

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Kandidat/-ka:

INES AHMIĆ

**PRIMERJAVA METOD DIMENZIONIRANJA NOVIH
ASFALJNIH VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V SLOVENIJI,
NEMČIJI IN ZDA**

**A COMPARISON OF NEW ASPHALT PAVEMENT DESIGN
METHODS IN SLOVENIA, GERMANY AND THE U.S.**

Mentor/-ica:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 625.7/.8:693.78(497.4)(430)(73)(043.3)
Avtor: Ines Ahmić, dipl. inž. grad. (UN)
Mentor: izr. prof. dr. Marijan Žura
Naslov Primerjava metod dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij v Sloveniji, Nemčiji in ZDA
Tip dokumenta : Magistrsko delo
Obseg in oprema : 133 str., 100 pregl., 56 sl.
Ključne besede : metoda dimenzioniranja, fleksibilna voziščna konstrukcija, asfalt, tehnične specifikacije

Izvleček :

Dobro zasnovana in ustrezno razvita prometna infrastruktura predstavlja enega izmed temeljev današnje družbe. Pogoj za skladen regionalni razvoj, ustvarjanje najboljših možnosti za učinkovit potek gospodarskih dejavnosti in posredno za poselitev primernih območij države je vsekakor kakovostno cestno omrežje. Le-to v Sloveniji žal ni v najbolj zavidljivem stanju, obenem pa država ne more v celoti zagotoviti dovolj lastnih proračunskih sredstev za zadostno ter posledično ustrezno vzdrževanje. Propadanje ter življenjska doba ceste je v veliki meri odvisna od ustreznosti voziščne konstrukcije, zato je izrednega pomena, da se že pri projektiranju in gradnji cest posveti precejšnjo pozornost prav zasnovi in projektiranju voziščne konstrukcije. Ta mora seveda biti optimalno dimenzionirana in v načrtovanem obdobju sposobna prenesti predvidene prometne obremenitve.

V magistrski nalogi se postavlja vprašanje, ali je metoda dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij, ki se uporablja v Sloveniji, najbolj ustrezna oziroma ali so voziščne konstrukcije pri nas poddimenzionirane ali celo predimenzionirane. S tem namenom se je v nalogi predstavilo metodo dimenzioniranja, ki je predpisana v Tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.520 Projektiranje in dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij. Podrobno se je preučilo in opisalo tudi izbrani metodi dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij, v Nemčiji po smernicah RStO 12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) ter Združenih državah Amerike po AASHTO priročniku (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures). Poleg primerjave teoretičnih osnov se je po vsaki od obravnavanih metod dimenzioniralo voziščno konstrukcijo za nekaj tipičnih primerov prometnih obremenitev. Na osnovi računskega postopka se je izvedla tudi primerjava rezultatov dimenzioniranja, ki je pripeljala do zaključka, da so asfaltne voziščne konstrukcije v Sloveniji, v primerjavi s tistimi dimenzioniranimi po smernicah RStO 12 in AASHTO priročniku, predimenzionirane in bi vsekakor bila smiselna sprememba obstoječe metode dimenzioniranja oziroma dopolnitev tehničnih specifikacij.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.7/.8:693.78(497.4)(430)(73)(043.3)
Autor: Ines Ahmić, B.Sc. Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Marijan Žura, Ph.D.
Title: A comparison of new asphalt pavement design methods in Slovenia, Germany and the U.S.
Document type: Master thesis
Notes: 133 p., 100 tab., 56 fig.
Key words: design method, flexible pavement, asphalt, technical specifications

Abstract:

A well designed and appropriately developed traffic infrastructure is fundamental to today's society. A quality road network is most definitely a condition for coordinated regional development, creating the best options for an efficient course of economic activities and indirectly for populating appropriate areas of the country. Unfortunately, the Slovenian road network is not in an enviably good state and simultaneously the country cannot ensure enough of its own assets to provide sufficient and appropriate managing. The serviceability and lifetime of a road in a great manner depends on the appropriate pavement structure that is why it is of a great importance that, when building a road, a lot of concern is put into the planning and design of the pavement structure. It, of course, has to be optimally designed and must have the ability to bear the anticipated traffic loading.

The master thesis deals with the question whether the design method of new asphalt pavement structures used in Slovenia is the most appropriate in terms of thicknesses of the pavement structure. For that purpose, a design method according to regulations in Slovenian technical specifications TSC 06.520 (Design procedure for new asphalt pavement structures) is introduced. Two other asphalt pavement structures design methods are studied in detail namely from the German RStO 12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) and the U.S. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. In addition to comparison of theoretical basis there were also designed pavement structures for some typical examples of traffic loadings according to every discussed method. A comparison of the results of design procedure led to a conclusion that asphalt pavement structures in Slovenia are, compared to the ones designed according to RStO 12 guidelines and AASHTO design guide, oversized therefore a change of current design method or a completion of technical specifications would be reasonable.

ZAHVALA

Za pomoč, strokovne nasvete in razumevanje pri izdelavi magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Marijanu Žuri.

Iskrena zahvala gre tudi moji družini in prijateljem, ki so me podpirali in mi stali ob strani tekom celotnega študija. Hvala vam za potrpežljivost, podporo ter vse lepe trenutke nasploh.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA.....	IV
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XXIII
1 UVOD	1
1.1 Predstavitev problematike.....	1
1.2 Cilj in namen dela	2
1.3 Struktura dela.....	2
2 VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA.....	3
2.1 Definicija	3
2.2 Sestava in vrste voziščne konstrukcije.....	3
3 DIMENZIONIRANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V SLOVENIJI.....	5
3.1 Splošno	5
3.2 Predpisi na področju dimenzioniranja cest	7
3.3 Metoda dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij po TSC 06.520 : 2009	
Projektiranje – Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij	8
3.4 Nosilnost podlage.....	9
3.5 Prometna obremenitev.....	12
3.5.1 Analiza prometa	13
3.5.2 Ekvivalentna prometna obremenitev	13
3.5.3 Dodatni vplivi na prometno obremenitev.....	15
3.5.4 Merodajna prometna obremenitev.....	17
3.6 Klimatski In Hidrološki Pogoji	18
3.6.1 Globina prodiranja mraza.....	19
3.6.2 Hidrološki pogoji.....	21
3.6.3 Občutljivost materialov na zmrzovanje.....	21
3.6.4 Minimalna debelina zmrzlinško neobčutljive voziščne konstrukcije.....	23
3.7 Značilnosti materialov in plasti v voziščni konstrukciji	23
3.7.1 Določitev dimenzij in sestave plasti voziščne konstrukcije	26
3.8 Postopek dimenzioniranja	32
4 DIMEZIONIRANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V NEMČIJI.....	33
4.1 Splošno	33
4.2 Predpisi na področju dimenzioniranja cest	34
4.3 Metoda dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij po smernicah RStO 12	36
4.4 Struktura voziščne konstrukcije	36
4.5 Prometna obremenitev.....	38
4.5.1 Analiza prometa	38
4.5.2 Merodajna prometna obremenitev.....	39
4.5.3 Dodatni vplivi na prometno obremenitev.....	42
4.6 Nosilnost podlage.....	46
4.7 Klimatski in hidrološki pogoji.....	49
4.8 Značilnosti materialov in plasti v voziščni konstrukciji	51

