

Utjecaj načina određivanja prometnog opterećenja na dimenzioniranje kolničke konstrukcije

Burazin, Ivna

Master's thesis / Diplomski 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:237:354398>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ NAČINA ODREĐIVANJA PROMETNOG
OPTEREĆENJA NA DIMENZIONIRANJE KOLNIČKE
KONSTRUKCIJE**

Ivna Burazin

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ NAČINA ODREĐIVANJA PROMETNOG
OPTEREĆENJA NA DIMENZIONIRANJE KOLNIČKE
KONSTRUKCIJE**

Mentor:

Prof. dr. sc. Tatjana Rukavina

Student:

Ivna Burazin

SAŽETAK

Prometno opterećenje ima glavnu ulogu pri dimenzioniranju kolničke konstrukcije. Promet na cesti karakterizira velik broj različitih vrsta vozila koje se mogu uzeti u obzir pri projektiranju kolničke konstrukcije korištenjem faktora ekvivalencije. Korištenjem podataka o brojanju prometa i podataka o stvarnom prometnom opterećenju izmjenom WIM uređajem, dobit će se potpunija slika prometnog opterećenja i na taj način će izgradnja nove ili rekonstrukcija postojeće ceste biti kvalitetnija.

Diplomski rad bavi se problematikom utjecaja određivanja prometnog opterećenja na dimenzioniranje savitljive kolničke konstrukcije. Za razradu ove teme projektirana je kolnička konstrukcija državne ceste DC 43 izračunom prosječnog godišnjeg dnevnog prometnog opterećenja, pomoću podataka o brojanju prometa na brojačkom mjestu Narta – sjever, te koristeći rezultate o stvarno izmjenom prosječnom dnevnom prometnom opterećenju dobivenih mjerenjem prijenosnim SiWIM uređajem. Dimenzioniranje kolničke konstrukcije provedeno je prema normi HRN.U.C4.012.

Ključne riječi: kolnička konstrukcija, prometno opterećenje, dimenzioniranje

SUMMARY

Traffic load plays a pivotal role in dimensioning a pavement structure. Road traffic is characterized by a wide variety of vehicle types, which can be taken into consideration during dimensioning pavement structure using equivalence factors. By utilizing traffic count data and actual traffic loading data measured by a WIM device, a more comprehensive picture of traffic loading will be obtained, therefore improving the quality of constructing a new road or rehabilitating an existing one.

This graduation thesis deals with the issue of the impact of determining traffic load on the dimensioning of flexible pavement structures. To elaborate on this topic, a pavement structure for the state road DC 43 was designed by calculating the average annual daily



traffic load using traffic count data from the Narta - north counting point, and utilizing the results of the actual measured average daily traffic load obtained through a portable SiWIM device. Dimensioning of the pavement structure was carried out in accordance with standard HRN.U.C4.012.

Keywords: *pavement structure, traffic load, dimensioning*



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Diplomski rad
Kolegij: Kolničke konstrukcije
Ivna Burazin, 0082057137

Zahvala

Ovaj rad i cijelo moje visoko obrazovanje ne bi bilo moguće bez podrške moje obitelji i prijatelja, vjere u Gospodina i predane mentorice prof. dr. sc. Tatjane Rukavine. Stoga se zahvaljujem svima koji su dijelili moje staze prema ovom uspjehu.



Sadržaj

Popis slika	i
Popis tablica	ii
1. Uvod.....	1
2. Kolnička konstrukcija.....	2
3. Prometno opterećenje.....	4
3.1. Djelovanje prometnog opterećenja	4
3.2. Projektno prometno opterećenje.....	7
3.3. Ekvivalentno prometno opterećenja	12
3.4. Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila u pokretu prijenosnim SiWIM uređajem.....	16
4. Dimenzioniranje kolničkih konstrukcija.....	18
4.1. Metode za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija.....	19
4.2. HRN U.C4.012.....	24
5. Primjer dimenzioniranja kolničke konstrukcije korištenjem norme HRN U.C4.010 i usporedba s dimenzioniranjem kolničke konstrukcije dobivne s podacima WIM mjerenja 27	
5.1. Izračun prosječnog godišnjeg dnevnog prometnog opterećenja korištenjem norme HRN U.C4.010 i dimenzioniranje kolničke konstrukcije prema normi HRN U.C4.012	28
5.2. Izmjereno prosječno dnevno prometno opterećenje prijenosnim SiWIM uređajem, dimenzioniranje kolničke konstrukcije prema normi HRN U.C4.012 te provjera njene dimenzije prema metodi AASHO Road Testa.....	35
6. Zaključak.....	39
7. Literatura.....	40



Popis slika

Slika 1 Presjek savitljive kolničke konstrukcije.....	3
Slika 2 Odnos inflacijskog tlaka i veličine dodirne površine odnosno specifičnog opterećenja na dodirnoj površini [2].....	5
Slika 3 Utjecaj opterećenja kotača na naprezanje na posteljici (ispod kolničke konstrukcije) [2]	5
Slika 4 Utjecaj broja prijelaza osovina na potrebnu nosivost kolničke konstrukcije [2]	7
Slika 5 Standardna osovina	13
Slika 6 Opterećenje osovine	14
Slika 7 Instalirani prijenosni SiWIM uređaj na mostu [1]	18
Slika 8 Sheme vozila u AASHO pokusu [2]	20
Slika 9 Korelacijski nomogram za određivanje nosivosti tla S	23
Slika 10 Tipovi kolničkih konstrukcija iz norme HRN U.C4.012	24
Slika 11 Dijagram za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija za tip 1 iz norme HRN U.C4.012.....	26
Slika 12 Dijagram za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija za tip 2 iz norme HRN U.C4.012.....	26
Slika 13 Karta s položajem brojačkog mjesta AB 2108 Narta-sjever i WIM mjernog mjesta SW0098, Narta-izlaz	27
Slika 14 Dijagram za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koja se sastoji od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanih, mehanički zbijenih zrnatih kamenih materijala .	32
Slika 15 Koeficijenti zamjene za asfaltne slojeve.....	33
Slika 16 Odabrana kolnička konstrukcija	34
Slika 17 Dijagram za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koja se sastoji od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanih, mehanički zbijenih zrnatih kamenih materijala .	37
Slika 18 Odabrana kolnička konstrukcija	38

Popis tablica

Tablica 1 Štetno djelovanje različitog osovinskog opterećenja na kolničku konstrukciju .	6
Tablica 2 Raspodjela prometnog opterećenja teških teretnih vozila po prometnim trakovima	10
Tablica 3 Podaci o masi pravnog vozila, korisnog tereta i ukupnoj masi punog vozila ..	11
Tablica 4 Podjela prometnog opterećenja	16
Tablica 5 Skupine vozila	28
Tablica 6 Proračun faktora ekvivalencije reprezentativnih vrsta vozila	29
Tablica 7 Podaci o brojanju prometa na brojačkom mjestu 2108 Narta - sjever u 2022. godini [6].....	29
Tablica 8 Faktori povećanja prometnih opterećenja ovisno o planiranom životnom vijeku ceste i planiranom godišnjem prirastu prometa	30
Tablica 9 Proračun ukupnog broja prijelaza ekvivalentnih osovina u projektnom razdoblju za brojačko mjesto Narta – sjever	31
Tablica 10 Podaci o izmjerenom prosječnom dnevnom prometnom opterećenju SiWIM uređajem u razdoblju od 03.09.-10.09.2021. godine na WIM mjernom mjestu SW0098, Narta - izlaz	35
Tablica 11 Proračun ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja teretnih vozila u projektnom razdoblju za mjerno mjestu SW0098, Narta - izlaz	36

1. Uvod

Paralelno s razvojem i potrebama ljudske civilizacije dolazi do razvoja i usavršavanja cestovne infrastrukture. Posljednjih desetljeća projektiranje prometnica doživjelo je veliki uspon te osim zahtjeva koji se odnose na geometrijske elemente prometnice od velike je važnosti i ispunjenje zahtjeva kojim se osigurava pravilno projektirana kolnička konstrukcija. Upravljanje cestovnom infrastrukturom podrazumijeva osiguranje sigurnosti, učinkovitosti i održivosti što uključuje poznavanje i praćenje prometnog opterećenja. Poznavanje obujma i strukture prometnog opterećenja predstavlja značajan parametar za planiranje razvoja cestovne mreže. Svako odstupanje od standardnih veličina u pogledu ukupnog broj vozila i kategorije te osovinskog opterećenja i ukupne mase vozila ima dominantan utjecaj na brzinu procesa degradacije prometnice [1]. Također, svako to odstupanje može uzrokovati i velik financijski trošak koji nije poželjan. Da bi projektirana kolnička konstrukcija zadovoljila sve zahtjeve vezane uz prometno opterećenje potrebno je koristiti što više i što novije podatke.

Dimenzioniranje kolničke konstrukcije proces je koji uključuje određivanje debljine i materijala svakog sloja ceste kako bi se osigurala dugotrajnost, sigurnost i funkcionalnost prometnice. Treba osigurati zadovoljavajuću razinu uporabivosti gornjeg dijela kolničke konstrukcije (zastora) za predviđeni projektni period. Za provedbu dimenzioniranja glavnu ulogu ima prometno opterećenje te ništa manje važni sljedeći ulazni parametri: klimatski i hidrološki uvjeti, nosivost tla posteljice, predviđena razina usluge prometnice i kvaliteta materijala za izradu pojedinih slojeva kolničke konstrukcije. Kombinacijom podataka o obujmu i strukturi prometa i podataka o osovinskom opterećenju i ukupnoj masi vozila dobivena je potpunija slika prometnog opterećenja. Podaci o osovinskom opterećenju i ukupnoj masi vozila u pokretu i stvarnim brzinama mogu se dobiti prijenosnom SiWIM uređajem. S vremenom su se metode za dimenzioniranje sve više usavršile, a danas se u Republici Hrvatskoj za dimenzioniranje asfaltne kolničke konstrukcije koristi metoda po normi HRN U.C4.012.

Utjecaja načina određivanja prometnog opterećenja na dimenzioniranje kolničke konstrukcije prikazan je na primjeru državna cesta DC 43 s podacima za brojačkim mjestom Narta – sjever (knjiga: Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2022.) i podacima za mjerno mjesto Narta – izlaz (knjiga: Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila u prometu na cestama Republike Hrvatske). Na temelju provedene analize i dimenzioniranih kolničkih konstrukcija izvršena je usporeba i dan je završni komentar.

2. Kolnička konstrukcija

Gornji ustroj ceste odnosno kolnička konstrukcija uključuje sve ono što se nalazi iznad površine posteljice cijelom širinom kolnika. Kolničke konstrukcije sustavi su više cjelovitih slojeva određenih materijala koji su ugrađeni mehaniziranim načinom [2]. Zadaća kolničke konstrukcije je da preuzme i sigurno prenese i smanji prometno opterećenje do posteljice. S obzirom na statičko djelovanje pri prenošenju opterećenja, dijeli se na savitljive kolničke konstrukcije (s asfaltnom površinom) i krute kolničke konstrukcije (s betonskom površinom, tj. betonska ploča) [3].

