		
	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač
4	0,000003	0,000002	0,000002	0,000002	0,000001	0,000002
6	0,000013	0,000009	0,000012	0,000009	0,000006	0,000009
8	0,000041	0,000027	0,000038	0,000029	0,000019	0,000027
10	0,000100	0,000066	0,000092	0,000072	0,000047	0,000066
15	0,00051	0,00033	0,00047	0,00036	0,00024	0,00033
20	0,00160	0,00105	0,00148	0,00114	0,00075	0,00106
25	0,00391	0,00256	0,00360	0,00280	0,00183	0,00258
30	0,00810	0,00531	0,00747	0,00580	0,00380	0,00535
35	0,01501	0,00985	0,01384	0,01074	0,00705	0,00990
40	0,02560	0,01680	0,02361	0,01832	0,01202	0,01690

Osovinsko opterećenje kN	Faktor ekvivalencije					
	Pojedinačna/ jednostruka osovina			Dvostruka/ trostruka osovina		
	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač
45	0,04101	0,02690	0,03782	0,02934	0,01925	0,02707
50	0,06250	0,04101	0,05765	0,04473	0,02934	0,04125
55	0,09151	0,06004	0,08440	0,06548	0,04296	0,06040
60	0,12960	0,08503	0,11954	0,09274	0,06085	0,08554
65	0,17851	0,11712	0,16465	0,12774	0,08381	0,11782
70	0,24010	0,15753	0,22146	0,17182	0,11273	0,15848
75	0,31641	0,20759	0,29184	0,22642	0,14855	0,20884
80	0,40960	0,26874	0,37780	0,29311	0,19231	0,27036
82	0,45212	0,29664	0,41702	0,32354	0,21227	0,29842
85	0,52201	0,34249	0,48148	0,37355	0,24508	0,34455
90	0,65610	0,43047	0,60517	0,46951	0,30804	0,43306
95	0,81451	0,53440	0,75127	0,58286	0,38241	0,53761
100	1,00000	0,65610	0,92237	0,71560	0,46951	0,66005
105	1,21551	0,79749	1,12114	0,86982	0,57069	0,80229
110	1,46410	0,96060	1,35044	1,04771	0,68740	0,96637
115	1,74901	1,14752	1,61323	1,25159	0,82117	1,15443
120	2,07360	1,36049	1,91262	1,48387	0,97357	1,36867
125	2,44141	1,60181	2,25188	1,74707	1,14625	1,61144
130	2,85610	1,87389	2,63438	2,04838	1,34095	1,88516
135	3,32151	2,17924	3,06365	2,37687	1,55946	2,19235
140	3,84160	2,52047	3,54337	2,74905	1,82365	3,53564
145	4,42051	2,90029	4,07733	3,16331	2,07545	2,91774
150	5,06250	3,32151	4,66949	3,62273	2,37687	3,34149

Tablica 7. Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila

Reprezentativno vozilo	Prosječni faktor ekvivalencije		
	AC i HC	G1 i G2	R1 i R2
– putničko	0,00003	0,00003	0,00003
– autobus	1,40	1,15	0,85
– kamion :			
– laki	0,005	0,005	0,005
– srednji	0,35 ¹ /0,6 ²	0,25 ¹ /0,5 ²	0,25 ¹ /0,4 ²
– teški	1,70 ¹ /0,7 ²	1,45 ¹ /0,9 ²	1,35 ¹ /1,0 ²
– teški s prikolicom	1,60	1,40	1,25

Određivanje na temelju stvarnih osovinskih opterećenja

Ako su poznata stvarna opterećenja na osovinaama moguće je ukupno dnevno ekvivalentno prometno opterećenje na poprečnom presjeku ceste (T_d) odrediti kao zbroj svih izmjerenih osovinskih opterećenja:

$$T_d = \sum FE_{naz} \quad (12)$$

Ako zbroj $\sum FE_{naz}$ nije poznat (sustav vaganja nije dan izravno), izračunava se kao zbroj doprinosa osovinskih opterećenja za pojedinačni raspored osovina $FE_{o,j}$ od histograma osovinskog opterećenja:

$$FE_{o,j} = \sum_{j=1}^R N_{i,j} \times FE_{naz,j} \quad (13)$$

gdje je: i – jednostruka, dvostruka ili trostruka osovina

R – broj razreda u histogramima osovinskog opterećenja

N_j – broj osovina u j-tom razredu

$FE_{naz,j}$ – ekvivalentni faktor utjecaja srednje vrijednosti osovinskog opterećenja iz j-tog razreda

- za jednostruke osi:

$$FE_{o1} = 10^{-8} \times 1,0000 \times \sum_{j=1}^R N_{j1} \times L_j^4 \quad (14)$$

- dvostruke osi:

$$FE_{o2} = 10^{-8} \times 0,0953 \times \sum_{j=1}^R N_{j2} \times L_j^4 \quad (15)$$

- trostruke osi:

$$FE_{o3} = 10^{-8} \times 0,0301 \times \sum_{j=1}^R N_{j3} \times L_j^4 \quad (16)$$

2.2.3. Dodatni utjecaji na prometno opterećenje

Dodatni utjecaji na prometno opterećenje određeni karakteristikama ceste:

- broj prometnih traka
- širina prometnih traka
- uzdužni nagib nivele kolnika.

Broj prometnih traka

Utjecaj raspodjele prometnog opterećenja na prometne trakove na kolniku moraju se uzeti u obzir s navedenim faktorima poprečnog presjeka f_{pp} , navedenim u tablici 8.

Tablica 8. Čimbenici koji utječu na raspodjelu prometnih opterećenja na prometne trake

Broj prometnih traka	Faktor raspodjele prometnog opterećenja na prometne trake					
	1,00		0,50		0,05	
1	1,00		1,00		1,00	
2	0,50		0,50		0,50	
3	0,50		0,05	0,45	0,45	
4	0,45	0,05	0,05	0,45	0,45	
5	0,45	0,05	0,02	0,08	0,40	0,40
6	0,40	0,08	0,02	0,02	0,08	0,40

U slučaju da postoji prometno opterećenje utvrđeno vaganjem na prometnoj traci, vrijednost faktora poprečnog presjeka za određeni prometni trak je $f_{pp} = 1.0$

Širina prometnog traka

Utjecaj širine prometnih traka na kolniku na prometno opterećenje mora se uzeti u obzir s faktorima f_{sp} navedenim u tablici 9.

Tablica 9. Čimbenici utjecaja širine prometnih traka na prometno opterećenje

Širina prometne trake (m)	Faktori širine prometne trake
< 2,50	2,00
2,50 – 2,75	1,80
2,76 – 3,25	1,40
3,25 , 3,75	1,10
≥ 3,75	1,00

Uzdužni nagib nivelete kolnika

Utjecaj (maksimalnog) uzdužnog nagiba nivelete na prometno opterećenje treba uzeti u obzir s f_{nn} faktorima navedenim u tablici 10.

Tablica 10. Čimbenici utjecaja uzdužnih nagiba nivelete kolnika na prometno opterećenje

Uzdužni nagib nivelete (%)	Faktor f_{nn} uzdužnog nagiba nivelete prometnice
< 2	1,00
Iznad 2 do 4	1,02
Iznad 4 do 5	1,05
Iznad 5 do 6	1,09
Iznad 6 do 7	1,14
Iznad 7 do 8	1,20
Iznad 8 do 9	1,27
Iznad 9 do 10	1,35
> 10	1,45

Dinamički utjecaji

Nastale oscilacije motornih vozila uslijed određenih nepravilnosti na cesti, te drugi karakteristični učinci vozila uvjetuju dodatno dinamičko opterećenje. Mogu se uzeti u obzir sa faktorom f_{dv} , koji iznosi:

- za dobre uvjete $f_{dv} = 1,03$
- za prosječne uvjete $f_{dv} = 1,08$

Vrijednosti f_{dv} faktora uglavnom ovise o kvaliteti izvedenih radova ili stanju kolnika.