4.8.1	Nosilne plasti	52
4.8.2	Asfaltne krovne plasti	52
4.9	Postopek dimenzioniranja	53
5	DIMEZIONIRANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V ZDRUŽENIH DRŽAVAH	
AMERIKE.....		54
5.1	Splošno.....	54
5.2	Predpisi na področju dimenzioniranja cest.....	56
5.3	Metoda dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij po AASHTO Priročniku iz leta 1993.....	57
5.4	Struktura voziščne konstrukcije	59
5.5	Prometna obremenitev	60
5.5.1	Analiza prometa.....	60
5.5.2	Faktorji ekvivalentnosti	62
5.5.3	Dodatni vplivi na prometno obremenitev in načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije	63
5.5.4	Merodajna prometna obremenitev	64
5.6	Raven zanesljivosti R.....	65
5.7	Uporabnost voziščne konstrukcije	66
5.8	Nosilnost podlage	67
5.9	Lastnosti plasti	71
5.9.1	Odvodnjavanje.....	71
5.9.2	Debelina plasti voziščne konstrukcije	73
5.10	Postopek.....	74
6	RAČUNSKI POSTOPEK	75
6.1	Vhodni parametri	75
6.1.1	Cesta	75
6.1.2	Karakteristike temeljnih tal oziroma nosilnost podlage	76
6.1.3	Klimatski in hidrološki pogoji.....	76
6.1.4	Prometna obremenitev	77
6.2	Dimenzioniranje voziščne konstrukcije.....	84
6.2.1	Slovenija	84
6.2.2	Nemčija.....	90
6.2.3	ZDA	95
7	PRIMERJAVA METOD TER REZULTATOV DIMENZIONIRANJA	103
7.1	Primerjava teoretičnih osnov	103
7.1.1	Struktura voziščne konstrukcije.....	103
7.1.2	Nosilnost podlage	103
7.1.3	Načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije	104
7.1.4	Prometna obremenitev	104
7.1.5	Klimatski in hidrološki pogoji.....	105
7.1.6	Postopek dimenzioniranja.....	106
7.2	Primerjava rezultatov računskega postopka	107
7.2.1	Primer 1 – Voziščna konstrukcija za primer izredno težke prometne obremenitve	109
7.2.2	Primer 2 – Voziščna konstrukcija za primer zelo težke prometne obremenitve.....	111
7.2.3	Primer 3 – Voziščna konstrukcija za primer težke prometne obremenitve	113
7.2.4	Primer 4 – Voziščna konstrukcija za primer srednje prometne obremenitve	115
7.2.5	Primer 5 – Voziščna konstrukcija za primer srednje prometne obremenitve	117

7.2.6	Primer 6 – Voziščna konstrukcija za primer lahke prometne obremenitve.....	119
7.2.7	Primer 7 – Voziščna konstrukcija za primer zelo lahke prometne obremenitve	121
7.2.8	Skupna primerjava.....	122
8	UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI.....	127
VIRI.....		130

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Omrežje javnih cest v Republiki Sloveniji (povzeto po: Direkcija RS za infrastrukturo, 2017).....	5
Preglednica 2: Korelacije vrednosti nosilnosti materialov v podlagi/temeljnih tleh (TSC 06.520, 2009, str. 5).....	10
Preglednica 3: Najmanjša potrebna debelina plasti kamnite posteljice v odvisnosti od velikosti zrn v zmesi (povzeto po TSC 06.100, 2003, str. 8)	10
Preglednica 4: Najmanjša potrebna debelina nevezane nosilne plasti v odvisnosti od velikosti zrn v zmesi (povzeto po TSC 06.200, 2003, str. 9)	12
Preglednica 5: Zahtevane vrednosti deformacijskih modulov E_{v2} in E_{vd} ter razmerij E_{v2}/E_{v1} na nevezanih nosilnih plasteh (TSC 06.200, 2003, str. 11).....	12
Preglednica 6: Povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za različne kategorije vozil (TSC 06.511, 2009, str. 7).....	14
Preglednica 7: Faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove f_{pp} (TSC 06.511, 2009, str. 9).....	15
Preglednica 8: Faktor vpliva širine prometnega pasu f_{sp} (TSC 06.511, 2009, str. 9)	16
Preglednica 9: Faktor vpliva vzdolžnih nagibov nivelete vozišča f_{nn} (TSC 06.511, 2009, str. 9).....	16
Preglednica 10: Faktor povečanja prometne obremenitve f_{tp} zaradi načrtovane letne stopnje rasti prometa v načrtovani dobi trajanja (povzeto po TSC 06.511, 2009, str. 10).....	17
Preglednica 11: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve (TSC 06.511, 2009, str. 10).....	18
Preglednica 12: Razvrstitev hidroloških razmer (povzeto po TSC 06.512, 2003, str. 5)	21
Preglednica 13: Razvrstitev materialov v razrede občutljivosti na mraz (TSC 06.520, 2009, str. 9)....	22
Preglednica 14: Razvrstitev materialov v razrede občutljivosti na mraz glede na vrednost CBR_3 (povzeto po TSC 06.520, 2009, str. 10).....	23
Preglednica 15: Najmanjše potrebne debeline voziščne konstrukcije h_{min} (TSC 06.520, 2009, str. 12).....	23
Preglednica 16: Povprečne vrednosti količnikov ekvivalentnosti materialov (povzeto po TSC 06.520, 2009, str. 8).....	24
Preglednica 17: Področja uporabe ter mejne debeline plasti bituminiziranih zmesi za asfaltne obrabne in obrabnonosilne plasti (povzeto po TSC 06.300/06.400, 2009, str. 24-28).....	28
Preglednica 18: Področja uporabe ter mejne debeline plasti bituminiziranih zmesi za asfaltne nosilne in vezne plasti (povzeto po TSC 06.300/06.400, 2009, str. 22-23)	29
Preglednica 19: Lastnosti zmesi za nevezane nosilne plasti (povzeto po TSC 06.200, 2003)	31
Preglednica 20: Minimalne debeline spodnje vezane nosilne plasti v odvisnosti od prometne obremenitve (povzeto po TSC 06.520, 2009, str. 11).....	32

Preglednica 21: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve v Nemčiji (povzeto po RStO 12, 2012, str. 10).....	39
Preglednica 22: Razvrstitev v skupine prometne obremenitve glede na tip in kategorijo ceste (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11).....	42
Preglednica 23: Faktor povprečnega števila osi pri prometu s težkimi tovornimi vozili f_A (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30).....	43
Preglednica 24: Kvocienit upoštevanja povprečne porazdelitve obremenitve na osi q_{Bm} (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30).....	43
Preglednica 25: Faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove f_1 (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30).....	43
Preglednica 26: Faktor vpliva širine prometnega pasu f_2 (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30)	44
Preglednica 27: Faktor vpliva vzdolžnega nagiba nivelete vozišča f_3 (povzeto po RStO 12, 2012, str. 31)	44
Preglednica 28: Povprečna letna stopnja rasti prometa s težkimi tovornimi vozili p (povzeto po RStO 12, 2012, str. 31)	44
Preglednica 29: Faktor povečanja prometne obremenitve f_z zaradi načrtovane letne stopnje rasti prometa v načrtovani dobi trajanja (povzeto po RStO 12, 2012, str. 31).....	45
Preglednica 30: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve za avtobusna postajališča (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11)	45
Preglednica 31: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve za prometne površine, namenjene vzdrževanju in servisiranju (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11).....	46
Preglednica 32: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve za prometne površine, namenjene parkiranju (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11)	46
Preglednica 33: Referenčne vrednosti debelin nevezanih nosilnih plasti z namenom doseganja ustrezne nosilnosti (povzeto po RStO 12, 2012, str. 17).....	48
Preglednica 34: Izhodiščne vrednosti za določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne na učinke zmrzovanja (povzeto po RStO 12, 2012, str. 14).....	49
Preglednica 35: Vpliv dodatnih pogojev na debelino voziščne konstrukcije, izražen z dodatnimi oziroma reduciranimi debelinami (povzeto po RStO 12, 2012, str. 15).....	50
Preglednica 36: Omrežje javnih cest v ZDA (National Transportation Statistics, 2017).....	54
Preglednica 37: Povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za različne kategorije vozil po FHWA (povzeto po Trucks and buses, 2012).....	62
Preglednica 38: Doba trajanja voziščne konstrukcije v odvisnosti od tipa ceste (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	63
Preglednica 39: Faktor povečanja prometne obremenitve G zaradi rasti prometa v načrtovani dobi trajanja prometa (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	64