Savitljive kolničke konstrukcije

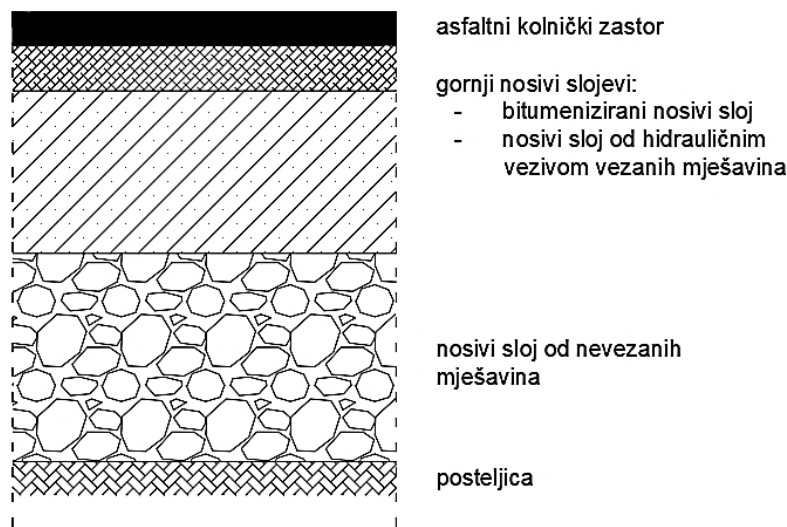
Savitljiva kolnička konstrukcija obično se sastoji od nekoliko slojeva materijala, a svaki sloj ima svoju specifičnu ulogu u raspodjeli opterećenja i očuvanju stabilnosti ceste. Ova kolničke konstrukcije sastoje se od asfaltnog zastora i nosivih slojeva vezanih nekim vezivom ili mehaničkim načinom ugradnje [2].

Tipični slojevi savitljive kolničke konstrukcije su:

- asfaltni zastor - habajući sloj i vezni sloj
- bitumenizirani nosivi sloj - najgornji sloj izrađen od znatog kamenog materijala vezanog bitumenom
- nosivi sloj od hidrauličnim vezivom vezanih mješavina - sloj od znatog kamenog materijala najčešće vezan cementom

- nosivi sloj od nevezanih mješavina - sloj od zrnatog kamenog materijala (šljunak ili drobljenog kamenog materijala) zbijenog mehanički, bez veznog sredstva (slika 1)

Ovakav sastav kolničke konstrukcije primjenjuje se za teška prometna opterećenja, dok se za lakša opterećenja može preskočiti sloj stabiliziran cementom pri čemu se bitumenski slojevi postavljaju neposredno na nosivi sloj od mehanički zbijenog zrnatog kamenog materijala.



Slika 1 Presjek savitljive kolničke konstrukcije

Debljine pojedinih slojeva variraju unutar sljedećih granica:

- 2 do 8 cm za habajući sloj
- 7 do 8 cm za vezni asfaltni sloj
- 5 do 12 cm za bitumenizirani nosivi sloj (BNS)
- 15 do 25 cm za cementom stabilizirani nosivi sloj (CNS)
- 20 do 25 cm za nosivi sloj od nevezanih mješavina [3].

Danas se sve više teži da kolnička konstrukcija bude u potpunosti izrađena od materijala vezanih određenim vezivima no mehanički zbijeni nosivi sloj je i dalje prisutan samo manje debljine nego nekada.

3. Prometno opterećenje

3.1. Djelovanje prometnog opterećenja

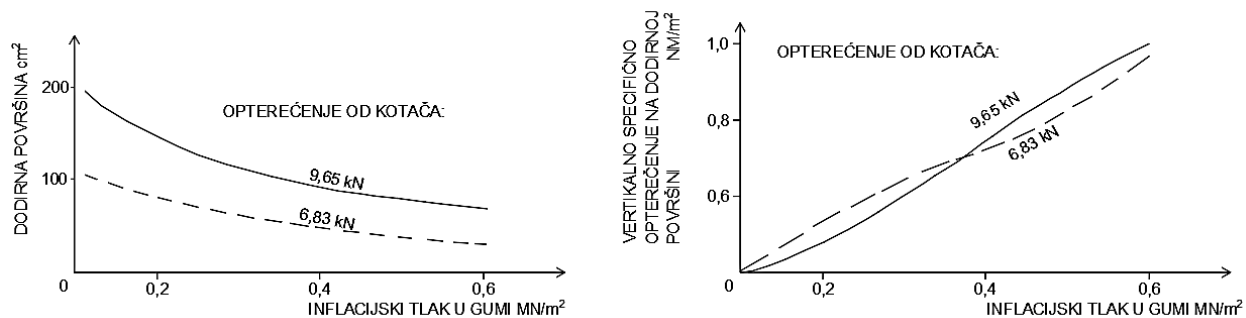
Ključni ulazni parametar za dimenzioniranja kolničke konstrukcije, određivanja vrste i debljine pojedinih slojeva koji osigurava da kolnički zastor zadovolji potrebne uvjete uporabljivosti tijekom planiranog projektnog razdoblja predstavlja prometno opterećenje. Na kolničku konstrukciju djeluje više čimbenika o kojima ovisi njezino ponašanje i vijek trajanja pa tako uz prometno opterećenje ne treba izostaviti i druge faktore a to su: nosivost tla posteljice, lokalne klimatske i hidrološke okolnosti, svojstva materijala predviđenih za izradu pojedinih slojeva, kvaliteta i ekonomičnost gradnje, predviđena razina usluge prometnice te sigurnost korisnika. Svi navedeni čimbenici direktno su ili indirektno vezani uz prometno opterećenje [1].

Opterećenje nastalo prilikom kretanja vozila po kolniku ili stajanja na kolniku prenosi se s vozila na kolnik preko kotača koji su različito opterećeni i koji su različitih obilježja. Tlak zraka u pneumaticu (gumi) naziva se inflacijski tlak i može biti promjenjive vrijednosti. Veličina inflacijskog tlaka ovisi o masi vozila tako da pneumatici težih vozila imaju veći inflacijski tlak nego pneumatici lakših vozila. Približni inflacijski tlakovi pojedinih vozila:

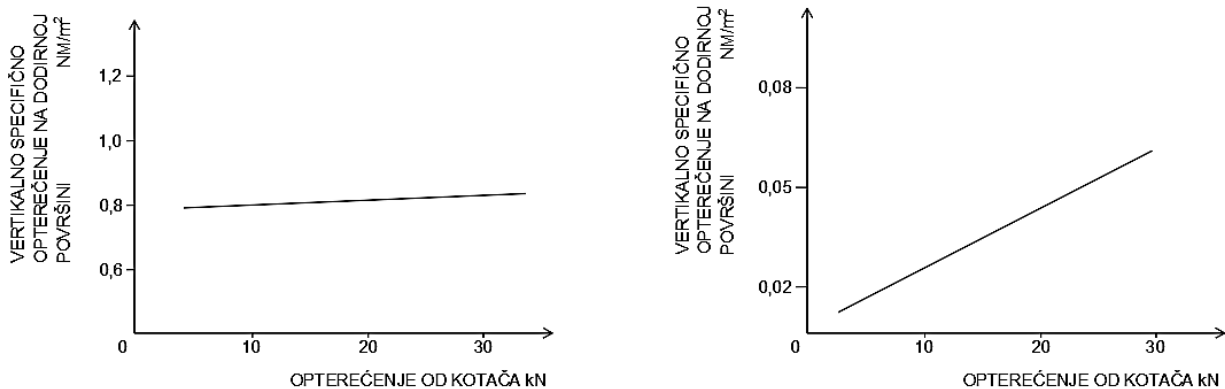
- kod osobnih automobila oko $0,2 \text{ MN/m}^2$
- kod srednje teških teretnih vozila oko $0,5 \text{ MN/m}^2$
- kod teških teretnih vozila oko $0,7 \text{ MN/m}^2$ [2].

Dodirna površina predstavlja površinu pneumatika u dodiru s površinom kolnika. Preko nje se prenosi cjelokupno opterećenje vozila koje se raspodjeljuje na osovinske kotače. Dodirna površina može biti različitog oblika što, osim o značajkama gume, ovisi i o opterećenju koje se prenosi s vozila na kotače te o inflacijskom tlaku [2]. Radi pojednostavljenja u analizama i proračunima uvedeno je jednoliko raspodijeljeno specifično opterećenje po kružnoj površini određenog radijusa. Prilikom promjene

inflacijskog tlaka mijenja se veličina dodirne površine i specifično opterećenje na to površini. Na slici 2 prikazani su karakteristični odnosi tih veličina.



Slika 2 Odnos inflacijskog tlaka i veličine dodirne površine odnosno specifičnog opterećenja na dodirnoj površini [2]



Slika 3 Utjecaj opterećenja kotača na naprezanje na posteljici (ispod kolničke konstrukcije) [2]

Na slici 3 prikazano je djelovanje opterećenja od kotača (pri stalnom specifičnom opterećenju na dodirnoj površini) na vertikalno tlačno naprezanje ispod kolničke konstrukcije odnosno na posteljici. Vidljivo je da porastom opterećenja naglo raste i vertikalno tlačno naprezanje što znatno utječe na ponašanje i vijek trajanja kolničke

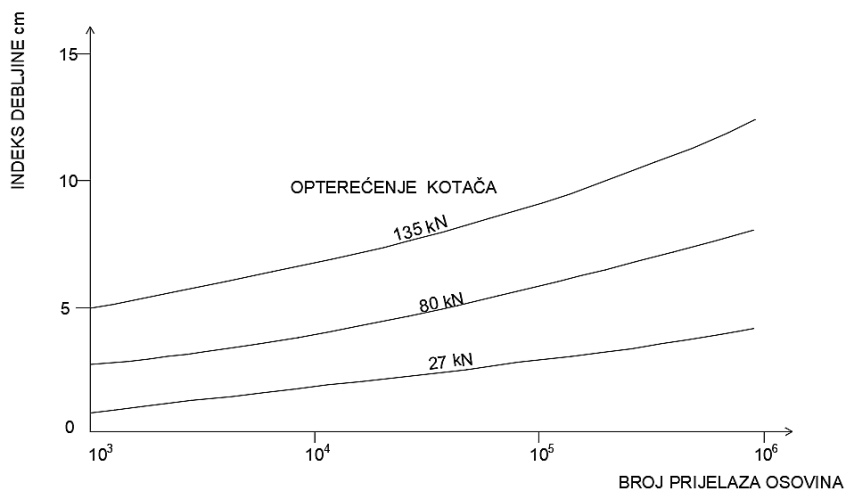
konstrukcije. Navedeni opisani odnosi nastali su mjerenjima u Velikoj Britaniji [2]. Djelovanje prometnog opterećenja na betonsku i asfaltnu kolničku konstrukciju detaljno je proučavano u okviru tzv. AASHO Road Testa. Ponašanje kolničkih konstrukcija pod prometnim opterećenjem izraženo je tzv. indeksom vozne sposobnosti p koji je detaljnije opisan u poglavlju 4.1. Zbog spomenutog indeksa uvedeno je jedinstveno vozilo. Obradom velikog broja podataka utvrđeno je da na kolničku konstrukciju utječu osovinsko opterećenje i broj prijelaza osovina. AASHO – pokusom u tablici 1 prikazani su faktori štetnog djelovanja na kolničku konstrukciju u ovisnosti o opterećenju osovine [2]. Za standardnu osovinu usvojeno je 80 kN koja je izražena vrijednosti faktora ekvivalentnog štetnog djelovanja 1, a ostale teže ili lakše osovine imaju vrijednosti faktora ekvivalentnog štetnog djelovanja različite od 1. Osovinsko opterećenje ima izrazito velik utjecaj na oštećenje kolničkoj konstrukciji što je vidljivo iz tablice 1 koja pokazuje da opterećenje od 80 kN ima pet tisuća puta veće djelovanje na konstrukciju nego osovina od 10 kN, odnosno dvadeset puta manje djelovanje na konstrukciju nego osovina od 160 kN.