2.2.4. Mjerodavno prometno opterećenje

Mjerodavno prometno opterećenje definirano je planiranim:

- ekvivalentnim dnevnim prometnim opterećenjem T_d ,
- dodatnim utjecajima karakteristika ceste i
- trajanju i godišnjem porastu prometa.

Procjena ekvivalentnog dnevnog prometnog opterećenja T_d definirano je u tablici 7., a dodatni učinci karakteristika ceste u tablicama 8., 9., i 10.

Trajanje i povećanje prometnog opterećenja

Planirano trajanje i povećanje prometnog opterećenja zbog porasta prometa u tom razdoblju mora se uzeti u obzir s f_{tp} faktorom, navedeni u tablici 11.

Pri proračunu prometnog opterećenja potrebno je potvrditi broj i strukturu vozila predviđen u prethodnoj studiji, posebno na dionicama cesta, gdje se može očekivati razvoj pretjerane promjene.

Tablica 11. Faktori povećanja prometnog opterećenja ovisno o planiranoj godišnjoj stopi porasta prometa i planirano trajanje

Predviđeno trajanje (godina)	Stopa godišnjeg porasta prometa (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktor povećanja prometnog opterećenja f_{tp}									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

Određivanje mjerodavnog prometnog opterećenja

Mjerodavno prometno opterećenje T_n mora se odrediti jednadžbom

$$T_n = 365 \times T_d \times f_{pp} \times f_{sp} \times f_{nn} \times f_{dv} \times f_{tp} \quad (17)$$

gdje je: T_n - mjerodavno prometno opterećenje za razdoblje od n godina

T_d - ekvivalentno dnevno prometno opterećenje

f_{pp} - faktor poprečnog presjeka kolnika

f_{sp} - faktor širine prometne trake

f_{nn} - faktor uzdužnog nagiba nivelete

f_{dv} - faktor dodatnih dinamičkih utjecaja

f_{tp} - faktor povećanja opterećenja prometa zbog porasta prometa tijekom trajanja

2.2.5. Klasifikacija prometnog opterećenja

Ovisno o broju prijelaza mjerodavnih osovinskih opterećenja po danu ili tijekom 20-godišnjeg trajanja, prometna opterećenja kolničke konstrukcije, koja su mjerodavna za određivanje dimenzija slojeva, razvrstana su u 6 grupa prometnog opterećenja.

Klasifikacija prometnog opterećenja dana je u tablici 12.

Tablica 12. Razvrstavanje prometnih opterećenja u skupine prometnih opterećenja

Grupa prometnog opterećenja	Broj prijelaza mjerodavnog osovinskog opterećenja od 100 kN	
	po danu	za 20 godina
Izuzetno teško	Preko 3.000	Preko 2×10^7
Vrlo teško	Preko 800 do 3.000	Preko 6×10^6 do 2×10^7
Teško	Preko 300 do 800	Preko 2×10^6 do 6×10^6
Srednje	Preko 80 do 300	Preko 6×10^5 do 2×10^6
Lako	Preko 30 do 80	Preko 2×10^5 do 6×10^5
Vrlo lako	Do 30	Do 2×10^5

2.3. SRPSKE SMJERNICE prema „Priručnik za projektiranje puteva u Republici Srbiji“ Beograd, 2012. [1]

Mjerodavno osovinsko opterećenje je opterećenje jednostruke osovine vozila s opterećenjem od 100 kN koje se prenosi kotačima na prometnu površinu.

2.3.1. Analiza prometa

Za određivanje prometnog opterećenja prometne konstrukcije potrebna je analiza prometa koja obuhvaća:

- određivanje prosječnog godišnjeg dnevnog prometa
- određivanje težina pojedinih osovina vozila
- procjenu iskoristivosti vozila

Prosječni godišnji dnevni promet

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu na postojećim državnim cestama, koji su utvrđeni na osnovu rezultata dobivenih brojanjem prometa na određenim karakterističnim poprečnim presjecima cesta, prikupljeni su, po pravilu, u nadležnim stručnim ustanovama.

Prosječan godišnji dnevni promet za izgradnju novih cesta se određuje na osnovu prometnih prognoza. Za manje opterećene ceste moguće je izvršiti samo procjenu prosječnog godišnjeg dnevnog prometa.

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu trebaju, po pravilu, obuhvati sljedeću kategorizaciju reprezentativnih motornih vozila:

- putnički automobili i karavani
- autobusi
- kamioni:
 - laki - nosivosti do 3 t
 - srednji – nosivosti 3 do 7 t
 - teški - nosivosti preko 7 t
 - teški s prikolicom i vučnim vozilom

Određivanje težine vozila

Određivanje stvarne težine motornih vozila i pojedinačnih osovinskih opterećenja moguće je izvršiti samo odgovarajućom metodom vaganja.

Vaganje može biti:

- statičko vaganje pomoću fiksnih ili pokretnih uređaja za vaganje
- dinamičko vaganje za vozila u pokretu (pri normalnoj brzini ili pri brzini do 10 *km/h* na posebnim platformama).

Za vaganje motornih vozila ili mjerenje pojedinačnih osovinskih opterećenja pogodni su samo oni postupci gdje se važu sva vozila ili barem reprezentativni uzorci navedenih vozila.

Na osnovu vaganja, osovinsko opterećenje motornih vozila je moguće kategorizirati u odgovarajuće razrede.

Rezultati dobiveni slaganjem motornih vozila ili mjerenjem osovinskih opterećenja procjenjuju se za jednostruke, dvostruke i trostruke osovine, kako bi se direktno mogli upotrijebiti za procjenu prometnog opterećenja na postojećim cestama, kao i za predviđanje prometnog opterećenja na novim cestama.

Ukoliko rezultati vaganja motornih vozila nisu reprezentativni, potrebno ih je pomoću određenih faktora ispraviti, uzimajući u obzir na primjer sezonski i/ili dnevni utjecaj.

Procjena stope iskorištenosti vozila

Ukoliko težine motornih vozila nisu utvrđena vaganjem, određivanje osovinskog opterećenja reprezentativnih vozila treba se izvršiti na osnovi određivanja njihove iskoristivosti.

2.3.2. Ekvivalentno prometno opterećenje

Zamor materijala kolničke konstrukcija ovisi o:

- karakteristikama motornog vozila:
 - osovinskog opterećenja
 - rasporedu osovina na vozilu
 - rasporedu kotača na osovine vozila
- broju opterećenja motornim vozilima, tj. prijelaza vozila kroz poprečni presjek prometnice.

Ekvivalentno osovinsko opterećenje

Osovinskog opterećenje motornog vozila treba pretvoriti u ekvivalentno prometno opterećenje.

Za kvantitativnu procjenu utjecaja različitih osovinskih opterećenja motornih vozila na zamor materijala prometne konstrukcije, primjenjuje se dopunjena jednadžba ASSHO Road Test-a:

$$FE_{nom} = 10^{-8} \times f_0 \times (f_k \times L_{stat})^4 \quad (18)$$

gdje je: FE_{nom} - faktor ekvivalencije utjecaja stvarnog osovinskog opterećenja motornog vozila na zamor u odnosu na utjecaj mjerodavnog osovinskog opterećenja od 100 kN.

f_0 - faktor rasporeda osovina na motornom vozilu:

za jednostruku osovinu $f_{o1} = 1,00$

za dvostruku i trostruku osovinu $f_{o2} = 0,7156$

f_k - faktora rasporeda kotača na osovini vozila:

za jednostruki kotač $f_{k1} = 1,0$

za dvostruki kotač $f_{k2} = 0,9$

za široki kotač $f_{k3} = 0,97$

Na osnovu navedenog vrši se izračunavanje faktora ekvivalencije osovinskih opterećenja motornih vozila koji je prikazan u tablici 13.