Preglednica 40: Faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove D_L (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	64
Preglednica 41: Priporočljive ravni zanesljivosti R za različne kategorije cest (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	65
Preglednica 42: Standardizirane normalne porazdelitve v odvisnosti od ravni zanesljivosti (povzeto po Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006).....	66
Preglednica 43: Izračun modula elastičnosti temeljnih tal M_R za fleksibilne voziščne konstrukcije (povzeto po Von Quintus, Killingsworth, 2007, str. 18)	68
Preglednica 44: Vrednosti modula elastičnosti temeljnih tal M_R , ki se jih lahko uporabi v postopku dimenzioniranja manj obremenjenih cest (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	70
Preglednica 45: Ocena kakovosti odvodnjavanja (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	72
Preglednica 46: Priporočljive vrednosti koeficientov odvodnjavanja za materiale, vgrajene v nevezane nosilne plasti v fleksibilnih voziščnih konstrukcijah (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	72
Preglednica 47: Minimalne priporočljive debeline plasti voziščne konstrukcije (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	73
Preglednica 48: Predvidene karakteristike načrtovane ceste	76
Preglednica 49: Primeri prometnih obremenitev, izraženih s PLDP	77
Preglednica 50: Povprečni letni dnevni promet posameznih kategorij vozil.....	77
Preglednica 51: Izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za Primer 1 in 2	78
Preglednica 52: Izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za Primer 3, 4, and 5	78
Preglednica 53: Izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za Primer 6 and 7	79
Preglednica 54: Merodajne prometne obremenitve za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije	79
Preglednica 55: Uvrstitev s skupino prometne obremenitve v odvisnosti od merodajne prometne obremenitve	80
Preglednica 56: Povprečni letni dnevni promet merodajnih kategorij vozil po RStO 12 smernicah	80
Preglednica 57: Povprečno število prehodov osi težkega prometa, izračunano po RStO 12 smernicah	81
Preglednica 58: Določitev merodajne prometne obremenitve za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije po metodi iz RStO 12 smernicah	81
Preglednica 59: Uvrstitev s skupino prometne obremenitve v odvisnosti od merodajne prometne obremenitve po RStO 12 smernicah.....	81
Preglednica 60: : Povprečni letni dnevni promet merodajnih kategorij vozil po AASHTO priročniku	82
Preglednica 61: Ekvivalentna dnevna prometna obremenitev izračunana po AASHTO priročniku.....	82

Preglednica 62: Določitev merodajne prometne obremenitve za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije po metodi iz AASHTO priročnika.....	83
Preglednica 63: Računske debeline in debelinski indeksi osnovnih plasti (CBR = 11,5 %)	85
Preglednica 64: Debeline in debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 11,5%).....	85
Preglednica 65: Računski in dejanski debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 11,5%)	86
Preglednica 66: Višina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije	86
Preglednica 67: Računske debeline in debelinski indeksi osnovnih plasti (CBR = 7 %)	87
Preglednica 68: Debeline in debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 7 %).....	87
Preglednica 69: Računski in dejanski debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 7 %) ..	88
Preglednica 70: Višina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije	88
Preglednica 71: Izbrane vrste bituminiziranih zmesi za asfaltne krovne plasti.....	89
Preglednica 72: Izbrani tipi bitumenskega veziva za izbrane vrste bituminizirane zmesi	89
Preglednica 73: Izbrane zmesi kamnitih zrn za spodnje vezane ter nevezane nosilne plasti	90
Preglednica 74: Izhodiščne vrednosti za določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne na učinke zmrzovanja.....	91
Preglednica 75: Vpliv dodatnih pogojev na debelino voziščne konstrukcije, izražen z dodatnimi oziroma reduciranimi debelinami.....	91
Preglednica 76: Debelina odporne zmrzlinško voziščne konstrukcije po RStO 12 smernicah.....	92
Preglednica 77: Debeline zmrzlinško odporne plasti TSC 06.520.....	94
Preglednica 78: Debeline zmrzlinško odporne plasti po RStO 12	94
Preglednica 79: Upoštevane kategorije cest pri dimenzioniranju z aplikacijo PaveXpress	97
Preglednica 80: Upoštevani vhodni parametri pri dimenzioniranju z aplikacijo PaveXpress	97
Preglednica 81: Upoštevane vrednosti količnikov ekvivalentnosti in odvodnjavanja pri dimenzioniranju z aplikacijo PaveXpress	98
Preglednica 82: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije z aplikacijo PaveXpress (tipične plasti po AASHTO priročniku)	98
Preglednica 83: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije (tipične plasti po AASHTO priročniku) [cm]	99
Preglednica 84: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije z aplikacijo PaveXpress (tipične plasti po TSC 06.520) [cm]	99
Preglednica 85: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije (tipične plasti po TSC 06.520) [cm]	100
Preglednica 86: Višina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije (tipične plasti po AASHTO priročniku).....	101
Preglednica 87: Višina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije (tipične plasti po TSC 06.520)...	101
Preglednica 88: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 1	109

Preglednica 89: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 2	111
Preglednica 90: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 3	113
Preglednica 91: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 4	115
Preglednica 92: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 5	117
Preglednica 93: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 6	119
Preglednica 94: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 7	121
Preglednica 95: Debeline asfaltne krovne plasti.....	123
Preglednica 96: Debeline stabilizirane plasti.....	123
Preglednica 97: Debeline spodnje nevezane plasti.....	124
Preglednica 98: Debelina voziščne konstrukcije	125
Preglednica 99: Debelina voziščne konstrukcije za primere SLO ₂ , NEM ₁ in ZDA ₂	125
Preglednica 100: Višina utrditve po obravnavanih metodah	126

KAZALO SLIK

Slika 1: Struktura voziščne konstrukcije (povzeto po TSC 06.300/06.410, 2009, str. 7)	4
Slika 2: Omrežje javnih cest v Sloveniji glede na kategorijo ceste.....	6
Slika 3: Omrežje državnih cest v upravljanju DARS-a in DRSI-a	7
Slika 4: Diagram za določitev izboljšane nosilnosti podlage v odvisnosti od debeline vgrajene posteljice (Žmavc, 2007).....	11
Slika 5: Diagram za določitev izboljšane nosilnosti podlage v odvisnosti od debeline nevezane nosilne plasti (Žmavc, 2007)	11
Slika 6: Karta informativnih globin prodiranja mraza (TSC 06.512, 2003, str. 12).....	19
Slika 7: Karta informativnih vrednosti merodajnega indeksa mraza (TSC 06.512, 2003, str. 13).....	20
Slika 8: Odvisnost globine prodiranja mraza od indeksa mraza (TSC 06.512, 2003, str. 5)	20
Slika 9: Razmejitev razredov zmrzljinske občutljivosti (TSC 06.520, 2009, str. 19)	22
Slika 10: Grafa za določitev količnikov ekvivalentnosti za bituminizirani drobljenec (levo) in bituminizirani prodec (desno) (TSC 06.520, 2009, str. 7).....	25
Slika 11: Grafa za določitev količnikov ekvivalentnosti za cementno stabilizacijo (levo) in nevezano zmes kamnitih zrn (desno) (TSC 06.520, 2009, str. 7)	25
Slika 12: Diagram za določitev dimenzije asfaltne krovne plasti (TSC 06.520, 2009, str. 10)	27
Slika 13: Priporočilo za uporabo bitumenskih veziv za bituminizirane zmesi za asfaltne plasti (TSC 06.300/06.400, 2009, str. 9)	28
Slika 14: Diagram za določitev dimenzije nevezane nosilne plasti (TSC 06.520, 2009, str. 10).....	30
Slika 15: Omrežje javnih cest v Nemčiji.....	33
Slika 16: Naslovnica priročnika Ausschreiben von Asphaltarbeiten (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, str. 1)	35
Slika 17: Primer voziščne konstrukcije (RStO 12, 2012, str. 8).....	37
Slika 18: Preglednica standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij (RStO 12, 2012, str. 19).....	38
Slika 19: Diagram razmejitev razredov materialov glede na zmrzljinsko občutljivost (Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2010, str. 16)	47
Slika 20: Vgraditev voziščne konstrukcije na tla uvrščena v razred občutljivosti na zmrzovanje F1 z doseženo nosilnostjo $E_{v2} \geq 120$ MPa (za Bk0.3, $E_{v2} \geq 100$ MPa) (RStO 12, 2012, str. 13).....	47
Slika 21: Vgraditev voziščne konstrukcije na tla, uvrščena v razred občutljivosti na zmrzovanje F1 z izvedbo stabilizacije (RStO 12, 2012, str. 13).....	48
Slika 22: Karta con zmrzovanja v Nemčiji (RStO 12, 2012, str. 16)	51
Slika 23: Vrste ter mejne debeline plasti asfaltnih plasti (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, str. 20)	53
Slika 24: Omrežje javnih cest v ZDA glede na tip krovne plasti	54
Slika 25: Omrežje javnih cest v ZDA glede na kategorijo ceste	55