Tablica 1 Štetno djelovanje različitog osovinskog opterećenja na kolničku konstrukciju

Osovinsko opterećenje [kN]	Faktor ekvivalentnog štetnog djelovanja
10	0,0002
20	0,002
40	0,07
60	0,3
80	1
100	2
120	5
140	12
160	20

Na slici 4 prikazan je utjecaj broja prijelaza osovinskog opterećenja na potrebnu nosivost kolničke konstrukcije koja je iskazana tzv. strukturnim brojem. Što je veći broj prijelaza

osovinskog opterećenja to je utjecaj na kolničku konstrukciju štetniji, odnosno potrebna je veća nosivost kolničke konstrukcije.



Slika 4 Utjecaj broja prijelaza osovina na potrebnu nosivost kolničke konstrukcije [2]

3.2. Projektno prometno opterećenje

Za potrebe dimenzioniranja novih ili ojačanja postojećih kolničkih konstrukcija, određuje se projektno prometno opterećenje [1]. Projektno prometno opterećenje je opterećenje koje se može se izraziti na dva načina kao:

- prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje (prosječni broj prijelaza ekvivalentnih 80 kN osovina tijekom 24 sata) u projektom razdoblju
- ukupno prometno opterećenje (ukupni broj prijelaza ekvivalentnih osovina) u projektom razdoblju.

Određivanje projektnog prometnog opterećenja predstavlja složen proces jer je potrebno predvidjeti prometno opterećenje koje bi se trebalo dogoditi u budućnosti [2]. Na veličinu projektog prometnog opterećenja veliki utjecaj ima projektno razdoblje. Projektno razdoblje vremenski je okvir tijekom kojeg se očekuje zadovoljavajuća funkcionalnost

kolničke konstrukcije, koje pretpostavlja mogućnost relativno jednostavnog izvršenja potrebnih popravaka prije njegovog isteka. Projektno razdoblje prometnice je obično 20 godina, ali može biti i 10 godina i za to vrijeme potrebno je vršiti održavanje. Ovisno o tome koje će biti projektno razdoblje, odredit će se veličina projektog opterećenja, a time i nosivost kolničke konstrukcije.

Prometna prognoza predstavlja temelj za određivanje projektog prometnog opterećenja. Jedan od najvažnijih parametara za izradu prometne prognoze jest brojanje prometa. Iz podatka o broju vozila određenih kategorija u nekom proteklom nizu može se odrediti model njihova kretanja za projektno razdoblje ceste. Takve prognoze ne mogu predvidjeti nagle promjene tokova prometa izazvane ratnim okolnostima, naftnim šokovima, brzim promjenama gospodarskih tokova i slično [1]. Izgradnja neke druge ceste na cestovnoj mreži također može uzrokovati promjenu prometnih tokova na promatranoj cesti pa se treba uzeti u obzir analiza prometa na široj cestovnoj mreži [2].

Prema normi HRN U.C4.010 za analizu prometnog opterećenja razmatraju se samo teška teretna vozila, tj. ona koja imaju pojedinačno osovinsko opterećenje veće od 20 kN dok se laka vozila zbog neznatnog utjecaja na kolnik, zanemaruju.

Analiza prometnog opterećenja obuhvaća:

- i. Prosječni godišnji dnevni broj teških teretnih vozila u predviđenoj početnoj godini uporabe ceste koji se određuje iz podataka o brojenju prometa, odnosno iz prometne prognoze. Ukoliko nema potrebnih podataka, prosječni godišnji dnevni broj vozila za manje opterećene ceste se procjenjuje. Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu na postojećim autocestama, brzim cestama i ostalim državnim cestama temeljeni na rezultatima brojanja prometa na odabranim karakterističnim poprečnim presjecima ceste su objavljeni u odgovarajućim publikacijama [4]. Podaci u pravilu sadržavaju sljedeću klasifikaciju reprezentativnih vozila:
 - osobna i kombinirana vozila,
 - autobusi,

- teretna vozila: - laka (s nosivošću do 3 tone)
 - srednja (s nosivošću od 3 do 7 tona)
 - teška (s nosivošću većom od 7 tona)
 - teška s prikolicom i kompenzacije – autovlak [4].
- ii. Prosječna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila koja se očekuje u projektnom razdoblju. Potrebno je uzeti u obzir širi prometni sustav [3].
- iii. Osovinsko opterećenje reprezentativnih vrsta vozila potrebno je odrediti na temelju podataka dobivenih odgovarajućim mjerenjima. Odgovarajuća mjerenja, odnosno vaganja mogu biti statička (s nepokretnim ili pokretnim vagama) i dinamička (za vozila u vožnji normalnih brzina ili brzina do 10 km/h na posebnim platformama) [4]. S obzirom da se takva mjerenja kod nas ne obavljaju, prilikom analize prometnog opterećenja i određivanja projektnog prometnog opterećenja prema normi HRN U.C4.010 koriste se podaci o masama praznih vozila, korisnom teretu (roba ili putnici koji se prevoze), masama natovarenih vozila i osovinskim opterećenjima pojedinačnih osovine [1]. Navedeni podaci za reprezentativna vozila nalaze se u tablicama koje su sastavni dio predmetne norme. Ovom normom obuhvaćena su samo dva tipa osovine, jednostruke i dvostruke, tandem osovine (na međusobnom razmaku između 1 i 2 metra). Trostruke, tridem osovine pri analizi se ne razmatraju [1]. Najveći korisni teret kojeg vozilo može prevoziti jest nosivost toga vozila.
- iv. Prosječna iskorištenost nosivosti teških teretnih vozila također je bitan parametar u analizi prometnog opterećenja jer pojedine vrste vozila na pojedinim područjima nisu jednako iskorištene. Zbog toga se stvarna iskorištenost određuje na temelju proučavanja prometa [2]. Iskorištenost nosivosti teretnog vozila definira se kao odnos mase korisnog tereta i nosivosti vozila te se u proračunima koristi prosječna iskorištenost nosivosti za teretna vozila koja iznosi 70%.
- v. Raspodjela prometnog opterećenja po prometnim trakama djeluje na veličinu projektnog prometnog opterećenja, a ovisi o broju prometnih traka u poprečnom



presjeku ceste, o geometrijskim elementima ceste, broju vozila i propusnoj moći [2]. Ako se ne raspolaže podacima određenim pomoću prometnih tokova, primjenjuju se podaci iz tablice 2 (podaci navedeni u normi HRN U.C4.010.). Za projektiranje kolničke konstrukcije usvaja se prometno opterećenje za najopterećeniji prometni trak.

Tablica 2 Raspodjela prometnog opterećenja teških teretnih vozila po prometnim trakovima

Broj prometnih trakova u poprečnom profilu ceste	Raspodjela prometnog opterećenja po prometnim trakovima %			
Jedan prometni trak (jednosmjerni promet)	100			
Dva prometna traka (dvosmjerni promet)	50		50	
Četiri prometna traka (dvosmjerni promet)	45	5	5	45
Četiri prometna traka, niveleta ceste u usponu većem od 4% (dvosmjerni promet)	45	5	-	50

U tablici 3 nalaze se podaci o masi praznog vozila, korisnog tereta te podaci o ukupnoj masi punog vozila. Navedeni podaci su za teška teretna vozila, teška teretna vozila s prikolicom i teško teretno vučno vozilo s poluprikolicom - tegljač.



Tablica 3 Podaci o masi pravnog vozila, korisnog tereta i ukupnoj masi punog vozila

Teško teretno vozilo
oznaka vozila: TT2
broj osovina: 2
nosivost: > 70kN (100kN)

Opterećenje	Raspodjela opterećenja					
	Prednja osovina		Stražnja 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

Teško teretno vozilo
oznaka vozila: TT3
broj osovina: 3
nosivost: >70kN (145kN)

Opterećenje	Raspodjela opterećenja					
	Prednja osovina		Stražnja 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	2x80	73	220	100

Teško teretno vozilo s prikolicom
oznaka vozila: TT2 +TT3
broj osovina: 2+3
nosivost: 100kN + 140kN = 240kN

Opterećenje	Raspodjela opterećenja					
	Prednja osovina		Stražnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
<i>Teško teretno vozilo TT2</i>						
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
<i>Prikolica PR3</i>						
Vlastita masa prazne prikolice	17	42	2x11,5	58	40	100
Koristan teret	59	42	2x40,5	58	140	100
Ukupna masa pune prikolice	76	42	2x52	58	180	100

Teško teretno vozilo s prikolicom
 oznaka vozila: TT3 + PR2
 broj osovina: 3+2
 nosivost: 145kN + 120kN = 265kN

Opterećenje	Raspodjela opterećenja					
	Prednja osovina		Stražnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
<i>Teško teretno vozilo TT2</i>						
Vlastita masa praznog vozila	37	50	37	50	74	100
Koristan teret	25	17	120	83	145	100
Ukupna masa punog vozila	60	27	2x80	73	220	100
<i>Prikolica PR3</i>						
Vlastita masa prazne prikolice	20	50	20	50	40	100
Koristan teret	50	50	50	50	100	100
Ukupna masa pune prikolice	80	50	80	50	160	100

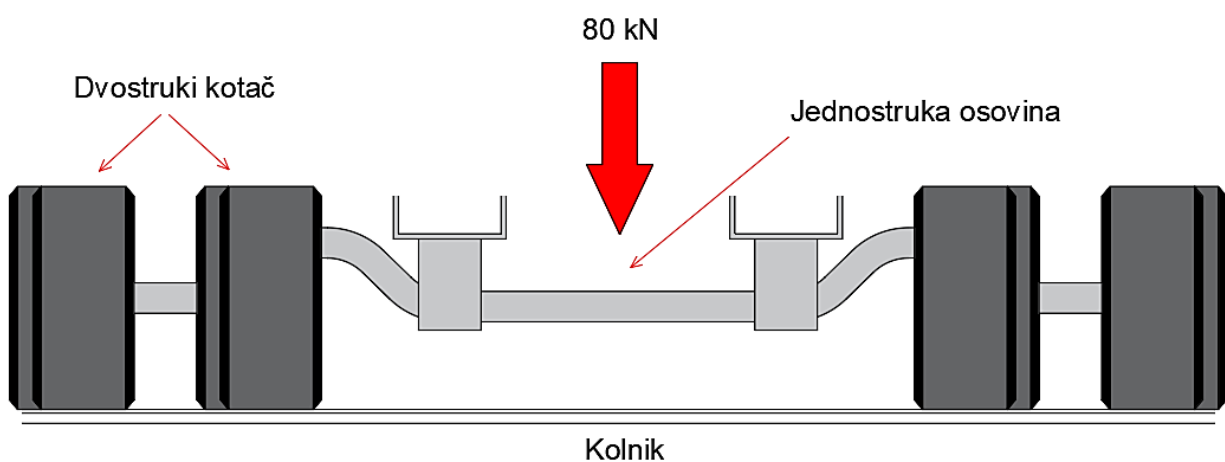
Teško teretno vučno vozilo s poluprikolicom - tegljač
 oznaka vozila: TTV3 + PPR2
 broj osovina: 3+2
 nosivost: 220kN

Opterećenje	Raspodjela opterećenja					
	Prednja osovina		Stražnja osovina		Ukupno	
	kN	%	kN	%	kN	%
Vlastita masa praznog vozila	40	25	2x3 5	31	160	100
Koristan teret	20	9	2x4 5	50	220	100
Ukupna masa punog vozila	60	16	2x8 0	42	380	100

3.3. Ekvivalentno prometno opterećenja

Zamor materijala slojeva kolničke konstrukcije ovisi o karakteristikama vozila (osovinskom opterećenju, rasporedu osovina po uzdužnoj osi vozila, rasporedu kotača na osovini) i broju prijelaza vozila preko poprečnog presjeka kolnika [4]. Radi

pojednostavljena proračuna prilikom dimenzioniranja kolničke konstrukcije, osovinsko opterećenje reprezentativnih teških teretnih vozila se pomoću odgovarajućih faktora ekvivalencije pretvara u tzv. ekvivalentno (normirano) osovinsko opterećenje od 80 kN. Faktori ekvivalencije osovina predstavljaju prosječne štetne utjecaje pojedinih osovinskih opterećenja vozila na kolničku konstrukciju u odnosu na utjecaj standardne osovine od 80 kN. Standardna osovina smatra se jednostruka osovina s opterećenjem od 80 kN koja ima po dva dvostruka kotača (slika 5) [1].