Tablica 13. Faktori ekvivalencije osovinskog opterećenja motornih vozila u odnosu na mjerodavno osovinskog opterećenja 100 kN

Osovinsko opterećenje kN	Faktor ekvivalencije					
	Pojedinačna/ jednostruka osovina			Dvostruka/ trostruka osovina		
	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač
4	0,000003	0,000002	0,000002	0,000002	0,000001	0,000002
6	0,000013	0,000009	0,000012	0,000009	0,000006	0,000009
8	0,000041	0,000027	0,000038	0,000029	0,000019	0,000027
10	0,000100	0,000066	0,000092	0,000072	0,000047	0,000066

Osovinsko opterećenje kN	Faktor ekvivalencije					
	Pojedinačna/ jednostruka osovina			Dvostruka/ trostruka osovina		
	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač	jednostruki kotač	dvostruki kotač	široki kotač
15	0,00051	0,00033	0,00047	0,00036	0,00024	0,00033
20	0,00160	0,00105	0,00148	0,00114	0,00075	0,00106
25	0,00391	0,00256	0,00360	0,00280	0,00183	0,00258
30	0,00810	0,00531	0,00747	0,00580	0,00380	0,00535
35	0,01501	0,00985	0,01384	0,01074	0,00705	0,00990
40	0,02560	0,01680	0,02361	0,01832	0,01202	0,01690
45	0,04101	0,02690	0,03782	0,02934	0,01925	0,02707
50	0,06250	0,04101	0,05765	0,04473	0,02934	0,04125
55	0,09151	0,06004	0,08440	0,06548	0,04296	0,06040
60	0,12960	0,08503	0,11954	0,09274	0,06085	0,08554
65	0,17851	0,11712	0,16465	0,12774	0,08381	0,11782
70	0,24010	0,15753	0,22146	0,17182	0,11273	0,15848
75	0,31641	0,20759	0,29184	0,22642	0,14855	0,20884
80	0,40960	0,26874	0,37780	0,29311	0,19231	0,27036
82	0,45212	0,29664	0,41702	0,32354	0,21227	0,29842
85	0,52201	0,34249	0,48148	0,37355	0,24508	0,34455
90	0,65610	0,43047	0,60517	0,46951	0,30804	0,43306
95	0,81451	0,53440	0,75127	0,58286	0,38241	0,53761
100	1,00000	0,65610	0,92237	0,71560	0,46951	0,66005
105	1,21551	0,79749	1,12114	0,86982	0,57069	0,80229
110	1,46410	0,96060	1,35044	1,04771	0,68740	0,96637
115	1,74901	1,14752	1,61323	1,25159	0,82117	1,15443
120	2,07360	1,36049	1,91262	1,48387	0,97357	1,36867
125	2,44141	1,60181	2,25188	1,74707	1,14625	1,61144
130	2,85610	1,87389	2,63438	2,04838	1,34095	1,88516
135	3,32151	2,17924	3,06365	2,37687	1,55946	2,19235
140	3,84160	2,52047	3,54337	2,74905	1,82365	3,53564
145	4,42051	2,90029	4,07733	3,16331	2,07545	2,91774
150	5,06250	3,32151	4,66949	3,62273	2,37687	3,34149

Ekvivalentno opterećenje vozila

Izračunavanje faktor ekvivalencije FE_v reprezentativnog motornog vozila vrši se pomoću sljedeće jednačbe:

$$FE_v = \sum FE_{nom} \quad (19)$$

Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna motorna vozila na gradskim cestovnim mrežama (s mjerodavnim osovinskim opterećenjima) prema tehničkoj regulativi za brojanje prometa, proračunane u prilogu 2, navedene su u tablici 14.

Tablica 14. Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila

Reprezentativno vozilo	Prosječan faktor ekvivalencije
– putničko	0,00003
– autobus	0,55
– kamion:	
• laki	0,004
• srednji	0,10
• teški	0,50
• teški sa prikolicom	0,90

Za mjerodavna motorna vozila na izvangradskoj cestovnoj mreži, proračun faktor ekvivalencije prikazan je u prilogu 2.

U slučajevima gdje je poznata vrsta motornih vozila koje prevladavaju na određenom putu, pa se ne vrši vaganje vozila, na osnovu navedenih jednačba moguće je odrediti odgovarajući faktor ekvivalencije FE_v .

Ukoliko sastav teških kamiona nije poznat, informativne vrijednosti navedene u tablici 15. moguće je uzeti za prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije FE_v za takva vozila.

Tablica 15. Prosječne informativne vrijednosti faktora ekvivalencije za kamione

Prosječan broj teških kamiona po danu	Prosječan faktor ekvivalencije
< 200	0,4
>200 – 1,000	0,6
> 1000	0,8

2.3.3. Prometno opterećenje

Dnevno prometno opterećenje, T_d

Određivanje dnevnog prometnog opterećenja je definirano načinom procjenjivanja prometnog opterećenja na prometnicama pomoću sljedeće jednadžbe:

$$T_d = \sum(FE_v \times n_v) \quad (20)$$

gdje je: FE_v - faktor ekvivalencije reprezentativnog vozila

n_v - broj reprezentativnih motornih vozila po danu

Dodatni faktori koji utječu na prometno opterećenje

Dodatni faktori koji utječu na prometno opterećenje ovise o karakteristikama prometnice:

- broju prometnih traka
- širini prometnih traka
- uzdužnim nagibom nivelete prometnice
- dinamičkim utjecajima

Broj prometnih traka

Utjecaj raspodjele prometnog opterećenja po prometnim trakovima na prometnici treba odrediti faktorima poprečnog presjeka f_{pp} , koje su navedene u tablici 16.

Tablica 16. Faktori raspodjele prometnog opterećenja f_{pp} po prometnim trakovima

Broj prometnih traka	Faktor f_{pp}					
	Raspodjela prometnog opterećenja na prometne trake					
1	1,00			1,00		
2	0,50			0,50		
3	0,50			0,05	0,45	
4	0,45	0,05		0,05	0,45	
5	0,45	0,05		0,02	0,08	0,40
6	0,40	0,08	0,02	0,02	0,08	0,40

Širina prometne trake

Utjecaj širine prometnog traka prometnice na prometno opterećenje treba odrediti faktorima f_{st} koji su navedene u tablici 17.

Tablica 17. Faktori utjecaj širine prometne trake f_{st} na prometno opterećenje

Širina prometne trake (m)	Faktori f_{st} širina prometne trake
< 2,50	2,00
2,50 – 2,74	1,82
2,75 – 3,24	1,40
3,25 – 3,74	1,10
≥ 3,75	1,00

Uzdužni nagib niveleta prometnice

Utjecaj (najvećeg) uzdužnog nagiba nivelete prometnice na promet treba odrediti faktorima f_{nn} koje su navedeni u tablici 18.

Tablica 18. Faktori utjecaja udužnog nagiba nivelete prometnice f_{nn} na prometno opterećenje

Uzdužni nagib nivelete (%)	Faktor f_{nn} uzdužnog nagiba nivelete prometnice
< 2	1,00
Iznad 2 do 4	1,02
Iznad 4 do 5	1,05
Iznad 5 do 6	1,09
Iznad 6 do 7	1,14
Iznad 7 do 8	1,20
Iznad 8 do 9	1,27
Iznad 9 do 10	1,35
> 10	1,45

Dinamički utjecaji

Njihanje motornog vozila koje nastaje kao posljedica neravnosti prometnice stvara dodatno dinamičko opterećenje, koje se može odrediti faktorom f_{du} , iznosi:

- u dobrim uvjetima vožnje $f_{du} = 1,03$
- u srednjim uvjetima vožnje $f_{du} = 1,08$

Vrijednosti faktora f_{du} uglavnom ovise o procjeni kvalitete izvedenih radova.

2.3.4. Mjerodavno prometno opterećenje

Mjerodavno prometno opterećenje se definira na osnovi:

- projektiranog ekvivalentnog dnevnog prometnog opterećenja, T_d
- dodatnih utjecaja koji nastaje kao posljedica karakteristika ceste
- trajanja i godišnjeg porasta prometa

Trajanje i povećanje prometnog opterećenja

Predviđeno trajanje i povećanje prometnog opterećenja zbog porasta prometa u projektiranom periodu treba odrediti faktorom f_{po} , koji je naveden u tablici 19.