Slika 26: Nomogram za rešitev enačbe fleksibilnih voziščnih konstrukcij (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	58
Slika 27: Najbolj pogoste strukture asfaltnih voziščnih konstrukcij (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006).....	60
Slika 28: Klasifikacija vozil po FHWA (Traffic Recorder Instruction Manual, 2012).....	61
Slika 29: Koncept uporabnosti voziščne konstrukcije z uporabo PSI (Hveem, Carmany, 1948, povzeto po Present serviceability index, 2012).....	67
Slika 30: Klimatske regije v ZDA (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	70
Slika 31: Postopek za določitev debelin plasti voziščne konstrukcije z uporabo večplastnega analiznega pristopa (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	73
Slika 32: Izbrane voziščne konstrukcije iz preglednice standardiziranih voziščnih konstrukcij (RStO 12, 2012, str. 19).....	93
Slika 33: Vnos vhodnih parametrov v aplikacijo PaveXpress (PaveXpress, 2017)	96
Slika 34: Rezultat dimenzioniranja z aplikacijo PaveXpress (PaveXpress, 2017).....	96
Slika 35: Predstavitev izračuna plasti in dimenzij voziščne konstrukcij z aplikacijo PaveXpress (PaveXpress, 2017).....	100
Slika 36: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer izredno težke prometne obremenitve (Slovenija)	109
Slika 37: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer izredno težke prometne obremenitve (Nemčija)	110
Slika 38: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer izredno težke prometne obremenitve (ZDA)	110
Slika 39: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo težke prometne obremenitve (Slovenija)....	111
Slika 40: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo težke prometne obremenitve (Nemčija)	112
Slika 41: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo težke prometne obremenitve (ZDA).....	112
Slika 42: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer težke prometne obremenitve (Slovenija)	113
Slika 43: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer težke prometne obremenitve (Nemčija)	114
Slika 44: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer težke prometne obremenitve (ZDA)	114
Slika 45: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G1 (Slovenija)	115
Slika 46: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G1 (Nemčija)	116
Slika 47: Voziščna konstrukcija za primer srednje prometne obremenitve na G1 (ZDA)	116
Slika 48: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G2 (Slovenija)	117
Slika 49: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G2 (Nemčija)	118
Slika 50: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G2 (ZDA).....	118
Slika 51: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer lahke prometne obremenitve (Slovenija)	119
Slika 52: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer lahke prometne obremenitve (Nemčija).....	120
Slika 53 Voziščna konstrukcija/utrditev za primer lahke prometne obremenitve (ZDA)	120

Slika 54: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo lahke prometne obremenitve (Slovenija) ... 121

Slika 55: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo lahke prometne obremenitve (Nemčija)..... 122

Slika 56: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo lahke prometne obremenitve (ZDA) 122

LIST OF TABLES

Table 1: Public road network in Slovenia (adapted from: Slovenian infrastructure agency, 2017).....	5
Table 2: Correlations between various strength and stiffness parameters for subgrade materials (TSC 06.520, 2009, p. 5).....	10
Table 3: Minimum required capping layer thicknesses depending on the grain size (adapted from TSC 06.100, 2003, p. 8).....	10
Table 4: Minimum required unbound granular layer thicknesses depending on the grain size (adapted from TSC 06.200, 2003, p. 9).....	12
Table 5: Minimum required values of deformation modulus E_{v2} , E_{vd} and the E_{v2}/E_{v1} ratio for unbound granular layers (TSC 06.200, 2003, p. 11)	12
Table 6: Average load equivalency factors for different vehicle classes (TSC 06.511, 2009, p. 7).....	14
Table 7: Lane distribution factor (TSC 06.511, 2009, p. 9)	15
Table 8: Lane width factor (TSC 06.511, 2009, p. 9).....	16
Table 9: Slope factor (TSC 06.511, 2009, p. 9).....	16
Table 10: Average traffic growth factor for the design period depending on the average annual traffic increase (adapted from TSC 06.511, 2009, p. 10)	17
Table 11: Relevant design traffic and assigned load class (TSC 06.511, 2009, p. 10).....	18
Table 12: Hydrological conditions (adapted from TSC 06.512, 2003, p. 5)	21
Table 13: Frost susceptibility classification of materials (TSC 06.520, 2009, p. 9).....	22
Table 14: Frost susceptibility classification of materials depending on CBR_3 value (adapted from TSC 06.520, 2009, p. 10).....	23
Table 15: Minimum required thicknesses of frost resistant pavement structure (TSC 06.520, 2009, p. 12).....	23
Table 16: Typical structural layer coefficient values (adapted from TSC 06.520, 2009, p. 8)	24
Table 17: Application and thicknesses of bituminous mixtures for asphalt wearing courses (adapted from TSC 06.300/06.400, 2009, p. 24-28)	28
Table 18: Application and thicknesses of bituminous mixtures for asphalt base and binder courses (adapted from TSC 06.300/06.400, 2009, p. 22-23).....	29
Table 19: Unbound granular layer mixture properties (adapted from povzeto po TSC 06.200, 2003) ..	31
Table 20: Minimum thicknesses of stabilized layers depending on a traffic load class (adapted from TSC 06.520, 2009, p. 11)	32
Table 21: : Relevant design traffic and assigned load classes in Germany (adapted from RStO 12, 2012, p. 10).....	39
Table 22: Load classes for typical design situations according to RAS (adapted from RStO 12, 2012, p. 11).....	42
Table 23: Axle number factor (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)	43

Table 24: Load spectrum quotient (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)	43
Table 25: Lane factor f_1 (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)	43
Table 26: Lane width factor f_2 (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)	44
Table 27: Slope factor f_3 (adapted from RStO 12, 2012, p. 31)	44
Table 28: Average annual increase in heavy traffic p (adapted from RStO 12, 2012, p. 31)	44
Table 29: Average annual growth factor for heavy traffic f_z (adapted from RStO 12, 2012, p. 31).....	45
Table 30: Design traffic load on bus traffic areas and assigned load classes (adapted from RStO 12, 2012, p. 11)	45
Table 31: Traffic areas in maintenance and service areas and assigned load classes (adapted from RStO 12, 2012, p. 11).....	46
Table 32: Parking areas and assigned load classes (adapted from RStO 12, 2012, p. 11)	46
Table 33: Reference values for layer thicknesses required for bearing capacity reasons for unbound granular layers (adapted from RStO 12, 2012, p. 17)	48
Table 34: Initial values for determination of the minimum thickness of the frost resistant pavement structure (adapted from RStO 12, 2012, p. 14)	49
Table 35: Additional or reduced thicknesses due to local conditions (adapted from RStO 12, 2012, p. 15)	50
Table 36: Public road network in the U.S. (National Transportation Statistics, 2017)	54
Table 37: Average load equivalency factors for different vehicle classes (adapted from Trucks and buses, 2012).....	62
Table 38: Guidelines for length of analysis period (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	63
Table 39: Average traffic growth factor G for the design period depending on the average annual traffic increase (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	64
Table 40: Lane distribution factor D_L (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	64
Table 41: Suggested levels of reliability R for various functional classifications (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	65
Table 42: Standard normal deviates for various levels of reliability (adapted from Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006)	66
Table 43: Estimating effective roadbed resilient modulus M_R for flexible pavements (adapted from Von Quintus, Killingsworth, 2007, p. 18).....	68
Table 44: Effective roadbed resilient modulus values M_R (psi), that may be used in the design of flexible pavements for low-volume roads (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	70
Table 45: Quality of drainage (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)	72

Table 46: Recommended m_i values for modifying structural layer coefficients of untreated base and subbase materials in flexible pavements (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	72
Table 47: Minimum thicknesses for pavement courses (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	73
Table 48: Structural characteristics of planned road design	76
Table 49: Traffic data expressed with average annual daily traffic.....	77
Table 50: Average annual daily traffic for different vehicle classes	77
Table 51: Calculation of equivalent single axle load for Example 1 and 2	78
Table 52: Calculation of equivalent single axle load for Example 3, 4 and 5	78
Table 53: Calculation of equivalent single axle load for Example 6 and 7	79
Table 54: Relevant design traffic expected in 30-year design life of a pavement structure	79
Table 55: Load class assignment for relevant design traffic	80
Table 56: Relevant average annual daily traffic according to RStO 12	80
Table 57: Average number of daily axle passes from heavy traffic calculated according to RStO 12 guidelines.....	81
Table 58: Relevant design traffic expected in 30-year design life of pavement structure determined according to RStO 12 guidelines.....	81
Table 59: Load class assignment for relevant design traffic according to RStO 12 guidelines	81
Table 60: Relevant average annual daily traffic according to AASHTO Guide	82
Table 61: Average number of daily axle passes from heavy traffic calculated according to AASHTO guide	82
Table 62: Relevant design traffic expected in 30-year design life of pavement structure determined according to AASHTO Guide	83
Table 63: Basic pavement layers required thicknesses and thickness-indexes (CBR = 11,5 %)	85
Table 64: Pavement layers thicknesses and thickness-indexes (CBR = 11,5 %)	85
Table 65: Required and actual pavement layers thickness-indexes (CBR = 11,5 %)	86
Table 66: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure	86
Table 67: Basic pavement layers required thicknesses and thickness-indexes (CBR = 7 %)	87
Table 68: Pavement layers thicknesses and thickness-indexes (CBR = 7 %)	87
Table 69: Required and actual pavement layers thickness-indexes (CBR = 7 %)	88
Table 70: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure	88
Table 71: Bituminous mixtures used for asphalt surface layers	89
Table 72: Types of bitumen applied in bituminous mixtures used for asphalt surface layers.....	89
Table 73: Mineral aggregates used for stabilized base and unbound base layers.....	90
Table 74: Initial values for determination of the minimum thickness of the frost resistant pavement structure	91