Slika 5 Standardna osovina

Faktori ekvivalencije osovina f_e po HRN U.C4.010 za asfaltne kolničke konstrukcije općenito se proračunava po zakonu četvrte potencije kao:

$$f_e = \frac{L_n^4}{L_{ekv}^4}$$

u kojem je L_n opterećenje proizvoljne osovine [kN], a L_{ekv} opterećenje standardne osovine [kN].

Izvedenica prethodnog odnosa ima sljedeći oblik:

- za jednostruke osovine

$$f_e = 2,212 \cdot 10^{-8} \cdot L_1^4$$

- za dvostruke osovine

$$f_e = 1,975 \cdot 10^{-9} \cdot L_2^4$$

- za trostruke osovine

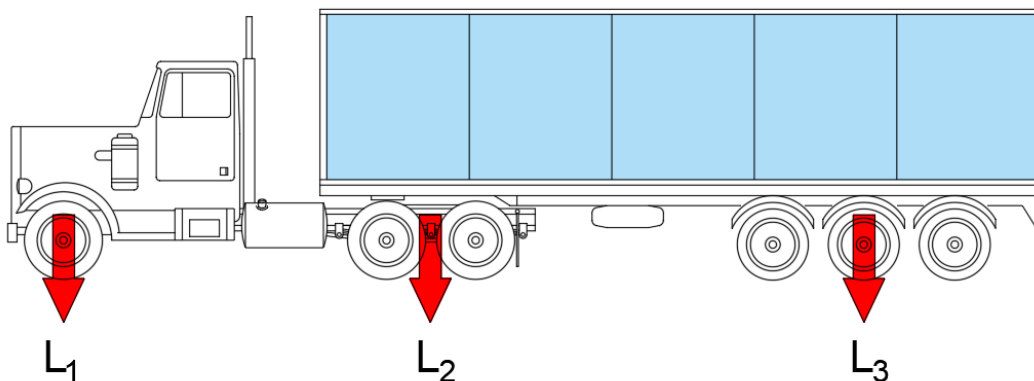
$$f_e = 4,800 \cdot 10^{-10} \cdot L_3^4 \quad [4]$$

gdje je:

L_1 – opterećenje jednostruke osovine (kN)

L_2 – opterećenje dvostruke osovine (kN)

L_3 – opterećenje trostruke osovine (kN) (slika 6).



Slika 6 Opterećenje osovine

Faktori ekvivalencije F_e za reprezentativne vrste teretnih vozila dobivaju se zbrajanjem faktora ekvivalencije f_e svih osovina pojedinog vozila unutar reprezentativne vrste prema izrazu:

$$F_e = \sum_{i=1}^k f_e^i$$

Faktori ekvivalencije izračunati prema prethodno navedenim izrazima prikazani su tablično i grafički u normi HRN U.C4.010.



Ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u projektnom razdoblju (T_u) određuje se iz prosječnog dnevnog broja teških teretnih vozila u početnoj godini upotrebe ceste (T_d) i prosječne godišnje stope rasta njihova broja:

- Prosječno godišnje dnevno ekvivalentno opterećenje na najopterećenijem prometnom traku T_d :

$$T_d = \sum_{i=1}^j (F_e \cdot n_i)$$

gdje je :

F_e – ukupni broj ekvivalentnih standardnih osovina za pojedine vrste teških vozila,
 n_i – prosječni godišnji dnevni broj pojedinih teških vozila u početnoj godini upotrebe ceste na najopterećenijem prometnom traku
 j – broj skupina vozila.

- Ukupno prometno opterećenje u početnoj godini uporabe ceste T_g :

$$T_g = T_d \cdot 365$$

- Faktor rasta prometa q u projektnom razdoblju:

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

gdje je:

p – projektno razdoblje dimenzioniranja kolničke konstrukcije u godinama
 i – 1,2,3,... p (godina)
 r – prosječna godišnja stopa rasta broja teških teretnih vozila.

Slijedi da je ukupno ekvivalentno prometno opterećenje teških teretnih vozila u projektnom razdoblju:

$$T_u = T_g \cdot q \cdot u = T_d \cdot 365 \cdot q \cdot u = T_d \cdot 365 \cdot \sum_{i=1}^p \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i \cdot u$$

gdje u predstavlja faktor raspodjele prometnog opterećenja teretnih vozila po prometnim trakovima za različite poprečne profile prometnice [1].

Ovisno o veličini ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja u projektnom razdoblju (20 godina) norma HRN.U.C4.010 je podijelila prometno opterećenje na određene skupine koje su prikazane u tablici 4.

Tablica 4 Podjela prometnog opterećenja

Skupina prometnog opterećenja	Broj prijelaza ekvivalentnog osovinskog opterećenja od 80 kN	
	na dan	u 20 godina
izuzetno teško	iznad 3000	iznad 2×10^7
vrlo teško	> 800 do 3000	$> 6 \times 10^6$ do 2×10^7
teško	> 300 do 800	$> 2 \times 10^6$ do 6×10^6
srednje	> 80 do 300	$> 6 \times 10^5$ do 2×10^6
lako	> 30 do 80	$> 2 \times 10^5$ do 6×10^5
vrlo lako	do 30	do 2×10^5

Opisani izračun ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja T_u prihvatljiv je samo u osnovnim koracima. Proračun faktora ekvivalencije za reprezentativne vrste teretnih vozila potrebno je unaprijediti uzimajući u obzir ne samo podatke brojanja prometa već i suvremeni način mjerenja ukupne mase i osovinskih opterećenja vozila [1].

3.4. Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila u pokretu prijenosnim SiWIM uređajem

Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila u pokretu definira se kao postupak mjerenja dinamičke sile kotača pokretnog cestovnog vozila i procjene ukupne mase vozila i udjela te mase koju nosi svaki kotač, osovina ili grupa osovina odgovarajućeg vozila u mirovanju [1]. Takva mjerenja moguće je obaviti koristeći

uređaje za vaganje vozila pokretu tzv. WIM (eng. Weight in Motion). Uređaj se može kombinirati s drugim sensorima pri čemu se dobije više podataka kao na primjer registracijska oznaka, broj kotača na osovini i slično.

Vaganje vozila u pokretu može se podijeliti na vaganje u pokretu pri malim brzinama i vaganje u pokretu pri velikim brzinama dok se WIM uređaji mogu podijeliti na prijenosne (mogu se brzo i jednostavno prenijeti s jedne na drugu lokaciju bez oštećenja i bez potrebe za ponovnim stavljanja u funkciju) i stacionarne (preseljenje uređaje zahtjeva duže vrijeme i značajna financijska sredstva) .

Prijenosni SiWIM uređaj namijenjen je za mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila na cestama pri stvarnim brzinama prometnog toka (slika 7) [1]. Kao što je već navedeno prednost ovog uređaja je mobilnost i brza instalacija. Uređaj se postavlja na most ili propust, a optimalni rasponi objekata na koje se postavljaju su od 3 m do 20 m. Osnovni dijelovi uređaja su: detektori osovina, mjerni senzori, modularno građene procesorsko signalne jedinice, GSM modul, kamera za fotografiranje, kablovi za povezivanje, napajanje i programske podrške [1]. Pomoću mjernih senzora mjere se naprezanja nastala uslijed progiba kolničke ploče mosta prilikom prolaza vozila. Podaci se obrađuju u signalno procesorskoj jedinici i pretvaraju u informacije o stvarnom opterećenju vozila.



Slika 7 Instalirani prijenosni SiWIM uređaj na mostu [1]

Podaci vozila koje uređaj prepoznaje razvrstani su u 6 grupa prema tipovima vozila:

- dvoosovinska motorna vozila,
- troosovinska motorna vozila,
- četveroosovinska motorna vozila,
- kamioni s prikolicom,
- tegljači s poluprikolicom i
- autobusi.

U početku su se mjerenja provodila u razdoblju od 7 dana, a danas se u velikoj većini provode u trajanju od 30 dana [1]. Za potrebe ovog rada u poglavlju 5.2 korišteni su rezultati mjerenja prijenosnim SiWIM uređajem za predmetnu prometnicu.

4. Dimenzioniranje kolničkih konstrukcija

Dimenzioniranje kolničke konstrukcije ključni je korak u planiranju i izgradnji prometnica. Ovaj proces uključuje određivanje debljine i materijala svakog sloja ceste kako bi se osigurala dugotrajnost, sigurnost i funkcionalnost prometnice.



Naglim razvojem automobilske industije u SAD-u su se pojavila teška teretna vozila za prijevoz tereta na veće udaljenosti. Zbog povećanja prometnog opterećenja javlja se potreba da se postojeća do tada tipska kolnička konstrukcija bez vezanog zastora ojača. Tridesetih godina prošlog stoljeća razvile su se prve metode dimenzioniranja kolničkih konstrukcija. Kasnije, za izradu pouzdanijih metoda, koriste se pokusne dionice. Na taj se način dugotrajnim prometnim ispitivanjima i iskustvima u SAD-u razvila AASHTO metoda. Takve metode danas se nazivaju empirijske metode. One se temelje na iskustvu i empirijskim podacima prikupljenim iz stvarnih cesta i njihovih performansi. Osnovna prednost ovih metoda je jednostavnost i praktična primjena. U novije se vrijeme uvode teorijske metode projektiranja koje se zasnivaju na izračunavanju naprezanja ili deformacija u pojedinim kritičnim presjecima konstrukcije i njihovoj usporedbi s nekim dopuštenim vrijednostima.

4.1. Metode za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija











Prva značajnija metoda za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija bila je **CBR-metoda** koja se temeljila na iskustvima dobivenim opažanjem ponašanja postojećih cesta izloženih prometnom opterećenju. Glavni parametar ove metode bila je nosivost tla izražena pomoću indeksa CBR. Za određeni indeks CBR posteljice i određeno opterećenje kotača dobivala se potrebna debljina kolničke konstrukcije. Nedostatak dijagrama jest što isključuje neke bitne pokazatelje kao što su prometno opterećenje ili vrsta materijala kolničke konstrukcije. Tijekom vremena se metoda poboljšala te su napravljene brojne modifikacije. Jedna od metoda bila je i metoda Grupnog indeksa koja je geomehaničkim klasifikacijskim pokusima određivala nosivost tla. Nosivost se izražavala tzv. grupnim indeksom koji se dobivao izračunom iz određenih elemenata granulometrijskog sastava i granica konzistencije tla. Bilo je tada i drugih metoda kao što je Sjeverna Dakota čiji su temelj bili iskustva opažanja postojećih cesta, što se pokazalo nedovoljnim za tražene rezultate. Noviji način uključio je izradu posebno građenih

pokusnih dionica opterećivanih intenzivnim prometom na kojima su obavljena potrebna opažanja.