Tablica 19. Faktori povećanja prometnog opterećenja f_{po} ovisni o projektiranom godišnjem porastu prometa i predviđenom trajanju prometa konstrukcije

Predviđena trajanje (godina)	Stopa godišnjeg porasta prometa (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktor povećanja prometnog opterećenja f_{po}									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

Određivanje mjerodavnog prometnog opterećenja

Određivanje mjerodavnog prometnog opterećenja T_n se izvodi na temelju sljedeće jednadžbe:

$$T_n = 365 \times T_d \times f_{pp} \times f_{st} \times f_{nn} \times f_{du} \times f_{po} \quad (21)$$

- gdje je:
- T_n - mjerodavno prometno opterećenje za period od n godina
 - T_d - ekvivalentno dnevno prometno opterećenje
 - f_{pp} - faktor poprečnog presjeka prometnice
 - f_{st} - faktor širine prometne trake
 - f_{nn} - faktor uzdužnog nagiba nivelete prometnice
 - f_{du} - faktor dodatnih dinamičkih utjecaja
 - f_{po} - faktor povećanja prometnog opterećenja zbog porasta prometa u projektiranom periodu

2.3.5. Kategorizacija prometnog opterećenja

U ovisnosti o broju prijelaza mjerodavnog osovinskog opterećenja po danu i u periodu od 20 godina, prometno opterećenje prometnica, koje je mjerodavno za određivanje karakteristika materijala, razvrstano je u 6 grupa prometnog opterećenja.

Kategorizacija prometnog opterećenja navedena je u tablici 20.

Tablica 20. Kategorizacija prometnog opterećenja u grupe prometnog opterećenja

Grupa prometnog terećenja	Broj prijelaza nominalnog osovinskog opterećenja od 100 kN	
	po danu	za 20 godina
Izuzetno teško	Preko 3.000	Preko 2×10^7
Vrlo teško	Preko 800 do 3.000	Preko 6×10^6 do 2×10^7
Teško	Preko 300 do 800	Preko 2×10^6 do 6×10^6
Srednje	Preko 80 do 300	Preko 6×10^5 do 2×10^6
Lako	Preko 30 do 80	Preko 2×10^5 do 6×10^5
Vrlo lako	Do 30	Do 2×10^5

2.4. USPOREDBA SMJERNICA

Na temelju prikazanog pregleda hrvatskih, slovenskih i srpskih smjernica u tablici 21. dana je usporedba smjernica prema bitnim parametrima određivanje ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija.

Tablica 21. Prikaz usporedbe parametara smjernica za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija

Parametri	Hrvatske smjernice	Slovenske smjernice	Srpske smjernice
standardna osovina	jednostruka s opterećenjem od 82 kN	jednostruka s opterećenjem od 100 kN	jednostruka s opterećenjem od 100 kN
ekvivalentne skupine vozila	teška teretna vozila	osobna vozila + teška teretna vozila	osobna vozila + teška teretna vozila
faktor rasporeda osovina na motornom vozilu	jednostruke dvostruke	jednostruke dvostruke trostruke	jednostruke dvostruke trostruke
faktora rasporeda kotača na osovini vozila	-	jednostruki dvostruki široki	jednostruki dvostruki široki
faktor ekvivalentnog prometnog opterećenja (osovine)	proračun f_e	tablice FE_v	tablice FE_v
faktor ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja (skupine vozila)	$F_e = \sum_{i=1}^k f_{e,i}$	$FE_v = \sum_{i=1}^k FE_i$	$FE_v = \sum_{i=1}^k FE_i$
PGDP (n_i)	podaci o brojanju	podaci o brojanju	podaci o brojanju
T_d	$\sum_{i=1}^k F_e \times n_i$	$\sum_{v=1}^k FE_v \times n_v$	$\sum_{v=1}^k FE_v \times n_v$
dodatni utjecaji (du)	broj prometnih traka, f_{pp}	broj prometnih traka, f_{pp} širina prometne trake, f_{sp} uzdužni nagib nivelete, f_{nn} dinamički utjecaji, f_{dv}	broj prometnih traka, f_{pp} širina prometne trake, f_{sp} uzdužni nagib nivelete, f_{nn} dinamički utjecaji, f_{du}

Parametri	Hrvatske smjernice	Slovenske smjernice		Srpske smjernice	
q - faktor povećanja prometnog opterećenja	stopa godišnjeg porasta prometa projektno razdoblje	stopa godišnjeg porasta prometa projektno razdoblje		stopa godišnjeg porasta prometa projektno razdoblje	
T_u	$365 \times T_d \times du \times q$	$365 \times T_d \times du \times q$		$365 \times T_d \times du \times q$	
grupe prometnog opterećenja	5 grupa	6 grupa		6 grupa	
	(prema T_u u projektom periodu dimenzioniranja)	po danu	u 20 godina	po danu	u 20 godina

Prema hrvatskim smjernicama ekvivalentna osovina je jednostruka osovina s opterećenjem od 82 kN koje je ravnomjerno raspoređeno na dva dvostruka kotača po 20,5 kN. Prema slovenskim i srpskim smjernicama mjerodavna osovina je jednostruka osovina s opterećenjem od 100 kN koje je ravnomjerno raspoređeno na dva dvostruka kotača po 25 kN.

Za proračun ukupnog prometnog opterećenja prema hrvatskim smjernicama uzima se vrijednost PGDP-a samo teških teretnih vozila, dok se prema slovenskim i srpskim smjernicama u obzir uzima i PGDP-a osobnih vozila.

Faktor ekvivalentnog prometnog opterećenja pojedinih osovina reprezentativnih vozila se proračunava za jednostruke i dvostruke osovine prema izrazu (1), odnosno izrazu (2) u hrvatskim smjernicama. U slovenskim i srpskim smjernicama postoje izrazi za faktor ekvivalentnog opterećenja jednostruke, dvostruke i trostruke osovine, no koriste se već izračunati faktori ekvivalencije iz priloga 2.

Faktor ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja dobije se kao zbroj faktora ekvivalentnog prometnog opterećenja pojedinih osovina kako prema hrvatskim, tako i prema slovenskim te srpskim smjernicama.

Od dodatnih utjecaja koji utječu na ekvivalentno prometno opterećenje u projektom razdoblju prema hrvatskim smjernicama uzima se u obzir samo utjecaj broja prometnih traka dok prema slovenskim i srpskim smjernicama u obzir se uzima i utjecaj širine prometne trake, utjecaj uzdužnog nagiba nivelete prometnice te dinamički utjecaji uzrokovani nepravilnostima na cesti i drugim karakterističnim učincima vozila.

Za ukupno ekvivalentno prometno opterećenje u projektom periodu dimenzioniranja, prema navedenim smjernica, u obzir treba uzeti prosječnu stopu godišnjeg povećanja prometa i projektirano razdoblje pomoću faktora povećanja prometnog opterećenja.

Prometno opterećenje, prema hrvatskim smjernicama, podijeljeno je u 5 grupa prometnog opterećenja prema veličini ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju dimenzioniranja. Prema slovenskim i srpskim smjernicama, prometno opterećenje podijeljeno je u 6 grupa prometnog opterećenja ovisno o ukupnom ekvivalentnom prometnom opterećenju po danu ili tijekom projektnog razdoblja od 20 godina.

Na temelju provedene usporedbe smjernica izvršen je proračun ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja prema projektnom zadatku. Zbog velikih sličnosti, skoro identičnih, slovenskih i srpskih smjernica, izvršen je proračun samo prema hrvatskim i srpskim smjernicama. Proračun je prikazan u sljedećem poglavlju.

3. IZRAČUN PROMETNOG OPTEREĆENJA

PROJEKTNI ZADATAK:

Za prosječan godišnji dnevni promet (PGDP) teretnih vozila za brojačko mjesto 3114 Karlovac na državnoj cesti D1 (dva prometna traka i dvosmjerni promet) u 2021. godini kao početnoj godini uporabe ceste i prosječnu godišnju stopu rasta broja teških teretnih vozila 2% potrebno je proračunati vrijednost ekvivalentnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju od 20 godina te odrediti grupu prometnog opterećenja za predmetno brojačko mjesto prema hrvatskim i srpskim smjernicama.