Table 75: Additional or reduced thicknesses due to local conditions	91
Table 76: Minimum thickness of the frost resistant pavement structure according to RStO 12 guidelines	92
Table 77: Thicknesses of frost blanket course according to TSC 06.520	94
Table 78: Thicknesses of frost blanket course according to RStO 12.....	94
Table 79: Road classification applied in pavement design with the PaveXpress application.....	97
Table 80: Design parameters applied in pavement design with the PaveXpress application.....	97
Table 81: Structural layer coefficients and drainage coefficients applied in pavement design with the PaveXpress application	98
Table 82: Calculated pavement layers thicknesses with the PaveXpress application (typical pavement structure layers layers according to AASHTO Guide).....	98
Table 83: Calculated pavement layers thicknesses (typical pavement structure layers according to AASHTO Guide) [cm]	99
Table 84: Calculated pavement layers thicknesses with the PaveXpress application (typical pavement structure layers according to TSC 06.520) [cm]	99
Table 85: Calculated pavement layers thicknesses (typical pavement structure layers according to TSC 06.520) [cm].....	100
Table 86: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure (typical pavement structure layers according to AASHTO Guide).....	101
Table 87: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure (typical pavement structure layers according to TSC 06.520)	101
Table 88: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 1	109
Table 89: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 2	111
Table 90: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 3	113
Table 91: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 4	115
Table 92: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 5	117
Table 93: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 6	119
Table 94: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 7	121
Table 95: Asphalt surface layer thicknesses.....	123
Table 96: Stabilized layer thicknesses	123
Table 97: Unbound granular layer thicknesses	124
Table 98: Pavement structure dimension	125
Table 99: Pavement structure dimension for SLO ₂ , NEM ₁ and ZDA ₂ examples.....	125
Table 100: Formation according to different methods.....	126

LIST OF FIGURES

Figure 1: Typical pavement structure (adapted from TSC 06.300/06.410, 2009, p. 7).....	4
Figure 2: Public road network in Slovenia	6
Figure 3: Road network in DARS and DRSI administration	7
Figure 4: Diagram for determining subgrade quality improvement depending on the capping layer thickness (Žmavc, 2007)	11
Figure 5: Diagram for determining subgrade quality improvement depending on the unbound granular layer quality (Žmavc, 2007)	11
Figure 6: Map of frost penetration depths for Slovenia (TSC 06.512, 2003, p. 12).....	19
Figure 7: Forst index map for Slovenia (TSC 06.512, 2003, p. 13)	20
Figure 8: Correlation between frost index value and frost depth penetration (TSC 06.512, 2003, p. 5)	20
Figure 9: Frost susceptibility soil classification (TSC 06.520, 2009, p. 19)	22
Figure 10: Determination of layer coefficients for bituminous-treated bases (TSC 06.520, 2009, p. 7)	25
Figure 11: Determination of layer coefficients for cement-treated bases and unbound granular layers (TSC 06.520, 2009, p. 7)	25
Figure 12: Diagram for determining asphalt surface layer thickness (TSC 06.520, 2009, p. 10)	27
Figure 13: Recommendations for bituminous layers for asphalt courses (TSC 06.300/06.400, 2009, p. 9).....	28
Figure 14: Diagram for determining unbound granular layer thickness (TSC 06.520, 2009, p. 10).....	30
Figure 15: Public road network in Germany	33
Figure 16: Front cover of manual Ausschreiben von Asphaltarbeiten (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, p. 1).....	35
Figure 17: Pavement structure according to RStO 12 (RStO 12, 2012, p. 8).....	37
Figure 18: Structures with asphalt surface course for carriageways on F2- and F3-subsoil/subgrade (RStO 12, 2012, p. 19).....	38
Figure 19: Frost susceptibility soil classification (Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2010, p. 16).....	47
Figure 20: Structures on F1-soil with $E_{v2} \geq 120$ MPa (for load class Bk0.3 $E_{v2} \geq 100$ MPa) (RStO 12, 2012, p. 13).....	47
Figure 21: Structures on F1-soil with stabilization according to ZTV Beton-StB (RStO 12, 2012, p. 13).....	48
Figure 22: Frost action zones in Germany (RStO 12, 2012, p. 16)	51
Figure 23: Asphalt course types and required thicknesses (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, p. 20).....	53

Figure 24: Public road network in the U.S. according to surface course	54
Figure 25: Public road network in the U.S. according to road category	55
Figure 26: Design chart for flexible pavements based on using mean values for each input (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	58
Figure 27: Some common variations of flexible pavement sections (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006)	60
Figure 28: Vehicle classification using FHWA 13-category scheme (Traffic Recorder Instruction Manual, 2012)	61
Figure 29: Concept of pavement performance using Present Serviceability Index PSI (Hveem, Carmany, 1948, adapted from Present Serviceability index, 2012)	67
Figure 30: U. S. climatic regions (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	70
Figure 31: Procedure for determining thicknesses of layers using a layered analysis approach (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).....	73
Figure 32: Used pavement structures according to a design procedure in RStO 12 guidelines (RStO 12, 2012, p. 19)	93
Figure 33: Input of the design parameters in the PaveXpress application (PaveXpress, 2017).....	96
Figure 34: The result of a pavement design procedure with the PaveXpress application (PaveXpress, 2017)	96
Figure 35: Calculation details with the PaveXpress application (PaveXpress, 2017).....	100
Figure 36: Designed pavement structure subjected to the extremely heavy traffic loading (Slovenia)	109
Figure 37: Designed pavement structure/formation subjected to the extremely heavy traffic loading (Germany)	110
Figure 38: Designed pavement structure/formation subjected to the extremely heavy traffic loading (U.S.).....	110
Figure 39: Designed pavement structure subjected to the very heavy traffic loading (Slovenia).....	111
Figure 40: Designed pavement structure/formation subjected to the very heavy traffic loading (Germany)	112
Figure 41: Designed pavement structure/formation subjected to the very heavy traffic loading (U.S.)	112
Figure 42: Designed pavement structure/formation subjected to the heavy traffic loading (Slovenia)	113
Figure 43: Designed pavement structure/formation subjected to the heavy traffic loading (Germany)	114
Figure 44: Designed pavement structure/formation subjected to the heavy traffic loading (U.S.).....	114
Figure 45: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Slovenia)	115

Figure 46: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Germany)	116
Figure 47: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (U.S.)..	116
Figure 48: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Slovenia)	117
Figure 49: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Germany)	118
Figure 50: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (U.S.)..	118
Figure 51: Designed pavement structure/formation subjected to the light traffic loading (Slovenia).	119
Figure 52: Designed pavement structure/formation subjected to the light traffic loading (Germany)	120
Figure 53: Designed pavement structure/formation subjected to the light traffic loading (U.S.)	120
Figure 54: Designed pavement structure/formation subjected to the very light traffic loading (Slovenia)	121
Figure 55: Designed pavement structure/formation subjected to the very light traffic loading (Germany).....	122
Figure 56: Designed pavement structure/formation subjected to the very light traffic loading (U.S.)	122