Neke od pokusnih dionica su: kod Braunschweiga u Njemačkoj (1925.), WASHO Road Test u SAD (1950.) i kod Alconbury Hilla u Engleskoj (1965.).

AASHO Road Test ili "AASHO Road Test Highway Research Program" bio je značajan eksperimentalni projekt koji se provodio od 1956. do 1961. godine u Sjedinjenim Američkim Državama. AASHO Road Test imao je za cilj dublje razumijevanje ponašanja kolničkih konstrukcija pod stvarnim uvjetima prometa. Projekt se sastojao od izgradnje posebnog istraživačkog ispitnog poligona u blizini Ottawe, Illinois, koji je simulirao različite uvjete cesta u Sjedinjenim Američkim Državama. Pokus je obuhvatio izradu četiri velika i dva manja prstena s nekoliko stotina savitljivih (sjeverna strana) ali i krutih konstrukcija (južna strana). Prsteni su se različito opteretili te su se po vanjskim prometnim trakama kretala vozila s jednostrukim osovinama, a po unutrašnjim vozila s dvostrukim osovinama.

Na slici 8 nalaze se sheme vozila koja su se kretala po dionici. Težilo se da posteljica bude što ujednačenija i imala je kalifornijski indeks nosivosti CBR = 3% [2].

Prsten	Kolnik	Opterećenje u kN	
		prednja osovina	stražnja osovina
2	1  prednja stražnja	9	9
	2 	9	26
2	1  prednja stražnja stražnja	17,6	53
	2  prednja stražnja stražnja	26	107
2	1  stražnja	27	80
	2 	40	142
2	1  stražnja	27	100
	2 	41	177
2	1  stražnja	41	133
	2 	54	214

Slika 8 Sheme vozila u AASHO pokusu [2]

Slojevi kolničkih konstrukcija:

- za savitljive kolničke konstrukcije: asfaltni zastor, nosivi sloj od drobljenog kamenog materijala i nosivi sloj od šljunčanog materijal
- za krute kolničke konstrukcije: bestonska ploča i šljunčana podloga.

Debljine slojeva kod savitljive kolničke konstrukcije: asfaltni zastor od 2,5 cm do 15 cm, nosivi sloj od drobljenog kamenog materijala od 0 do 23 cm.

Debljine slojeva kod krute kolničke konstrukcije: betonska ploča 6 cm do 32 cm i šljunčana podloga od 0 do 23 cm.

Daljnjom razradom pokusa utvrđeno je da se promet odvijao po prstenovima po 17 sati dnevno. Na svakom prstenu provedeno je 1.114.000 prijelaza osovina pri čemu su se vozila kretala približnom brzinom od 56 km/h. Na pokusu je radilo mnogo suradnika pri čemu su se svakodnevno mjerili: pukotine, ulegnuća, kolotrazi, pojave “pumpanja” (na razdjelnicama), poprečni profili, promjene debljine slojeva, temperatura, vlaga i naprezanja u konstrukciji [2].

Opsežni podaci koji su bili na raspolaganju uspostavljeni su u vezu oblika:

$$p = f(L, A, W, D) \text{ i}$$

$$p = p_o - (p_o - p_t) \left(\frac{W}{\rho}\right)^\beta ,$$

gdje je:

p – indeks vozne sposobnosti kolnika

p_o – početni indeks vozne sposobnosti kolnika (za savitljive kolnike iznosio je 4,2, a za kruze 4,5)

p_t – konačni indeks vozne sposobnosti kolnika (u pokusu AASHO maksimalni **p_t** je bio 1,5, a onda je promet obustavljen)

β , ρ - funkcije L, A i D_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)

Vrijednosti indeksa vozne sposobnosti u rasponu su od 5,0, za idealni novi kolnik, do 0, za potpuno uništen kolnik.

Za savitljivu kolničku konstrukciju:

$$p = 4,2 - 2,7 \left(\frac{W}{\rho} \right)^\beta,$$

Za krutu kolničku konstrukciju:

$$p = 4,5 - 3,0 \left(\frac{W}{\rho} \right)^\beta.$$

AASHO metoda za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija predstavlja empirijsku metodu te se pojedini parametri i elementi za dimenzioniranje određuju na poseban način (prometno opterećenje, vozna sposobnost kolnika, projektno razdoblje, regionalni faktor, nosivost tla i strukturni broj).

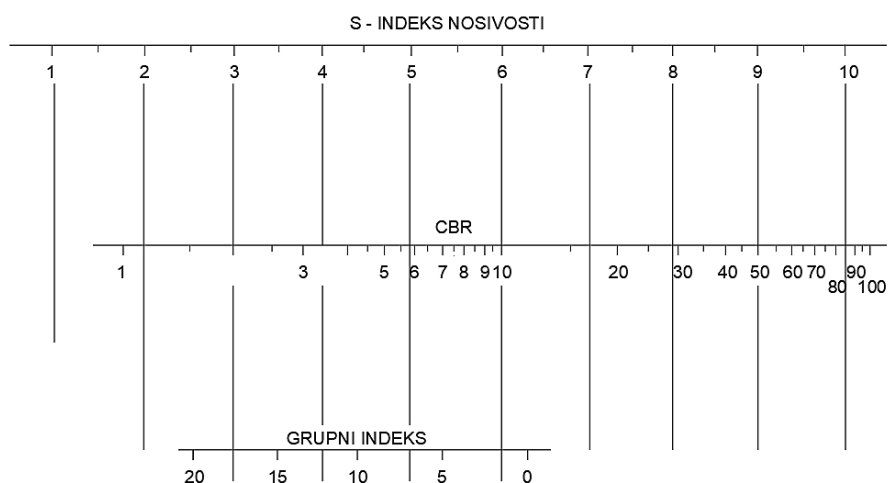
U postupku dimenzioniranja *prometno opterećenje* izražava se kao prosječan broj prijelaza ekvivalentnih osovina tijekom 24 sata u projektnom razdoblju ili kao ukupan broj prijelaza takvih osovina u projektnom razdoblju. Ukupno opterećenje se preračunava na ekvivalentne osovine pomoću faktora ekvivalencije [1].

Vozna sposobnost kolnika uvedena je kao jedinstvena mjera za stanje kolnika. Indeks vozne sposobnosti kolnika p definira se ocjenom stanja površine kolnika na temelju neravnina, kolotruga, pukotina i površinskih oštećenja. Vrijednost indeksa kreće se od 5, za idealno ravan kolnik, do 0, za potpuno neuporabljiv kolnik. S vremenom korištenja ceste, indeks vozne sposobnosti se smanjuje zbog čega je potrebno obnoviti kolničku konstrukciju. Najmanji indeks vozne sposobnosti koji se dopušta jest 2,5 (za autoceste) do 2,0 (za ostale ceste). Za vrijednosti manje od najmanje navednih potrebna je potpuna rekonstrukcija kolničke konstrukcije [2].

Projektno razdoblje vremenski je period izražen u godinama za koje je kolnička konstrukcija dimenzionirana. Pri kraju projektnog razdoblja kolnička konstrukcija se može racionalno popraviti i osposobiti za daljnju upotrebu. Treba razlikovati projektno razdoblje od trajnosti kolnika, odnosno vremena kada dolazi do potpunog propadanja kolničke konstrukcije ($p = 0$). Prema metodi AASHO vrijednost projektnog razdoblja se uzima 20 godina za koje su načinjeni nomogrami za dimenzioniranje kolničke konstrukcije.

Regionalni faktor uzima u klimatsko – hidrološke uvjete i njegova vrijednost se kreće od 0,5 do 5,0, pri čemu su veće vrijednosti nepovoljnije. faktor uzima u obzir utjecaj klime (smrzavanje, vodu) i njegova vrijednost se kreće od 0,5 do 5,0, pri čemu su veće vrijednosti nepovoljnije. Za naše kontinentalno područje uzima se veličina regionalnog faktora od 1,5 do 2,0.

Nosivost tla određuje se ispitivanjem kalifornijskog indeksa nosivosti CBR ali se može odrediti i pomoću grupnog indeksa na temelju klasifikacijskih geomehaničkih pokusa. Za daljnji proračun se vrijednosti CBR-a ili grupnog indeksa svode na veličinu “S” pomoću nomograma kako je prikazano na slici 9.



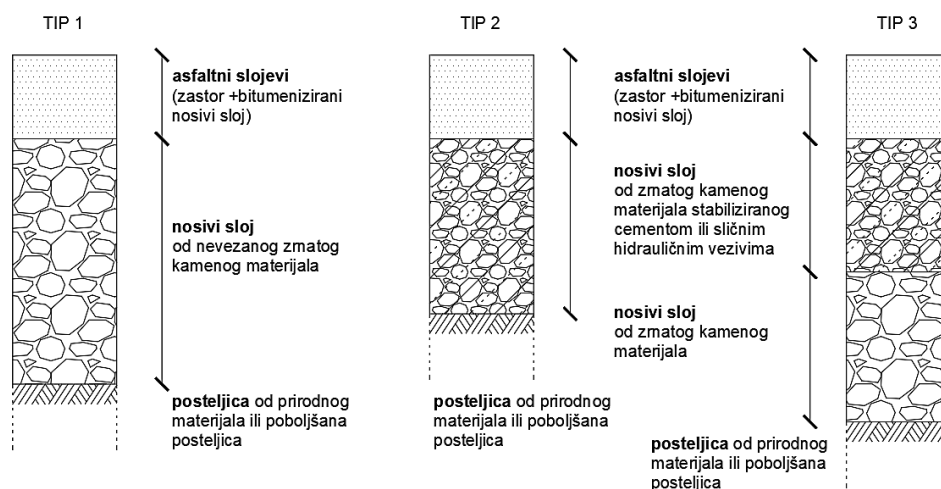
Slika 9 Korelacijski nomogram za određivanje nosivosti tla S

4.2. HRN U.C4.012.

Norma HRN U.C4.012 predstavlja empirijsku metodu je za dimenzioniranje asfaltne kolnike konstrukcije u Republici Hrvatskoj. Za formiranje norme korištena je metoda AASHO. Za razliku od AASHO metode, kod metode HRN U.C4.012 se potrebna debljina pojedinih slojeva određuje neposredno [2].