Podaci o brojačkom mjestu i PGDP raspoređeni po skupinama reprezentativnih vozila, prikazani su u tablici 22.

Tablica 22. PGDP po reprezentativnim skupinama vozila [4]

BROJAČKO MJESTO		OZNAKA CESTE	PGDP	SKUPINA VOZILA								
OZNAKA	IME			A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	C1
3114	Karlovac	D1	25309	187	22047	1174	354	276	220	142	777	132

U sustavu neprekidnog automatskog brojanja prometa u Hrvatskoj se koristi stacionarno automatsko brojilo tipa *QLD-6CX nano* koji razvrstava vozila u skupine navedene u tablici 23. [5]

Tablica 23. Skupine vozila stacionarnog automatskog brojila tipa *QLD-6CX nano* [6]

Skupina	Opis vozila u skupini
A1	motocikli
A2	osobna vozila sa ili bez prikolice
A3	kombi-vozila sa ili bez prikolice
B1	manja teretna vozila
B2	srednja teretna vozila
B3	teška teretna vozila
B4	teška teretna vozila s prikolicom
B5	tegljači
C1	autobusi

3.1. HRVATSKE SMJERNICE

Ekvivalentno prometno opterećenje reprezentativnih vrsta vozila

Vlastita težina praznog vozila i koristan teret pojedinog reprezentativnog vozila za svaku osovinu očitani su iz tablica u prilogu 1.

Vrijednosti korisnog tereta u proračunima odabrana je kao 70% pune vrijednosti zbog neiskorištenosti volumena odnosno praznog prostora.

Opterećenje po osovinaama određuje se kao zbroj vlastite težine praznog vozila i 70% korisnog tereta prema izrazu (22):

$$L_i = \sum_{i=1}^k W_{vozilo} + 0,7 \cdot W_{korisno} \quad (22)$$

Ekvivalentno prometno opterećenje, f_{e1} , za jednostruku osovinu računa se prema izrazu (1):

$$f_{e1} = \frac{L_1^4}{L_{ekv}^4} = \frac{L_1^4}{L_{82}^4} = \frac{L_1^4}{82^4} = 2,212 \cdot 10^{-8} \cdot L_1^4 \quad (1)$$

Ekvivalentno prometno opterećenje, f_{e2} , za dvostruku osovinu računa se prema izrazu (2):

$$f_{e2} = \frac{L_2^4}{L_{ekv}^4} = \frac{L_2^4}{L_{150}^4} = \frac{L_2^4}{150^4} = 1,975 \cdot 10^{-9} \cdot L_2^4 \quad (2)$$

gdje je: L_n – opterećenje proizvoljne osovine u kN

L_{ekv} – opterećenje standardne osovine u kN

Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje za pojedinu vrstu vozila, $F_{e,i}$, računa se kao zbroj ekvivalentnih prometnih opterećenja njegovih osovinama prema izrazu (3).

Prema opisanom postupku proveden je proračun faktora ekvivalentnog prometnog opterećenja reprezentativnih skupina vozila, a rezultati proračuna prikazani su u tablici 24.

Rezultati proračuna faktora ekvivalentnog prometnog opterećenja**Tablica 24.** Proračun određivanja ekvivalentnog prometnog opterećenja za pojedine vrste vozila

Vrsta vozila	Pozicija osovine	Tip osovine	Vlastita težina praznog vozila [kN]	Koristan teret [kN]	Koristan teret x 70% [kN]	Opterećenje po osovini [kN]	$f_{e,i}$	$F_{e,i}$
C1	prednja	jednostruka	33	14	9,8	42,8	0,074	1,239
	stražnja	jednostruka	67	26	18,2	85,2	1,165	
B1	prednja	jednostruka	14	3	2,1	16,1	0,001	0,009
	stražnja	jednostruka	13	17	11,9	24,9	0,008	
B2	prednja	jednostruka	29	6	4,2	33,2	0,027	0,186
	stražnja	jednostruka	21	44	30,8	51,8	0,159	
B3₁	prednja	jednostruka	30	20	14,0	44,0	0,083	0,821*
	stražnja	jednostruka	20	80	56,0	76,0	0,738	
B3₂	prednja	jednostruka	37	25	17,5	54,5	0,195	0,618
	stražnja	dvostruka	37	120	84,0	121,0	0,423	
B4₁	prednja	jednostruka	30	20	14,0	44,0	0,083	1,157*
	stražnja	jednostruka	20	80	56,0	76,0	0,738	
	prednja (prikolica)	jednostruka	17	59	41,3	58,3	0,256	
	stražnja (prikolica)	dvostruka	2x11,5	2x40,5	56,7	79,7	0,080	
B4₂	prednja	jednostruka	37	25	17,5	54,5	0,195	1,022
	stražnja	dvostruka	37	120	84,0	121,0	0,423	
	prednja (prikolica)	jednostruka	20	50	35,0	55,0	0,202	
	stražnja (prikolica)	jednostruka	20	50	35,0	55,0	0,202	
B5	prednja	jednostruka	40	20	14,0	54,0	0,188	1,320
	srednja	dvostruka	2x35	2x45	63,0	133,0	0,618	
	stražnja	dvostruka	2x25	2x55	77,0	127,0	0,514	

*Između dvije vrijednosti faktora ekvivalencije za skupine vozila B3₁ i B3₂ te B4₁ i B4₂, kao mjerodavna, odabrana je ona s većim pripadnim faktorom ekvivalencije.

PGDP reprezentativnih skupina vozila za zadano brojačko mjesto 3114 Karlovac

Vrijednosti PGDP-a po reprezentativnim skupinama vozila, n_i , iz projektnog zadatka zadane su za dva prometna traka (dvosmjernan promet). Vrijednosti su zadane u tablici 22.

Ukupno prometno opterećenje u projektnom razdoblju

Prosječno godišnje dnevno ekvivalentno prometno opterećenje pojedine skupine vozila, T_{di} , računa se kao umnožak faktora ekvivalencije pojedine skupine vozila i PGDP-a pojedine skupine vozila, zaokruženo na veći cijeli broj.

Ukupno prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje reprezentativnih vozila, T_d , u početnoj godini eksploatacije prometnice određuje se prema izrazu (4).

Ukupno prometno opterećenje reprezentativnih vozila u početnoj godini eksploatacije, T_g , određuje se prema izrazu (5).

Ukupno prometno opterećenje reprezentativnih vozila u projektnom periodu dimenzioniranja, T_u , određuje se prema izrazu (7). Prilikom proračuna uzima se u obzir raspodjela prometnog opterećenja po prometnim trakama prikazana u tablici 1. te prosječna godišnja stopu rasta reprezentativnih vozila od 2% u projektnom razdoblju 20 godina. Vrijednost faktora rasta prometa, $q = 25$, određuje se iz tablice 3.

Prema opisanom postupku proveden je proračun ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja reprezentativnih skupina vozila u projektnom razdoblju, a rezultati proračuna prikazani su u tablici 25.

Rezultati proračuna ukupnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju

Tablica 25. Proračun ukupnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju – hrvatske smjernice

Vrsta vozila	$F_{e,i}$	PGDP (n_i)*	T_{di}	T_d	T_g	T_u	Grupa prometnog opterećenja
C1	1,239	132	164	1592	581080	7263500 ~ $7,26 \cdot 10^6$	vrlo teško
B1	0,009	354	4				
B2	0,186	276	52				
B3	0,821	220	181				
B4	1,157	142	165				
B5	1,320	777	1026				

*za dva prometna traka (dvosmjernan promet)

Grupa prometnog opterećenja

Na temelju rezultata proračuna iz tablice 25. određuje se grupa prometnog opterećenja za brojačko mjesto Karlovac prema tablici 5. kao **vrlo teško** prometno opterećenje.

3.2. SRPSKE SMJERNICE

Ekvivalentno prometno opterećenje reprezentativnih skupina vozila

Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna motorna vozila prikazane su u prilogu 2 te se iste koriste u proračunu ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja reprezentativnih skupina vozila za projektno razdoblje.