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> ; Ameriško združenje za državne ceste
AC	Avtocesta
AVA	<i>Ausschreiben von Asphaltarbeiten</i> ; Razpisi asfaltnih del
B	<i>Dimensionierungsrelevante Beanspruchung</i> ; Merodajna prometna obremenitev
BASt	<i>Bundesanstalt für Straßenwesen</i> ; Zvezni raziskovalni inštitut za ceste
BMVI	<i>Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur</i> ; Ministrstvo za promet in digitalno infrastrukturo
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> ; CBR vrednost deformabilnosti materiala
DARS	Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji
DAV	<i>Deutscher Asphaltverband</i> ; Nemško združenje za asfalt
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> ; Nemški inštitut za standardizacijo
DOT	<i>United States Department of transportation</i> ; Ministrstvo za infrastrukturo v Združenih državah Amerike
DRSI	Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo
DTA ^(SV)	<i>Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs</i> ; Povprečno število prehodov osi težkih tovornih vozil
DTV ^(SV)	<i>Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugarten des Schwerverkehrs</i> ; Povprečni letni dnevni promet s težkimi tovornimi vozili
ESAL	<i>Equivalent single axle load</i> ; Ekvivalentna enoosna obremenitev
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i> ; Zvezna uprava za ceste
FGSV	<i>Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen</i> ; Združenje za raziskovanje cest in prometa
HC	Hitra cesta
GI	Glavna cesta I-tega reda
LEF	<i>Load Equivalency Factor</i> ; Faktor ekvivalentnosti

MEPDG	<i>Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide</i> ; Mehansko-empirični priročnik za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij
MZI	Ministrstvo za infrastrukturo
NOO	Nominalna osna obremenitev
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
PSI	<i>Present Serviceability Index</i> ; Trenutni indeks uporabnosti
RDO	<i>Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht</i> ; Smernice za dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij
RI	Regionalna cesta I-tega reda
RS	Republika Slovenija
RStO	<i>Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen</i> ; Standardizirane smernice za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij
SN	<i>Structural number</i> ; Strukturno število
SV	<i>Schwerverkehr</i> ; Promet s težkimi tovornimi vozili
TSC	Tehnična specifikacija
USCS	<i>Unified Soil Classification System</i> ; Poenoten sistem klasificiranja zemljin
ZDA	Združene države Amerike

1 UVOD

Prometna infrastruktura predstavlja enega izmed temeljev današnje družbe. Poleg osnovnega namena; vzpostavitve povezav med geografsko oddaljenimi lokacijami, se stopnja razvitosti prometne infrastrukture vsekakor odraža tudi v gospodarskem napredku države. V rast in razvoj usmerjena družba lahko učinkovito deluje le v primeru dobro povezanih tako mestnih kot podeželskih središč, med katerimi je omogočena mobilnost prebivalcev ter nemoten pretok proizvodnih virov in končnih produktov.

Kakovostna cestna infrastruktura je eden temeljnih pogojev za skladen regionalni razvoj, ustvarjanje najboljših možnosti za učinkovit potek gospodarskih dejavnosti in posredno za poselitev primernih območij države. Bistvenega pomena za državo je zagotoviti nujen nadaljnji razvoj državnega cestnega omrežja, zgraditi najboljše mogoče cestno omrežje ter vzdrževati in dograjevati že zgrajeno omrežje na primerni ravni. V zadnjih dvajsetih letih se je v Republiki Sloveniji pri razvoju državnih cest dajala prednost predvsem dograjevanju cest za daljinski promet, to je avtocest na vseevropskem cestnem omrežju in hitrih cest. Preostalo omrežje državnih cest (glavnih in regionalnih) se je predvsem vzdrževalo in ohranjalo, kar ima za posledico zelo slabo splošno stanje obstoječega omrežja. Le 29,58 odstotkov glavnih in regionalnih cest je v zelo dobrem in dobrem stanju ter več kot polovica, 50,32 odstotkov v zelo slabem stanju (Strategija razvoja prometa v Republiki Sloveniji do leta 2030, 2017).

Naložbe v prometno infrastrukturo v Republiki Sloveniji zahtevajo precejšnja sredstva, ki jih država iz lastnih proračunskih sredstev ne more v celoti zagotoviti (Strategija razvoja prometa v Republiki Sloveniji do leta 2030, 2017). S tega vidika bi bilo za zagotovitev ustrezne cestne infrastrukture potrebno še več namena posvetiti bolj racionalni gradnji cest in s tem posledično izboljšati mobilnost in prometno varnost ter zmanjšati stroške upravljalcev oziroma stroške vzdrževanja.

Propadanje ter življenjska doba ceste je v veliki meri odvisna od ustreznosti voziščne konstrukcije, ki predstavlja osnovni sestavni del ustroja ceste. Pri projektiranju in gradnji cest je zato izrednega pomena posvetiti precejšnjo pozornost prav zasnovi in projektiranju voziščne konstrukcije. Le-ta mora biti optimalno dimenzionirana in v načrtovanem obdobju sposobna prenesti predvidene prometne obremenitve. Z vidika uporabnosti ceste voziščna konstrukcija vsekakor ne sme biti poddimenzionirana, saj bi se s tem pospešilo propadanje ceste ter posledično skrajšalo življenjsko dobo ceste. Na drugi strani pa je z vidika investicije in vloženih finančnih sredstev zelo pomembno nameniti veliko pozornosti optimalni sestavi voziščne konstrukcije ter posledično dimenzionirati voziščno konstrukcijo, ki ob zagotavljanju ustrezne prometne površine in varne vožnje ne bo predimenzionirana.

1.1 Predstavitev problematike

Dimenzioniranje voziščne konstrukcije oziroma določitev sestave in dimenzij cestnega telesa se v različnih državah izvaja po različnih metodah. Osnovni namen postopka dimenzioniranja je projektirati ter zgraditi varno in uporabno voziščno konstrukcijo, je pa vsekakor tudi pomembno zasnovati voziščno konstrukcijo z optimalno sestavo, ki ne bo poddimenzionirana ali predimenzionirana. V Sloveniji se dimenzioniranje voziščnih konstrukcij izvaja po empiričnem postopku, definiranem v tehničnih specifikacijah. Obstoječe tehnične specifikacije se oslanjajo na starejše tuje vire in se v zadnjih letih niso spreminjale oziroma dopolnjevale, zaradi česar obstaja

možnost, da obstoječa metoda dimenzioniranja voziščnih konstrukcij ni nujno najbolj ustrezna in ne rezultira v najbolj optimalno zasnovani voziščni konstrukciji.

1.2 Cilj in namen dela

V magistrski nalogi se bo z namenom izvedbe primerjave med metodo dimenzioniranja voziščnih konstrukcij, ki se uporablja v Sloveniji (po tehničnih specifikacijah) in metodami v uporabi v Nemčiji in ZDA, preučilo omenjene metode. Glede na to, da je velika večina voziščnih konstrukcij v Sloveniji prekrita z asfaltno krovno plastjo, se bodo obravnavane metode nanašale na fleksibilne voziščne konstrukcije. Cilj tega dela je odgovoriti na vprašanje, ali je metoda dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij v Sloveniji ustrezno zasnovana oziroma, ali so voziščne konstrukcije v Sloveniji, v primerjavi s tistimi v Nemčiji in ZDA, poddimenzionirane oziroma predimenzionirane. Da bi se doseglo zastavljeni cilj oziroma poiskalo najbolj ustrezen odgovor na zastavljeno vprašanje, se bo poleg primerjave teoretičnih osnov izvedla tudi primerjava rezultatov dimenzioniranja za nekaj tipičnih primerov prometnih obremenitev.

1.3 Struktura dela

Magistrsko delo bo sestavljeno iz treh glavnih delov, povezanih v več poglavij. Prvi del bo zajemal opis voziščne konstrukcije ter podrobno predstavitev izbranih metod dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij v Sloveniji, Nemčiji in ZDA. Metoda dimenzioniranja bo za vsako državo predstavljena v posameznem poglavju, kjer bodo opisano splošno stanje na področju cest ter podroben postopek dimenzioniranja in vsi merodajni parametri za določitev sestave in dimenzij voziščne konstrukcije.

V drugem delu bo predstavljen računski postopek dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij za različne primere prometnih obremenitev. Postopek dimenzioniranja bo izveden po vseh treh metodah na podlagi teoretičnih ugotovitev iz prvega dela naloge.

Zadnji del naloge je namenjen primerjavi obravnavanih metod dimenzioniranja. Primerjava bo rezultat dognanj iz predhodnih poglavij in bo sestavljena iz dveh delov. Prvi del bo obsegal primerjave teoretičnih osnov metod, v drugem delu pa bo poudarek predvsem na primerjavi rezultatov računskega postopka dimenzioniranja, izvedenega v poglavju 6.