HRN U.C4.012 razvrstaje kolničku konstrukciju u tri tipa (slika 10) koji se razlikuju prema vrsti nosive podloge ispod asfaltnih slojeva ovisno o primjeni i kombinaciji određenih vrsta materijala i njihovoj kvaliteti [5]. Ovisno o prometnom opterećenju koristi se:

- Tip 1 → za lako prometno opterećenje
- Tip 2 → za srednje prometno opterećenje
- Tip 3 → za teško i vrlo teško prometno opterećenje



Slika 10 Tipovi kolničkih konstrukcija iz norme HRN U.C4.012

Za postupak dimenzioniranja kolničke konstrukcije koriste se sljedeći utjecajni parametri:

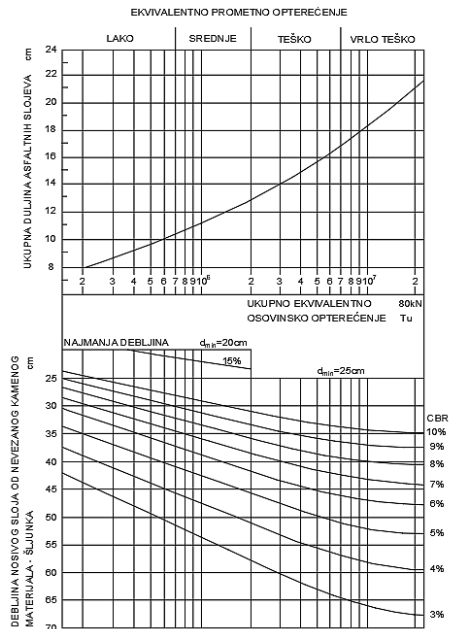
1. projektno razdoblje,
2. prometno opterećenje,



3. vozna sposobnost površine kolnika na kraju projektnog razdoblja (radi pojednostavljenja parametar je uzet konstantni, $p = 2,5$),
4. lokalni uvjeti (radi pojednostavljenja parametar je uzet konstantni, $R = 2,0$),
5. nosivost materijala posteljice
6. kvaliteta materijala primjenjena u kolničkoj konstrukciji

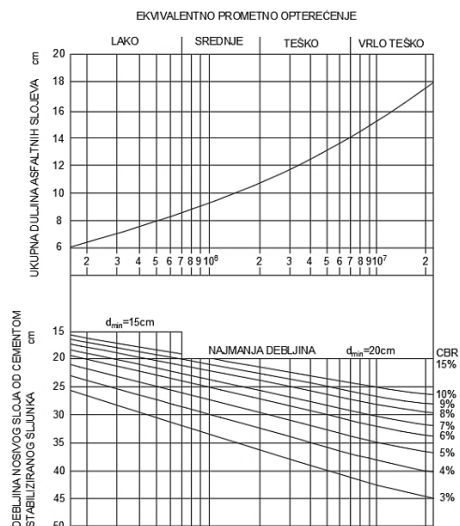
Dimenzioniranje kolničke konstrukcije provodi se za usvojeno projektno razdoblje od 20 godina pri čemu je moguće uzeti i kraće ali ne kraće od 5 godina niti duže od 20 godina. Prometno opterećenje određuje se prema normi HRN U.C4.010, a izražava se ekvivalentnim osovinskim opterećenjem od 80 kN. Nosivost posteljice izražava se kalifornijskim indeksom nosivosti CBR. Za dimenzioniranje kolničke konstrukcije mogu se primijeniti svi materijali predviđeni odgovarajućim hrvatskim normama. Vrijednosti materijala određuju se pomoću odgovarajućih koeficijenata zamjene. Za idejna rješenja mogu se primijeniti prosječni koeficijenti zamjene dok se za glavne projekte koeficijenti zamjene dobivaju iz dijagrama (asfaltne mješavine u ovisnosti o Marshallovom stabilitetu, cementom stabilizirane mješavine pomoću sedmodnevne tlačne čvrstoće i nevezani zrnati materijali pomoću CBR-a) [2]. Dijagrami za određivanje spomenutih koeficijenata zamjene nalaze se u normi HRN U.C4.012.

Na slici 11 nalazi se dijagram za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koje se sastoje od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanih, mehanički zbijenih zrnatih kamenih materijala za tip 1.



Slika 11 Dijagram za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija za tip 1 iz norme HRN U.C4.012

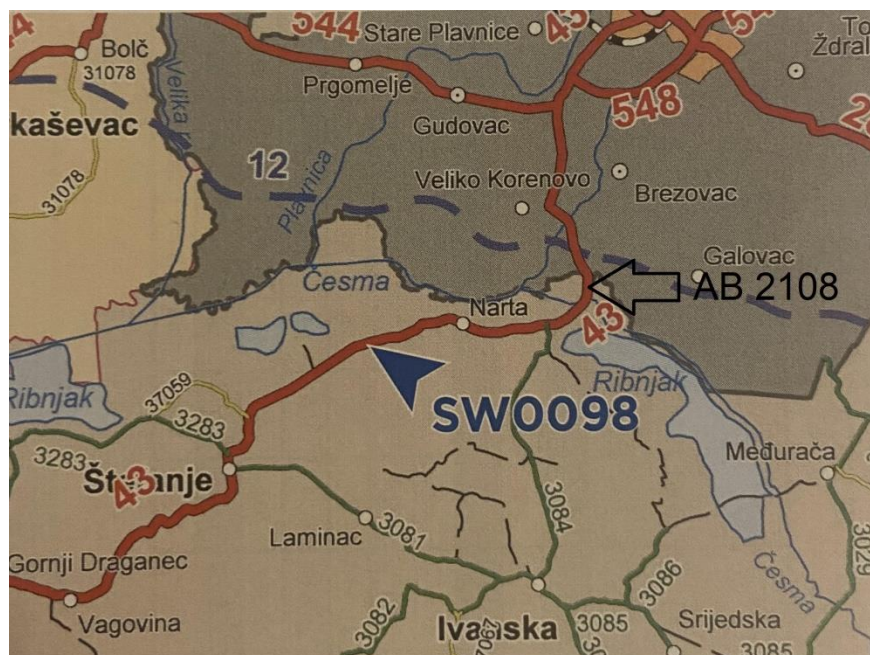
Na slici 12 nalazi se dijagram za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koje se sastoje od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od cementom stabiliziranog zrnatog kamenog materijala za tip 2.



Slika 12 Dijagram za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija za tip 2 iz norme HRN U.C4.012

5. Primjer dimenzioniranja kolničke konstrukcije korištenjem norme HRN U.C4.010 i usporedba s dimenzioniranjem kolničke konstrukcije dobivne s podacima WIM mjerenja

Izračun prosječnog godišnjeg dnevnog prometnog opterećenja prema normi HRN U.C4.010 te dimenzioniranje kolničke konstrukcije proveden je za podatke brojanja prometa za 2022. godinu na brojačkom mjestu oznake AB 2108 Narta – sjever, na državnoj cesti DC 43, dionica 002. Na navedenoj državnoj cesti provedena su i mjerenja osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila WIM uređajem tipa SiWIM, a posljednje mjerenje provedeno je u od 03.09.2021. do 10.09.2021. godine. Udaljenost između brojačkog mjesta AB 2108 i mjernog mjesta SW0098 iznosi oko 5 kilometara (slika 13).



Slika 13 Karta s položajem brojačkog mjesta AB 2108 Narta-sjever i WIM mjernog mjesta SW0098, Narta-izlaz

5.1. Izračun prosječnog godišnjeg dnevnog prometnog opterećenja korištenjem norme HRN U.C4.010 i dimenzioniranje kolničke konstrukcije prema normi HRN U.C4.012

Prema podacima o strukturi vozila u ukupnom prometu navedenim u knjizi Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2022. za brojačko mjesto AB 2108 Narta - sjever izračunato je prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje i izdimenzionirana je kolnička konstrukcija na temelju dobivenog izračuna.

Promet je razvrstan u 9 skupina i to prema tablici 5.

Tablica 5 Skupine vozila

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

Vrijednosti vlastite mase i korisnog tereta korištene su iz tablice 3. S obzirom da pojedina vozila na određenom području nisu jednako iskorištena, prema normi HRN U.C4.010 za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija u proračunima su uzete vrijednosti korisnog tereta s prosječnom vrijednošću iskoristivosti od 70°. Opterećenje po osovini izračunato je zbrojem vrijednosti vlastite mase vozil i vrijednosti iskoristivosti korisnog tereta od 70%. Faktori ekvivalencije osovina (f_e) za reprezentativne vrste vozila i ukupni faktor ekvivalencije proračunati su prema formulama navedenim u točki 3.3 te se vrijednosti nalaze u tablici 6.



Tablica 6 Proračun faktora ekvivalencije reprezentativnih vrsta vozila

VRSTA VOZILA	POZICIJA OSOVINE	TIP OSOVINE	VLASTITA MASA [kN]	KORISTAN TERET [kN]	KORISTAN TERET*70 % [kN]	OPTEREĆENJE PO OSOVINI [kN]	fe	Fe
autobus (A2)	prednja	jednostruka	33	14	9.8	42.8	0.0819	1.368
	stražnja	jednostruka	67	26	18.2	85.2	1.2865	
lagano ter.<30 kN (LT2)	prednja	jednostruka	14	3	2.1	16.1	0.0016	0.011
	stražnja	jednostruka	13	17	11.9	24.9	0.0094	
srednje teško ter. 30-70 kN (ST2)	prednja	jednostruka	29	6	4.2	33.2	0.0297	0.205
	stražnja	jednostruka	21	44	30.8	51.8	0.1758	
teško ter.>70 kN (TT2)	prednja	jednostruka	30	20	14	44	0.0915	0.906
	stražnja	jednostruka	20	80	56	76	0.8145	
teško ter.>70 kN (TT3)	prednja	jednostruka	37	25	17.5	54.5	0.2154	0.639
	stražnja	dvostruka	37	120	84	121	0.4234	
teško ter. + prikolica (TT2+PR3)	prednja	jednostruka	30	20	14	44	0.0915	1.268
	stražnja	jednostruka	20	80	56	76	0.8145	
	prednja	jednostruka	17	59	41.3	58.3	0.2820	
	stražnja	dvostruka	23	81	56.7	79.7	0.0797	
teško ter. + prikolica (TT3+PR2)	prednja	jednostruka	37	25	17.5	54.5	0.2154	1.086
	stražnja	dvostruka	37	120	84	121	0.4234	
	prednja	jednostruka	20	50	35	55	0.2234	
	stražnja	jednostruka	20	50	35	55	0.2234	
tegljač + prikolica (TTV3+PPR2)	prednja	jednostruka	40	20	14	54	0.2076	1.340
	srednja	dvostruka	70	90	63	133	0.6181	
	stražnja	dvostruka	50	110	77	127	0.5139	

Vrijednost ekvivalentnog prometnog opterećenja u projektom razdoblju od 20 godina proračunata je za prosječan godišnji dnevni promet (PGDP) teretnih vozila za brojačko mjesto AB 2108 Narta - sjever na državnoj cesti DC 43 (dva prometna traka; dvosmjernan promet) u 2022. godini (tablica 7) koja je uzeta kao početna godina uporabe ceste.

Tablica 7 Podaci o brojanju prometa na brojačkom mjestu 2108 Narta - sjever u 2022. godini [6]

PGDP	Skupine vozila								
PLDP	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	C1
4283	31	3629	257	100	60	45	35	108	18
4130	45	3446	261	102	63	54	35	109	15

Prosječna godišnja stopu rasta broja teških teretnih vozila je 3% i za projektno razdoblje od 20 godina vrijednost faktora povećanja prometnog opterećenja q prema tablici 8 iznosi 28.

Tablica 8 Faktori povećanja prometnih opterećenja ovisno o planiranom životnom vijeku ceste i planiranom godišnjem prirastu prometa

Planirani životni vijek (godina)	Godišnja stopa rasta prometa (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktor povećanja prometnog opterećenja 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

U daljnjem proračunu nisu uzete vrijednosti motocikli, osobnih vozila sa ili bez prikolice te kombi-vozila sa ili bez prikolice (A1, A2 i A3) zbog vrlo malog utjecaja na kolničku konstrukciju u odnosu na teretna vozila. Proračun ukupnog broja prijelaza ekvivalentnih osovina u projektnom periodu od 20 godina prikazan je u tablici 9. Prilikom proračuna u obzir je uzet prosječan godišnji dnevni broj pojedinih teških teretnih vozila u početnoj godini eksploatacije na jednom prometnom traku pri čemu se uzima 50% prometnog opterećenje prema normi za cestu s dvama prometnim trakama za dvosmjernan promet.