PGDP reprezentativnih skupina vozila za zadano brojačko mjesto 3114 Karlovac

Vrijednosti PGDP-a po reprezentativnim skupinama vozila, n_v , iz projektnog zadatka zadane su u tablici 22.

Ukupno prometno opterećenje u projektnom razdoblju

Prosječno godišnje dnevno ekvivalentno prometno opterećenje pojedine skupine vozila, T_{di} , računa se kao umnožak faktora ekvivalencije pojedine skupine vozila i PGDP-a pojedine skupine vozila, zaokruženo na veći cijeli broj.

Ukupno prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje reprezentativnih vozila, T_d , u početnoj godini eksploatacije prometnice određuje se prema izrazu (20).

Dodatni faktori koji utječu na prometno opterećenje

Faktor utjecaja raspodjele prometnog opterećenja po prometnim trakama određen je prema tablici 16. i iznosi:

$$f_{pp} = 0,50$$

Faktor utjecaja širine prometne trake prometnice na prometno opterećenje određen je prema tablici 17. za pretpostavljenu širinu prometne trake 3,00 metra i iznosi:

$$f_{st} = 1,40$$

Faktor utjecaja uzdužnog nagiba nivelete prometnice na promet određen je prema tablici 18. za pretpostavljeni uzdužni nagib nivelete prometnice manji od 2% i iznosi:

$$f_{nn} = 1,00$$

Faktor utjecaja dinamičkog opterećenja određen je za pretpostavljene dobre uvjete vožnje i iznosi:

$$f_{du} = 1,03$$

Faktor povećanja prometnog opterećenja zbog utjecaja predviđenog trajanja i stope prosječnog godišnjeg porasta prometa od 2% u projektnom razdoblju 20 godina određuje se prema tablici 19. i iznosi:

$$f_{po} = 25$$

Ukupno prometno opterećenje reprezentativnih vozila u projektnom periodu dimenzioniranja, T_n , određuje se prema izrazu (21).

Prema opisanom postupku proveden je proračun ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja reprezentativnih skupina vozila u projektnom razdoblju, a rezultati proračuna prikazani su u tablici 26.

Rezultati proračuna ukupnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju

Tablica 26. Proračun ukupnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju – srpske smjernice

Vrsta vozila	FE_v	PGDP (n _v)*	T_{dv}	T_d	T_g	T_n	Grupa prometnog opterećenja
A2	0,00003	22047	1	1191	434715	7835738 ~ $7,84 \cdot 10^6$	vrlo teško
C1	0,550	132	73				
B1	0,004	354	2				
B2	0,170	276	47				
B3	0,674	220	149				
B4	1,149	142	164				
B5	0,971	777	755				

*za dva prometna traka (dvosmjernan promet)

Grupa prometnog opterećenja

Na temelju rezultata proračuna iz tablice 26. određuje se grupa prometnog opterećenja za brojačko mjesto Karlovac prema tablici 20. kao **vrlo teško** prometno opterećenje.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati proračuna faktora ekvivalencije prometnog opterećenja prema hrvatskim smjernicama daju više vrijednosti nego dani faktori ekvivalencije koji se koriste za proračun prometnog opterećenja prema srpskim smjernicama.

Prema provedenom proračunu može se zaključiti da je ekvivalentno dnevno prometno opterećenje veće prema hrvatskim smjernicama u odnosu prema srpskim smjernicama. Razlog navedenog su različita mjerodavna vozila i vrijednosti osovinskih opterećenja prema hrvatskim i srpskim smjernicama.

Na prikazanom primjeru ekvivalentno prometno opterećenje u projektnom razdoblju prema srpskim smjernicama veće je za 7,99% u odnosu na proračun prema hrvatskim smjernicama. Razlog su dodatni utjecaji koji se uzimaju u obzir prema slovenski i srpskim smjernicama i različito definirano standardno osovinsko opterećenje.

Prometno opterećenje, prema hrvatskim i srpskim smjernicama, određeno je kao vrlo teško prometno opterećenje.

Postupak određivanja prometnog opterećenja za potrebe dimenzioniranja kolničkih konstrukcija u Hrvatskoj se provodi u skladu s normom HRN U.C4.010 koja datira iz 1981. godine. U normi prikazana mjerodavna vozila i osovinska opterećenja nisu u skladu s današnjim konfiguracijama vozila i osovina te postoji potreba za njihovim usklađivanjem i prilagođavanjem današnjim potrebama. Slovenske i srpske smjernice usklađene su s današnjim konfiguracijama vozila i osovina te ih se može smatrati mjerodavnima za određivanje prometnog opterećenja za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija i u Hrvatskoj.

Rezultati proračuna pokazuju da današnje konfiguracije vozila manje oštećuju kolnik nego one koje su bile reprezentativne 80-tih godina prošlog stoljeća.

PRILOG 1 [2]

HRVATSKE SMJERNICE – Raspodjela opterećenja po osovina

Usvojeni podaci za reprezentativne vrste vozila – mase vozile i raspodjela opterećenja po osovina

C1 - AUTOBUS

- oznaka vozila: A₂
- broj osovina: 2
- nosivost: 40 kN



Raspodjela opterećenja po osovina	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
vlastita masa praznog vozila	33	33	67	67	100	100
koristan teret	14	35	26	65	40	100
ukupna masa punog vozila	47	34	93	66	140	100

B1 - LAKO TERETNO VOZILO

- oznaka vozila: LT₂
- broj osovina: 2
- nosivost: <30 kN (20 kN)



Raspodjela opterećenja po osovina	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
vlastita masa praznog vozila	14	52	13	48	27	100
koristan teret	3	15	17	85	20	100
ukupna masa punog vozila	17	36	30	64	47	100

B2 - SREDNJE TEŠKO TERETNO VOZILO

- Oznaka vozila: ST₂
- broj osovin : 2
- nosivost: 30 – 70 kN (50 kN)



Raspodjela opterećenja po osovina	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
vlastita masa praznog vozila	29	58	21	42	50	100
koristan teret	6	12	44	88	50	100
ukupna masa punog vozila	35	35	65	65	65	100

B3₁ - TEŠKO TERETNO VOZILO

- Oznaka vozila: TT₂
- broj osovin: 2
- nosivost: >70 kN (100 kN)



Raspodjela opterećenja po osovina	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
vlastita masa praznog vozila	30	60	20	40	50	100
koristan teret	20	20	80	80	100	100
ukupna masa punog vozila	50	33	100	67	150	100

B3₂ - TEŠKO TERETNO VOZILO

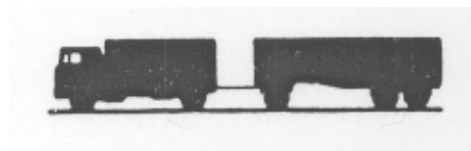
- Oznaka vozila: TT₃
- broj osovina: 3
- nosivost: >70 kN (145 kN)



Raspodjela opterećenja po osovinama	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
vlastita masa praznog vozila	37	50	37	50	74	100
koristan teret	25	17	120	83	145	100
ukupna masa punog vozila	60	27	2 x 80	73	220	100

B4₁ - TEŠKO TERETNO VOZILO S PRIKOLICOM

- Oznaka vozila: TT₂ + PR₃
- broj osovina: 2 + 3
- nosivost: 100 kN + 140 kN = 240 kN



	Raspodjela opterećenja po osovinama	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
		kN	%	kN	%	kN	%
teško teretno vozilo TT ₂	vlastita masa praznog vozila	30	60	20	40	50	100
	koristan teret	20	20	80	80	100	100
	ukupna masa punog vozila	50	33	100	66	150	100
prikolica PR ₃	vlastita masa prazne prikolice	17	42	2 x 11,5	58	40	100
	koristan teret	59	42	2 x 40,5	58	140	100
	ukupna masa pune prikolice	76	42	2 x 52	58	180	100

B4₂ - TEŠKO TERETNO VOZILO S PRIKOLICOM

- Oznaka vozila: TT₃ + PR₂
- broj osovinama: 3 + 2
- nosivost: 145 kN + 120 kN = 265 kN