Ob koncu dela bodo predstavljene ključne ugotovitve, pridobljene na podlagi primerjave obravnavanih metod, ter ocenjena ustreznost metode dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij. Zaključki bodo zapisani v zadnjem, 8. poglavju.

2 VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA

2.1 Definicija

Cesta je gradbeni objekt, ki se sestoji iz več plasti različnih materialov. Pri projektiranju cest in cestnih objektov je potrebno upoštevati sodobne postopke tehnologije projektiranja, gradnje in vzdrževanja in tako poskrbeti za racionalno projektno rešitev, ki je prilagojena ureditvi okolja in prostora. Materiale in dimenzije plasti ceste je potrebno izbrati tako, da bodo v času uporabe prenesli predvidene prometne obremenitve.

Po Pravilniku o projektiranju cest (2005) je voziščna konstrukcija konstrukcijski element ceste, sestavljen iz obrabne plasti, zgornje vezane plasti in spodnje nevezane plasti. Kvaliteta in debelina plasti ustrezata pričakovani prometni obtežbi ceste z upoštevanjem klimatskih in geomehanskih pogojev področja. Voziščna konstrukcija se v Sloveniji dimenzionira po veljavnih tehničnih specifikacijah.

Žmavc (2007) definira voziščno konstrukcijo kot zgornji ustroj prometne površine, ki se sestoji iz ene ali več nosilnih plasti in obrabne plasti. Njena funkcija je prevzemanje in prenašanje prometne obremenitve na posteljico oz. podlago ter preprečevanje pronicanja vode do podlage.

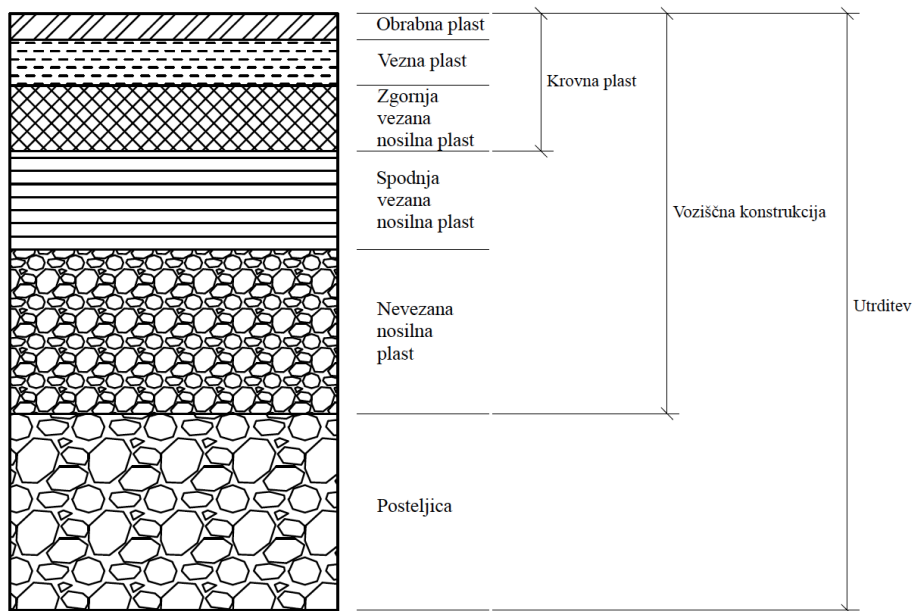
2.2 Sestava in vrste voziščne konstrukcije

Voziščna konstrukcija je praviloma temeljena na temeljnih tleh (lahko tudi na izboljšanih temeljnih tleh oz. na zaključni plasti nasipa ali posteljici) ter v značilnem prerezu zgrajena iz obrabne plasti, nosilne plasti ter nevezane nosilne plasti.

Podrobneje si plasti v voziščni konstrukciji sledijo od zgoraj navzdol v naslednjem vrstnem redu:

1. obrabna/zaporna/drenažna plast,
2. vezna in/ali vezana nosilna plast,
3. spodnja vezana nosilna (stabilizirana) plast,
4. nevezana nosilna plast.

Sestava voziščne konstrukcije je prikazana na Slika 1.



Slika 1: Struktura voziščne konstrukcije (povzeto po TSC 06.300/06.410, 2009, str. 7)

Figure 1: Typical pavement structure (adapted from TSC 06.300/06.410, 2009, p. 7)

Voziščna konstrukcija, ki ni vedno nujno sestavljena iz vseh naštetih plasti, predstavlja zgornji ustroj ceste, posteljica pa predstavlja spodnji ustroj ceste. Vsaka plast v voziščni konstrukciji ima svojo vlogo. Z ustreznim zaporedjem plasti je potrebno zagotoviti da:

- se togost plasti zgoraj navzdol postopoma zmanjšuje,
- vodoprepustnost plasti od zgoraj navzdol narašča.

Za voziščnih konstrukcijah z asfaltnimi krovnimi plastmi to pomeni, da mora praviloma od zgoraj navzdol:

- velikost nazivne zrnivosti naraščati,
- delež votlin naraščati in
- delež veziva upadati.

Osnovni namen načrtovanja voziščnih konstrukcij je tako združiti različne plasti materialov, ki se jih lahko gospodarno proizvede, tako da bo zgrajena voziščna konstrukcija sposobna prevzeti predvidene prometne obremenitve za določen čas.

Glede na uporabljene materiale v obrabni plasti delimo vozišča na makadamska in tlakovana, ki so pri določenih pogojih lahko optimalna ter na asfaltna in cementno betonska vozišča, ki predstavljajo sodobna vozišča za obstoječe prometne pogoje. V Sloveniji je večina voziščnih konstrukcij fleksibilnih oziroma asfaltnih. S tem razlogom se bom v nadaljevanju magistrske naloge osredotočila na značilnosti in dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij.

3 DIMENZIONIRANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V SLOVENIJI

3.1 Splošno

Dimenzioniranje voziščne konstrukcije je postopek, s katerim se določijo dimenzije in sestava voziščne konstrukcije. Le-ta mora kot celota, sestavljena iz plasti različnih materialov, v predvideni življenjski dobi, prevzeti prometne obremenitve ob upoštevanju pogojev okolja. Končni rezultat postopka je voziščna konstrukcija, s točno določenimi dimenzijami in materiali posameznih plasti, ki si sledijo v točno določenem zaporedju.

Dandanes je v svetu uveljavljenih več različnih postopkov za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij, ki so v osnovi razdeljeni na teoretične, empirične in standardizirane. V veliki meri se uporabljajo kombinirani postopki, tako se na primer empirični ali standardizirani postopek preveri s teoretičnim. Uporablja se lahko tudi ena sama vrsta postopka, ali pa je v uporabi več posameznih postopkov glede na dane pogoje. V Sloveniji je za dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij uveljavljen empiričen postopek predpisan v tehničnih specifikacijah. Tehnične specifikacije in tehnične smernice je potrebno, po Zakonu o cestah (2010), uporabljati pri projektiranju, gradnji in vzdrževanju javnih cest ter določanju prometne ureditve na javnih cestah. Pripravijo jih tehnični odbori, imenovani s strani ministra, pristojnega za promet. Zakon o javnih cestah (2006) definira tehnično specifikacijo za javne ceste kot od standarda neodvisen dokument, ki določa različne tehnične zahteve, kot so: kakovost, dimenzije, varnost, označevanje, preskušanje idr. Zahteve morajo biti izpolnjene pri izdelkih, storitvah in postopkih v vseh fazah življenjskega cikla cest.

Med raziskovanjem teoretičnih osnov dimenzioniranja voziščnih konstrukcij v Sloveniji se je naletelo tudi na diplomsko nalogo »Primerjava metod dimenzioniranja voziščnih konstrukcij po TSC in nemških smernicah ter izdelava kataloga voziščnih konstrukcij«. V nalogi je izdelan katalog voziščnih konstrukcij, ki bi v prihodnje lahko bil uporaben tudi za Slovenijo, saj je prednost kataloškega izbora v tem, da je metoda hitrejša, možnost grobe napake pa bistveno manjša (Pezdir, 2016).