Tablica 9 Proračun ukupnog broja prijelaza ekvivalentnih osovina u projektom razdoblju za brojačko mjesto Narta – sjever

Skupine vozila	B1	B2	B3	B4	B5	C1	$T_{d(norma)}$
2108 Narta-sjever, 2022., PGDP	100	60	45	35	108	18	
Faktor ekvivalencije HRN U.C4.010.	0,011	0,205	0,906	1,268	1,340	1,368	
Prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje $T_{d(norma)}$ za oba smjera	1,10	12,30	40,77	44,38	144,7	24,62	267,89
Prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje $T_{d(norma)}$ za jedan smjer							133,95
Ekvivalentno prometno opterećenje u početnoj godini uporabe ceste T_g							48 891
Ekvivalentno prometno opterećenje u projektom razdoblju, T_u							1 368 938
Skupina prometnog opterećenja							SREDNJE

U skladu s predviđenim prometnim opterećenjem za projektno razdoblje od 20 godina na predmetnoj dionici predviđa se izgradnja nove asfaltne kolničke konstrukcije sljedeće kombinacije:

- Habajući slojevi: asfaltbeton
- Nosivi slojevi: bitumenom stabilizirani nosivi sloj
mehanički zbijeni nosivi sloj

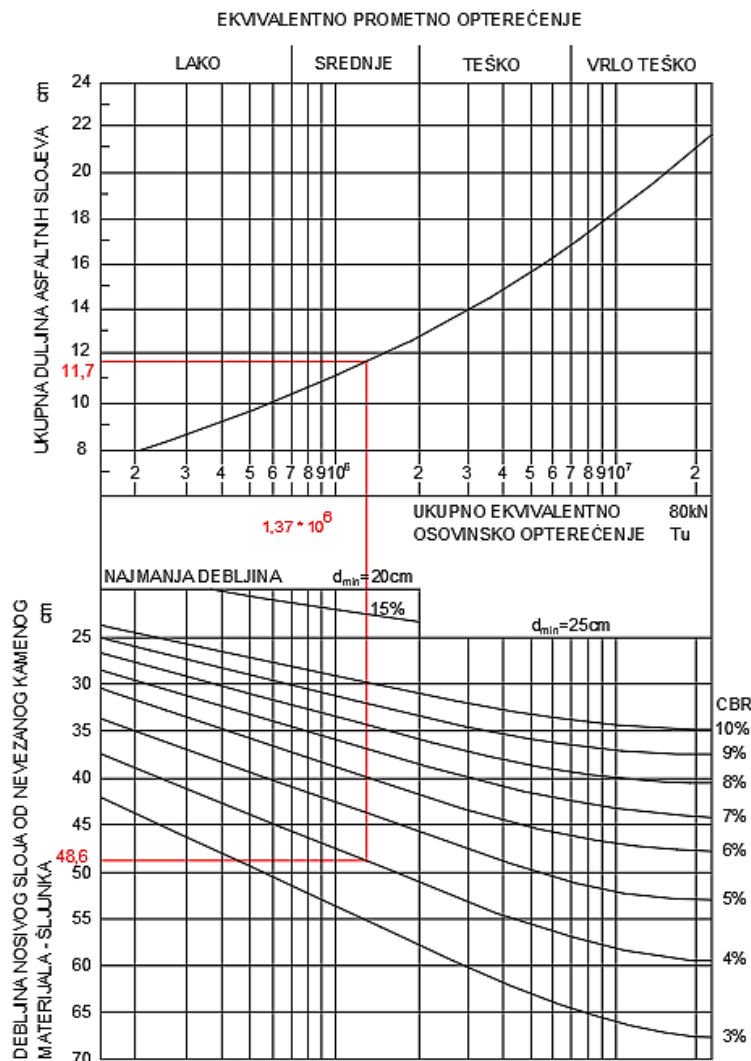
Prilikom dimenzioniranja kolničke konstrukcije korišteni su sljedeći ulazni parametri:

- Kolnička konstrukcija: TIP 1
- Projektno razdoblje: 20 godina
- Ukupni broj prijelaza ekvivalentnih osovina u projektom razdoblju:
 $T_u = 1,37 * 10^6$
- Skupina prometnog opterećenja: **SREDNJE**
- Kalifornijski indeks nosivosti posteljice: CBR = 4,0%
- Marshallov stabilitet za AC surf: SM = 8,4 kN
- Marshallov stabilitet za AC base: SM = 7,1 kN

- Kalifornijski indeks nosivosti mehanički zbijenog nosivog sloja: CBR = 60%
- Klimatsko – hidrološki uvjeti: KONTINENTALNA KLIMA

Dimenzioniranje je provedeno prema normi HRN U.C4.012 i "Tehničkim uvjetim za asfaltne kolnike" , Zagreb, 2015.

Ukupna debljina asfaltnih slojeva te cementom stabiliziranog nosivog sloja za usvojene ulazne parametre očitana je iz dijagrama prikazanog na slici 14.



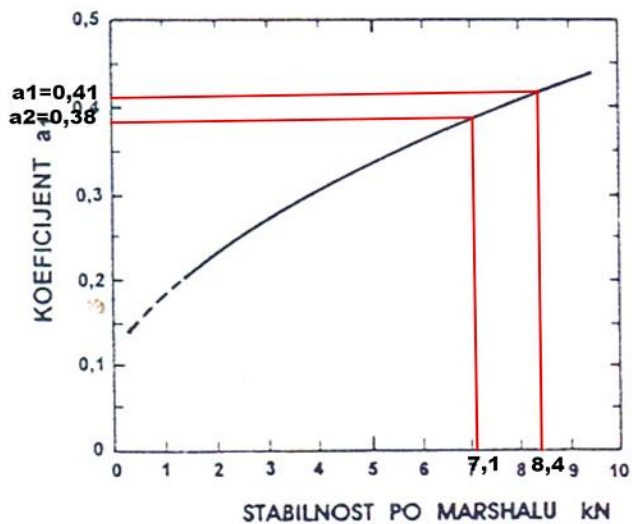
Slika 14 Dijagram za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koja se sastoji od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanih, mehanički zbijenih zrnatih kamenih materijala

Očitane ukupne debljine slojeva:

$$d_1 = 11,7 \text{ cm}$$

$$d_2 = 48,6 \text{ cm}$$

Ukupna debljina asfaltnih slojeva, određena iz dijagrama na slici 14, odnosi se na odabranu asfaltnu mješavinu prosječne kvalitete između standardne asfaltbetonske mješavine i mješavine od bitumenizirane kamene sitneži, a za koju koeficijent zamjene iznosi 0,38. Debljine pojedinih slojeva od odabranih mješavina proračunate su iz ukupne debljine asfaltnih slojeva i vrijednostima koeficijenata zamjene s obzirom na projektnim zadatkom predviđene vrijednosti Marshallovog stabiliteta (slika 15). Debljina habajućeg sloja je odabrana prema tablici 2, Dodatka B, Tehničkih uvjeta za asfaltne kolnike, 2015. Pri odabiru debljine habajućeg i nosivog sloja vodilo se računa o najmanjim i najvećim tehnološkim debljinama mogućnosti izvedbe slojeva.



Slika 15 Koeficijenti zamjene za asfaltne slojeve

Temeljem navedenog, za srednje prometno opterećenje, kontinentalnu klimu i podlogu od mehanički zbijenog zrnatog kamenog materijala, odabrana je debljina habajućeg sloja (AC 11 surf 50/70, AG3 M3):

$$d_{\text{Acsurf}} = 4,0 \text{ cm}$$

Debljina bitumenom stabiliziranog nosivog sloja određena je prema izrazu:

$$d_1 \cdot a_{\text{asfalt}} = d_{\text{Acsurf}} \cdot a_1 + d_{\text{Acbase}} \cdot a_2$$

$$11,7 \cdot 0,38 = 4,0 \cdot 0,41 + d_{\text{Acbase}} \cdot 0,38$$

$$d_{\text{Acbase}} = 7,38 \text{ cm}$$

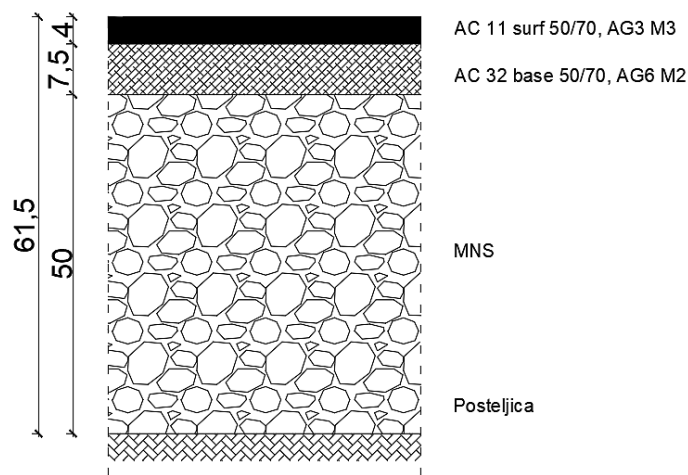
S obzirom na dobivenu vrijednost debljine bitumenom stabiliziranog nosivog sloja, odabrana je asfaltna mješavine AC 32 base 50/70, AG6 M2 i debljina sloja:

$$d_{\text{Acbase}} = 7,5 \text{ cm}$$

Minimalna debljina mehanički zbijenog nevezanog nosivog sloja ovisi o prometnom opterećenju te za $T_U < 2 \cdot 10^6$ iznosi $d_{\text{MNS}} = 20 \text{ cm}$.

U ovom slučaju $d_2 = d_{\text{MNS}} = 48,4 \text{ cm}$ te je odabrana vrijednost mehanički zbijenog nosivog sloja $d_{\text{MNS}} = 50 \text{ cm}$.

Odabrana kolnička konstrukcija dimenzionirana u skladu s HRN U.C4.012 prikazana je na slici 16.



Slika 16 Odabrana kolnička konstrukcija



5.2. Izmjereno prosječno dnevno prometno opterećenje prijenosnim SiWIM uređajem, dimenzioniranje kolničke konstrukcije prema normi HRN U.C4.012 te provjera njene dimenzije prema metodi AASHO Road Testa

Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila prijenosnim SiWIM uređajem provedeno je u razdoblju od 03.09. – 10.09.2021. godine. U tablici 10 prikazani su rezultati SiWIM mjerenja za smjer 1, Bjelovar – Čazma te smjer 2, Čazma – Bjelovar. Tablica sadrži mjerenja o prosječnom dnevnom broju jednostrukih, dvostrukih trostrukih i višetrukih osovina, podatke o prosječnom broju ekvivalentnih 80 kN označenih kao ESAL (ekvivalentno opterećenja jednostruke osovine) i podatke o prosječnom dnevnom prometnom opterećenju za svaki smjer posebno i ukupno za oba smjera ($T_{d(WIM)}$).