	Raspodjela opterećenja po osovina	Prednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
		kN	%	kN	%	kN	%
teško teretno vozilo TT ₃	vlastita masa praznog vozila	37	50	37	50	74	100
	koristan teret	25	17	120	83	145	100
	ukupna masa punog vozila	60	27	2 x 80	73	220	100
prikolica PR ₂	vlastita masa prazne prikolice	20	50	20	50	40	100
	koristan teret	50	50	50	50	120	100
	ukupna masa pune prikolice	80	50	8.8	50	160	100

B5 - TEGLJAČ

- oznaka vozila: TTV₃ + PPR₂
- broj osovinama: 3 + 2
- nosivost: 220 kN



Raspodjela opterećenja po osovina	Prednja osovina		Srednja osovina		Zadnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%	kN	%
vlastita masa praznog vozila	40	25	2 x 35	44	2 x 25	31	160	100
koristan teret	20	9	2 x 45	41	2 x 55	50	220	100
ukupna masa punog vozila	60	16	2 x 80	42	2 x 80	42	380	100

PRILOG 2 [1]

SRPSKE SMJERNICE – Proračun faktora ekvivalencije

A2 - Proračun faktor ekvivalencije reprezentativnog putničkog automobila

- Nosivost vozila: 4 kN
- Kapacitet vozila: 4 osobe sa prtljagom

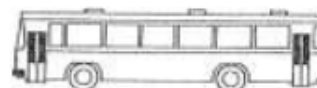


Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		5,5	0,000009	5,5	0,000009
polu natovareno		6,0	0,000013	6,0	0,000013
potpuno natovareno		7,5	0,000032	7,5	0,000032
	Dio %				
prazno		0,000005		0,000005	
polu natovareno		0,000004		0,000004	
potpuno natovareno		0,000003		0,000003	
Ukupno:		0,000012		0,000012	
				FE _v = 0,000024	

Putničko vozilo: FE_v ≈ 0,00003

C1 - Proračun faktora ekvivalencije reprezentativnog autobusa

- Nosivost vozila: 40 kN
- Kapacitet vozila: 50 putnika



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		50	0,06250	70	0,15753
polu natovareno		55	0,09151	85	0,34249
potpuno natovareno		60	0,12960	100	1,65610
	Dio %				
prazno		0,00313		0,00788	
polu natovareno		0,05491		0,20549	
potpuno natovareno		0,04536		0,22963	
Ukupno:		0,10340		0,44300	
				FE _v = 0,54640	

Autobus: FE_v ≈ 0,55

B1 - Proračun faktora ekvivalencije reprezentativnog lakog teretnog vozila

- Nosivost vozila: do 30 kN
- Kapacitet vozila: 25 kN



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		15,0	0,00051	10	0,00007
polu natovareno		17,5	0,00099	20	0,00105
potpuno natovareno		20,0	0,00160	30	0,00531
	Dio %				
prazno		25	0,00013	0,00002	
polu natovareno		25	0,00025	0,00026	
potpuno natovareno		50	0,00080	0,00266	
Ukupno:		0,00118		0,00294	
				FE _v =	0,00412

Lako teretno vozilo: $FE_v \cong 0,004$

B2 - Proračun faktora ekvivalencije reprezentativnog srednjeg teretnog vozila

- Nosivost vozila: 30 - 50 kN

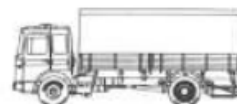
- Kapacitet vozila: 40 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno	20	0,00160	20	0,00105
polu natovareno	25	0,00391	35	0,00985
potpuno natovareno	30	0,00810	50	0,04101
	Dio %			
prazno	25	0,00040	0,00026	
polu natovareno	25	0,00098	0,00246	
potpuno natovareno	50	0,00405	0,02051	
Ukupno:		0,00543	0,02323	
			FE _v = 0,02866	

- Nosivost vozila: 50 - 70 kN

- Kapacitet vozila: 60 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno	30	0,00810	30	0,00531
polu natovareno	35	0,01501	55	0,06004
potpuno natovareno	40	0,01280	80	0,26874
	Dio %			
prazno	25	0,00203	0,00133	
polu natovareno	25	0,00375	0,01501	
potpuno natovareno	50	0,01280	0,13437	
Ukupno:		0,01858	0,15071	
			FE _v = 0,16929	

$$FE_{v1} : 0,02866 \times 50\% = 0,01433$$

$$FE_{v2} : 0,16929 \times 50\% = 0,08465$$

$$0,09898$$

Srednje teretno vozilo: $FE_v \cong 0,10$

B3 - Proračun faktora ekvivalencije reprezentativnog teškog teretnog vozila

- Nosivost vozila: > 70 kN

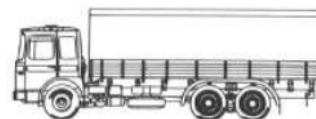
- Kapacitet vozila: 100 kN



Opterećenje vozila	Dio %	Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		40	0,02560	40	0,01680
polu natovareno		55	0,09151	75	0,15753
potpuno natovareno		70	0,24010	110	0,96060
	Dio %				
prazno	25	0,00640		0,00420	
polu natovareno	25	0,02288		0,03938	
potpuno natovareno	50	0,12005		0,48030	
Ukupno:		0,14933		0,52388	
				FE_v = 0,67321	

- Nosivost vozila: > 70 kN

- Kapacitet vozila: 140 kN (dvostruka osovina)



Opterećenje vozila	Dio %	Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		40	0,02560	2 x 20	2 x 0,00075
polu natovareno		55	0,09151	2 x 45	2 x 0,01925
potpuno natovareno		70	0,24010	2 x 75	2 x 0,14855
	Dio %				
prazno	25	0,00640		0,00038	
polu natovareno	25	0,02288		0,00963	
potpuno natovareno	50	0,12005		0,14855	
Ukupno:		0,14933		0,15856	
				FE_v = 0,30789	

$$FE_{v1} : 0,67321 \times 50\% = 0,33661$$

$$FE_{v2} : 0,30789 \times 50\% = 0,15395$$

$$0,49056$$

Teško teretno vozilo: $FE_v \cong 0,50$

B4 - Proračun faktor ekvivalencije reprezentativnog teškog teretnog vozila sa prikolicom

- Nosivost vozila: 50 - 70 kN
- Nosivost prikolice: 60 kN
- Kapacitet vozila: 60 kN
- Kapacitet prikolice: 60 kN



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		10	0,00010	10	0,00010
polu natovareno		25	0,00391	25	0,00391
potpuno natovareno		40	0,02560	40	0,02560
	Dio %				
prazno		25	0,00003	0,00003	
polu natovareno		25	0,00098	0,00098	
potpuno natovareno		50	0,01280	0,01280	
Ukupno:		0,01381		0,01381	
				FE _v =	0,02762

$$FE_{v1}: 0,09898$$

$$FE_{p1}: 0,02762$$

$$\hline 0,12660$$

- Nosivost vozila: > 70 kN
- Nosivost prikolice: 120 kN
- Kapacitet vozila: 100 kN
- Kapacitet prikolice: 120 kN



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		30	0,00531	30	0,00531
polu natovareno		60	0,08503	60	0,08503
potpuno natovareno		90	0,43047	90	0,43047
	Dio %				
prazno		25	0,00133	0,00133	
polu natovareno		25	0,02126	0,02126	
potpuno natovareno		50	0,21524	0,21524	
Ukupno:		0,23783		0,23783	
				FE _v =	0,47566

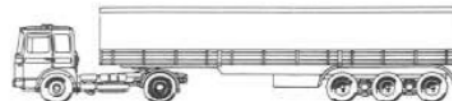
$$FE_{v1}: 0,67321$$

$$FE_{p2}: 0,47566$$

$$\hline 1,14887$$

B5 - Proračun faktor ekvivalencije reprezentativnog tegljača

- Nosivost vozila: > 70 kN
- Nosivost prikolice: 160 kN
- Kapacitet vozila: 140 kN
- Kapacitet prikolice: 160 kN