Tablica 10 Podaci o izmjerenom prosječnom dnevnom prometnom opterećenju SiWIM uređajem u razdoblju od 03.09.-10.09.2021. godine na WIM mjernom mjestu SW0098, Narta - izlaz

Vrsta osovine	Jednostruka		Dvostruka		Trostruka i višestruka		$T_{d(WIM)}$
	Pros. broj os.	Pros. ESAL	Pros. broj os.	Pros. ESAL	Pros. broj os.	Pros. ESAL	
Mjerno mjesto SW 0098, Narta - izlaz							
Smjer 1 Bjelovar - Čazma	179,71	116,6	30,71	37,89	30,71	33,67	188,16
Smjer 2 Čazma - Bjelovar	217,43	95,39	54	36,37	15,71	10,67	142,43
Ukupno u oba smjera	397,14	211,99	84,71	74,26	46,43	44,34	330,59

Na osnovu ovih podataka, a prema napatku norme, dimenzioniranje kolnička konstrukcija provodi se za opterećeniji prometni tak. U ovom slučaju kao mjerodavno prosječno dnevno prometno opterećenje odabrano je prometno opterećenje smjera 1 koje iznosi $T_{d(WIM)} = 188,16$ prijelaza ekvivalentnog 80 kN osovinskog opterećenje. Dobivena skupina prometnog opterećenja za mjerodavno prosječno dnevno prometno opterećenje nalazi se u tablici 11.



Tablica 11 Proračun ukupnog ekvivalentnog prometnog opterećenja teretnih vozila u projektnom razdoblju za mjerno mjestu SW0098, Narta - izlaz

Prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje $T_{d(WIM)}$	188,16
Ekvivalentno prometno opterećenje u projektnom razdoblju, T_u	1 922 995
Skupina prometnog opterećenja	SREDNJE

Za dobivenu skupinu prometnog opterećenje za projektno razdoblje od 20 godina na predmetnoj dionici predviđa se ista kombinacija kolničke konstrukcije kao i u prethodnoj točki:

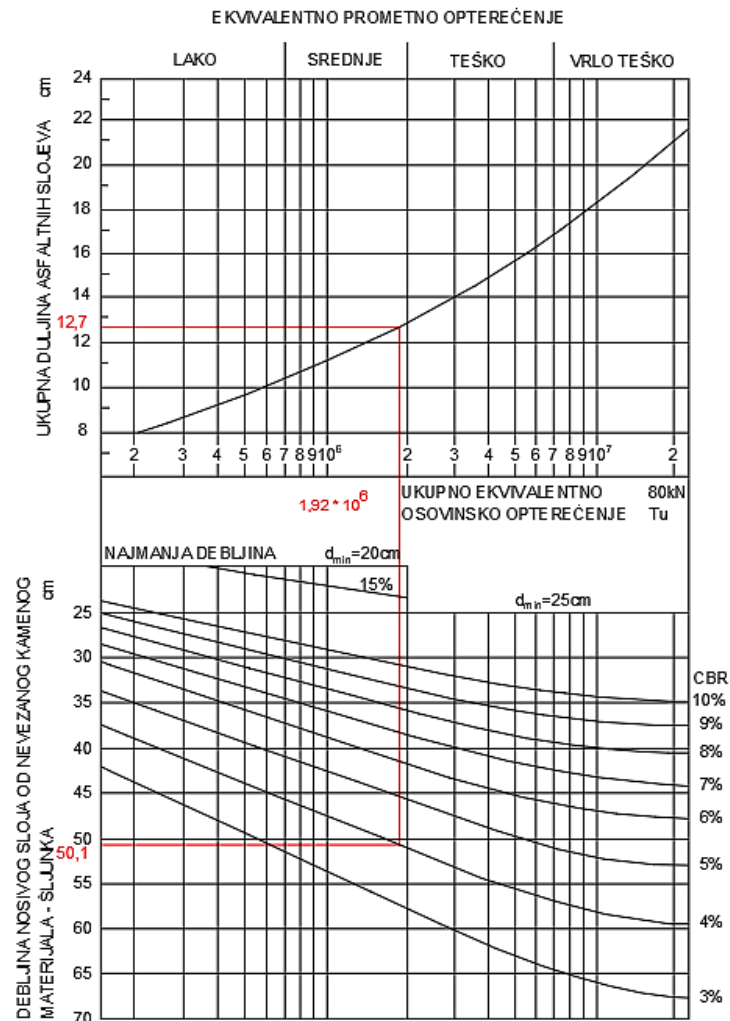
- Habajući slojevi: asfaltbeton
- Nosivi slojevi: bitumenom stabilizirani nosivi sloj
mehanički zbijeni nosivi sloj

Također, prilikom dimenzioniranja kolničke konstrukcije korišteni su isti ulazni parametri kao i u prethodnoj točki osim dobivene skupine prometnog opterećenja:

- Kolnička konstrukcija: TIP 1
- Projektno razdoblje: 20 godina
- Ukupni broj prijelaza ekvivalentnih osovina u projektnom razdoblju:
 $T_u = 1,92 * 10^6$
- Skupina prometnog opterećenja: **SREDNJE**
- Kalifornijski indeks nosivosti posteljice: CBR = 4,0%
- Marshallov stabilitet za AC surf: SM = 8,4 kN
- Marshallov stabilitet za AC base: SM = 7,1 kN
- Kalifornijski indeks nosivosti mehanički zbijenog nosivog sloja: CBR = 60%

Klimatsko – hidrološki uvjeti: KONTINENTALNA KLIMA

Ukupna debljina asfaltnih slojeva te cementom stabiliziranog nosivog sloja za usvojene ulazne parametre očitana je iz dijagrama prikazanog na slici 17.



Slika 17 Dijagram za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koja se sastoji od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva od nevezanih, mehanički zbijenih zrnatih kamenih materijala

Očitane ukupne debljine slojeva:

$$d_1 = 12,7 \text{ cm}$$

$$d_2 = 50,1 \text{ cm}$$

Koeficijenti zamjene za asfaltne slojeve (a_1 i a_2) uzeti su iz prethodne točke:

$$a_1 = 0,41$$

$$a_2 = 0,30$$

Za srednje prometno opterećenje, kontinentalnu klimu i podlogu od mehanički zbijenog zrnatog kamenog materijala, odabrana je debljina habajućeg sloja (AC 11 surf 50/70, AG3 M3):

$$d_{\text{Acsurf}} = 4,0 \text{ cm}$$

Debljina bitumenom stabiliziranog nosivog sloja određena je prema izrazu:

$$d_1 \cdot a_{\text{asfalt}} = d_{\text{Acsurf}} \cdot a_1 + d_{\text{Acbase}} \cdot a_2$$

$$12,7 \cdot 0,38 = 4,0 \cdot 0,41 + d_{\text{Acbase}} \cdot 0,38$$

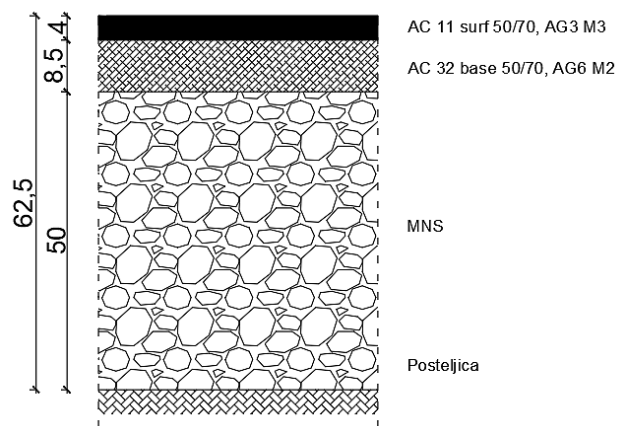
$$d_{\text{Acbase}} = 8,38 \text{ cm}$$

S obzirom na dobivenu vrijednost debljine bitumenom stabiliziranog nosivog sloja, odabrana je asfaltna mješavine AC 32 base 50/70, AG6 M2 i debljina sloja:

$$d_{\text{Acbase}} = 8,5 \text{ cm}$$

U ovom slučaju $d_2 = d_{\text{MNS}} = 50,1 \text{ cm}$ te je odabrana vrijednost mehanički zbijenog nosivog sloja $d_{\text{MNS}} = 50 \text{ cm}$.

Odabrana kolnička konstrukcija dimenzionirana u skladu s HRN U.C4.012 prikazana je na slici 18.



Slika 18 Odabrana kolnička konstrukcija



6. Zaključak

Projektno prometno opterećenje izražava se kao prosječno godišnje dnevno prometno opterećenje u projektom razdoblju ili kao ukupno prometno opterećenje u projektom razdoblju. Za državnu cestu DC 43 odabrano je mjesto Narta na kojem su poznati podaci o brojanju prometa i mjerenju osovinskog opterećenja i ukupne mase vozila te podaci o posteljici odnosno CBR indeks. Izračunom prosječnog godišnjeg dnevnog prometnog opterećenja na temelju podataka s brojačkog mjesta Narta – sjever iz knjige Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2022. dobivena je srednja skupina prometnog opterećenja. U skladu s takvom grupom prometnog opterećenja dimenzionirana je kolnička konstrukcija. Također, s podacima o mjerenju osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila pomoću prijenosnog SiWIM uređaja za brojačko mjesto Narta - izlaz iz knjige Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila u prometu na cestama Republike Hrvatske dobiveno je da je prosječno dnevno prometno opterećenje za smjer 1, Bjelovar – Čazma veće od suprotnog smjera. Prema naputku norme opterećeniji smjer je mjerodavan i na temelju tih podataka dimenzionirana je kolnička konstrukcija. Dobiveni podatak o prosječno dnevnom prometnom opterećenju također spada u grupu srednjeg prometnog opterećenja.

S obzirom da razlika između prosječnog dnevnog prometnog opterećenja dobivena iz podataka o brojanju prometa ($T_{d(norma)} = 127,22$) i stvarnog izmjerene prosječnog dnevnog prometnog opterećenja ($T_{d(WIM)} = 188,16$) nije značajna, skupina prevladavajućeg prometnog opterećenja je ostala ista. Obje kolničke konstrukcije su dimenzionirane prema tipu 1. Razlika između debljina pojedinih slojeva dimenzioniranih kolničkih konstrukcija je neznatna. Debljina habajućeg sloja i mehanički zbijenog nosivog sloja je podjednaka dok je razlika u debljini bitumenom stabiliziranog nosivog sloja jedan centimetar. S obzirom da promatranom dionicom ceste najviše prometuju osobna vozila sa ili bez prikolice te da je prekoračenje dopuštenih osovinskih opterećenja za različite rasporede osovina jako malo, očekivano je da razlika u dimenzioniranim kolničkim konstrukcijama nije velika. No, čak i u slučaju kada su prometna opterećenja vrlo bliska, razlika u debljinama pojedinih slojeva dimenzioniranih kolničkih konstrukcija će postojati.

Kako bi se dobila što realnija slika prometnog opterećenja potrebno je koristiti normirane podatke o prosječnom dnevnom prometnom opterećenju dobivene WIM mjerenjima jer korištenjem samo podataka o brojanju prometa ne može se odrediti stvarna raspodjela

prometnog opterećenja po poprečnom presjeku prometnice kao ni postojanje preopterećenih vozila. Na taj način se omogućuje kvalitetnija izgradnja nove ceste za koju će troškovi održavanja biti manji.

7. Literatura

- [1] Rukavina T., Ružić I. *Mjerenje osovinskih opterećenja i ukupne mase vozila u prometu na cestama Republike Hrvatske*. Zagreb: Vage d.o.o.; 2023.
- [2] Babić B. *Projektiranje kolničkih konstrukcija*. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera; 1997.
- [3] Rukavina T., *Kolničke konstrukcije*, Zagreb, 2022.
- [4] Republika Srbija. *Priručnik za projektiranje puteva u Republici Srbiji*. Beograd; Javno poduzeće Putevi Srbije; 2012.
- [5] Norma HRN U.C4.012
- [6] Božić M. i suradnici, *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2022*. Zagreb: PROMETIS d.o.o.; 2023.