Opterećenje vozila	Prednja osovina		Zadnja osovina	
	L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno	40	0,01680	40 + 20	0,01202 + 0,00114
polu natovareno	70	0,15753	70 + 35	0,11273 + 0,01074
potpuno natovareno	100	0,65610	100 + 50	0,46951 + 0,04473
	Dio %			
prazno	25	0,00420	0,00301 + 0,00029	
polu natovareno	25	0,03938	0,02818 + 0,00269	
potpuno natovareno	50	0,32805	0,23476 + 0,02237	
Ukupno:		0,37163		0,29130
			FE _v =	0,66293

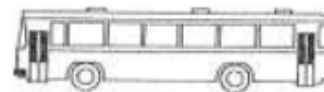
$$FE_{v2}: 0,30789$$

$$FE_{p3}: 0,66293$$

$$\hline 0,97082$$

C1 - Proračun faktora ekvivalencije mjerodavnog autobusa – bus (izvangradski)

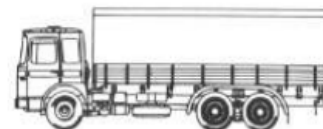
– Nosivost vozila: 60 kN



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		40	0,02560	80	0,26874
polu natovareno		52,5	0,07597	97,5	0,59291
potpuno natovareno		65	0,17851	115	1,14752
	Dio %				
prazno		5	0,00128		0,01344
polu natovareno		60	0,04558		0,35575
potpuno natovareno		35	0,06248		0,40163
Ukupno:		0,10934		0,77082	
				FE _v =	0,88016

Autobus: FE_{BUS} ≈ 0,90**B3 - Proračun faktora ekvivalencije mjerodavnog teretnog vozila – TV (izvangradski)**

– Nosivost vozila: 165 kN



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		40	0,02560	2 x 17,5	2 x 0,00044
polu natovareno		52,5	0,07597	2 x 52,5	2 x 0,03567
potpuno natovareno		65	0,17851	2 x 87,5	2 x 0,27522
	Dio %				
prazno		25	0,00640		0,00022
polu natovareno		25	0,01899		0,01784
potpuno natovareno		50	0,08926		0,27522
Ukupno:		0,10825		0,29328	
				FE _v =	0,40153

Teretno vozilo: FE_{TV} ≈ 0,40

B4 - Proračuni faktora ekvivalencije mjerodavnog vučnog vozila sa prikolicom – VVP (izvangradski)

- Nosivost prikolice: 120 kN
- Nosivost vozila: 165 kN



Opterećenje vozila		Prednja osovina		Zadnja osovina	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂
prazno		20	0,00160	20	0,00160
polu natovareno		50	0,06250	50	0,06250
potpuno natovareno		80	0,40960	80	0,40960
	Dio %				
prazno		25	0,00040	0,00040	
polu natovareno		25	0,01563	0,01536	
potpuno natovareno		50	0,20480	0,20480	
Ukupno:		0,22083		0,22083	
				FE _v =	0,44166

$$FE_v: 0,40153$$

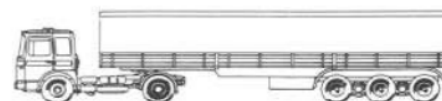
$$FE_{pr}: 0,44166$$

$$0,84319$$

Teretno vozilo sa prikolicom: $FE_{VVP} \cong 0,85$

B5 - Proračun faktor ekvivalencije modernog vučnog vozila sa poluprikolicom – TPP (izvangradski)

- Nosivost vozila: 260 kN



Opterećenje prikolice		Prednja osovina		Srednje osovina		Zadnja osovina (trostruka)	
		L ₁ (kN)	FE ₁	L ₂ (kN)	FE ₂	L ₃ (kN)	FE ₃
prazna		45	0,04101	45	0,02690	3 x 16,7	3 x 0,00049
polu natovarena		55	0,09151	80	0,26874	3 x 45	3 x 3,02707
potpuno natovarena		65	0,17851	115	1,14752	3 x 73,3	3 x 0,18318
	Dio %						
prazna		25	0,01025	0,00673		0,00037	
polu natovarena		25	0,02288	0,06719		0,02030	
potpuno natovarena		50	0,08926	0,57376		0,27477	
Ukupno:		0,12239		0,64768		0,29544	
				FE _{TPP} =		1,06551	

Vučno vozilo sa poluprikolicom: $FE_{TPP} \cong 1,05$

POPIS TABLICA

Tablica 1. Raspodjela prometnog opterećenja teških teretnih vozila po prometnim trakama	4
Tablica 2. Faktori ekvivalencije za jednostruke i dvostruke osovine vozila	6
Tablica 3. Faktori rasta prometa za različite projektne periode dimenzioniranja prometne konstrukcije i prosječne godišnje stope rasta broja teških teretnih vozila	8
Tablica 4. Točan broj standardnih osovina za teško teretno vozilo	9
Tablica 5. Podjela prometnog opterećenje na grupa.....	9
Tablica 6. Faktori ekvivalencije osovinskog opterećenja motornih vozila u odnosu na mjerodavno osovinskog opterećenja 100 kN.....	13
Tablica 7. Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila	15
Tablica 8. Čimbenici koji utječu na raspodjelu prometnih opterećenja na prometne trake	16
Tablica 9. Čimbenici utjecaja širine prometnih traka na prometno opterećenje	17
Tablica 10. Čimbenici utjecaja uzdužnih nagiba nivelete kolnika na prometno opterećenje.....	17
Tablica 11. Faktori povećanja prometnog opterećenja ovisno o planiranoj godišnjoj stopi porasta prometa i planirano trajanje	18
Tablica 12. Razvrstavanje prometnih opterećenja u skupine prometnih opterećenja	19
Tablica 13. Faktori ekvivalencije osovinskog opterećenja motornih vozila u odnosu na mjerodavno osovinskog opterećenja 100 kN.....	22
Tablica 14. Prosječne vrijednosti faktora ekvivalencije za reprezentativna vozila	24
Tablica 15. Prosječne informativne vrijednosti faktora ekvivalencije za kamione	24
Tablica 16. Faktori raspodjele prometnog opterećenja f_{pp} po prometnim trakovima	25
Tablica 17. Faktori utjecaj širine prometne trake f_{st} na prometno opterećenje	26
Tablica 18. Faktori utjecaja udužnog nagiba nivelete prometnice f_{nn} na prometno opterećenje 26	
Tablica 19. Faktori povećanja prometnog opterećenja f_{po} ovisni o projektiranom godišnjem porastu prometa i predviđenom trajanju prometa konstrukcije	27
Tablica 20. Kategorizacija prometnog opterećenja u grupe prometnog opterećenja	28
Tablica 21. Prikaz usporedbe parametara smjernica za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija	29

Tablica 22. PGDP po reprezentativnim skupinama vozila [10]	32
Tablica 23. Skupine vozila stacionarnog automatskog brojila tipa QLD-6CX nano [12]	32
Tablica 24. Proračun određivanja ekvivalentnog prometnog opterećenja za pojedine vrste vozila	34
Tablica 25. Proračun ukupnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju – hrvatske smjernice.....	36
Tablica 26. Proračun ukupnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju – srpske smjernice	38

LITERATURA

- [1] Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, 8 Konstruktivni elementi puta, 8.2 Kolovozne konstrukcije, Beograd, 2012., str. 3-18.
- [2] HRN U.C4.010, Projektovanje i građenje puteva, Određivanje ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja za dimenzioniranje asfaltnih kolovoznih konstrukcija, 1981., str. 877-885.
- [3] TSC 06.511 : 2009, Prometne obremenitve določitev in razvrstitev
- [4] Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2021., Zagreb, 2022., str. 71. [Na internetu]. Dostupno: https://hrvatske-ceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/1517/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2021.pdf [pristupano 20.09.2023.]
- [5] Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2021., Zagreb, 2022., str. 63. [Na internetu]. Dostupno: https://hrvatske-ceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/1517/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2021.pdf [pristupano 20.09.2023.]
- [6] Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2021., Zagreb, 2022., str. 64. [Na internetu]. Dostupno: https://hrvatske-ceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/1517/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2021.pdf [pristupano 20.09.2023.]