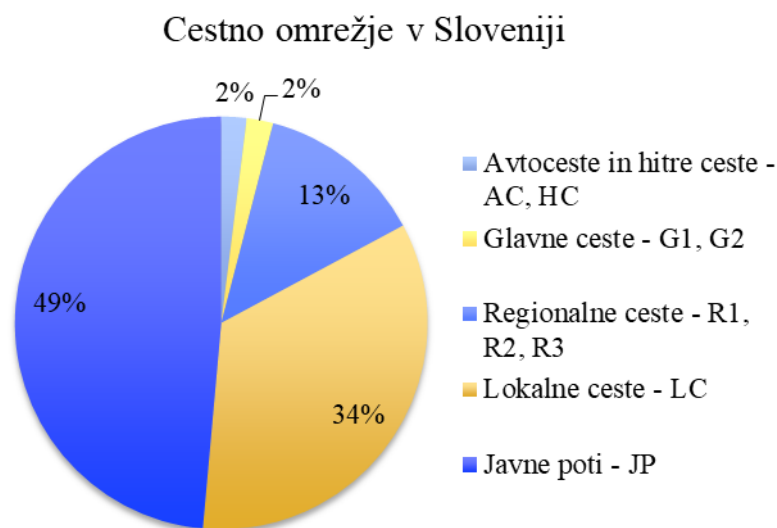
Javne ceste predstavljajo celotno javno cesto omrežje v Republike Slovenije (v nadaljevanju: RS) skupne dolžine več kot 39.000 kilometrov. Glede na pomen cest za povezovanje in odvijanje prometa v določenem prostoru, so javne ceste razdeljene na državne ceste, ki so v lasti RS in občinske ceste, ki so v lasti občin.

Preglednica 1: Omrežje javnih cest v Republiki Sloveniji (povzeto po: Direkcija RS za infrastrukturo, 2017)

Table 1: Public road network in Slovenia (adapted from: Slovenian infrastructure agency, 2017)

Kategorija ceste	Dolžina [km]
Avtoceste in hitre ceste - AC, HC	773
Glavne ceste - G1, G2	814
Regionalne ceste - R1, R2, R3	5.128
Lokalne ceste - LC	13.383
Javne poti - JP	18.987
Skupaj	39.085

Preglednica 1 prikazuje dolžino javnega cestnega omrežja v RS glede na izbrano kategorijo ceste. Podatki so grafično prikazani tudi v diagramu na Slika 2. Iz diagrama je razvidno, da največji delež omrežja, skoraj polovico, predstavljajo javne poti. Lokalne regionalne ceste skupaj prav tako predstavljajo precejšen delež (47 %), medtem ko so glavne ceste in avtoceste najmanj zastopane.



Slika 2: Omrežje javnih cest v Sloveniji glede na kategorijo ceste

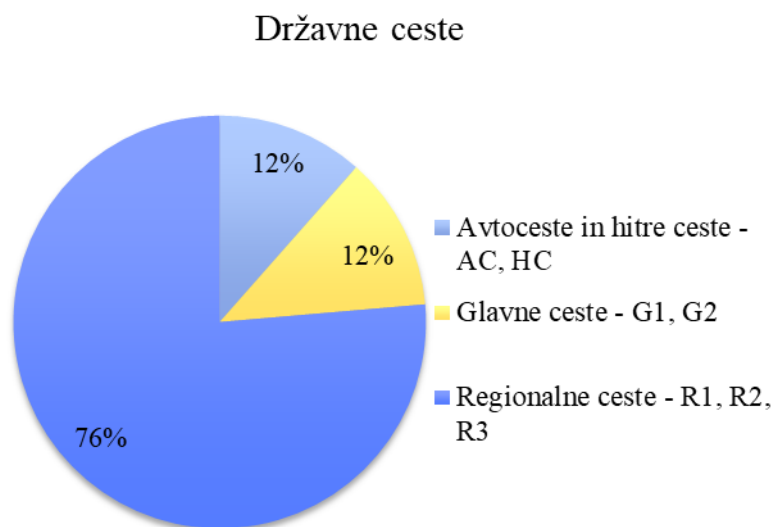
Figure 2: Public road network in Slovenia

Po podatkih Direkcije RS za infrastrukturo (v nadaljevanju DRSI) znaša skupna dolžina omrežja državnih cest 6.715 kilometrov. Državne ceste so kategorizirane kot avtoceste (AC), hitre ceste (HC), glavne ceste I. in II. reda (G1 in G2) ter regionalne ceste I., II. in III. reda (R1, R2 in R3) ter regionalne turistične ceste. Za upravljanje, vzdrževanje in razvoj državnih cest skrbita Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (v nadaljevanju DARS), ki je pristojna za avtoceste in hitre ceste ter DRSI, v pristojnosti katere so glavne in regionalne ceste. Za občinske ceste razdeljene na lokalne ceste in javne poti skrbijo občine (Ministrstvo za infrastrukturo, 2016).

Naloge na področjih cestnega, železniškega, pomorskega, in zračnega prometa, kot tudi na področju plovbe po celinskih vodah, prometne infrastrukture, rudarstva, žičniških naprav, energetike, učinkovite rabe in obnovljivih virov energije ter trajnostne mobilnosti in prometne politike, v Sloveniji upravlja Ministrstvo za infrastrukturo (v nadaljevanju MZI).

MZI je razdeljeno na več delovnih področij, za katere skrbijo za to pristojni direktorati (O Ministrstvu, 2016). Eden izmed organov v sestavi MZI je tudi DRSI, v pristojnosti katere je graditev, vzdrževanje in varstvo glavnih, regionalnih ter dela hitrih cest ter izvajanje strokovno-tehničnih, razvojnih, organizacijskih in upravnih nalog, povezanih s tem. Med naloge DRSI sodijo tudi priprava predlogov za investicije v državne ceste v njeni pristojnosti, usklajevanje pri projektiranju, graditvi in obnovah cest in objektov na teh cestah. Zadolžitve DRSI so tudi gradnja, nadgradnja, obnova in vzdrževanje javne železniške infrastrukture ter druge naloge, določene z zakoni in podzakonskimi predpisi, ki urejajo javno železniško infrastrukturo (O Direkciji Republike Slovenije za infrastrukturo, 2016).

Slika 3 prikazuje deleže posameznih kategorij cest, ki so v upravljanju DARS-a ter DRSI-a.



Slika 3: Omrežje državnih cest v upravljanju DARS-a in DRSI-a

Figure 3: Road network in DARS and DRSI administration

Družba za avtoceste v RS, d.d., skladno z Zakonom o Družbi za avtoceste v RS (2010) upravlja in vzdržuje omrežje avtocest in hitrih cest v RS ter je upravičenka do sredstev Kohezijskega sklada. DARS v skladu z razvojnimi programi opravlja naloge v zvezi s:

- prostorskim načrtovanjem in umeščanjem avtocest v prostor ter pridobivanjem zemljišč in drugih nepremičnin za avtocestno gradnjo;
- gradnjo in obnavljanjem avtocest ter finančnim inženirstvom sredstev, namenjenih gradnji avtocest in hitrih cest ter odplačilu posojil, pri čemer so medsebojne pravice in obveznosti RS in DARS s tega področja določene v agentski pogodbi.

Medsebojne pravice in obveznosti RS in DARS glede opravljanja nalog upravljanja in vzdrževanja so določene v koncesijski pogodbi ter se uresničujejo kot gospodarska javna služba.

3.2 Predpisi na področju dimenzioniranja cest

Ključni predpisi s področja cest, ki urejajo dimenzioniranje fleksibilnih voziščnih konstrukcij v RS so:

- Zakon o cestah – ZCes-1 (Uradni list RS št. 109/10, 48/12, 36/14 – odl. US in 46/15)
- Pravilnik o projektiranju cest (Uradni list RS, št. 91/05, 26/06, 109/10 – Zces-1)
- Navodilo o pripravljanju in sprejemanju tehničnih specifikacij za javne ceste ((Uradni list RS, št. 69/98 in 109/10 – ZCes-1)
- TSC 06.520 : 2009 Projektiranje, Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij
- TSC 06.511 : 2009 Prometne obremenitve, Določitev in razvrstitev
- TSC 06.512 : 2003 Projektiranje, Klimatski in hidrološki pogoji
- TSC 06.720 : 2003 Meritve in preiskave, Deformacijski moduli vgrajenih materialov
- TSC 06.100 : 2003 Kamnita posteljica in povozni plato
- TSC 06.200 : 2003 Nevezane nosilne in obrabne plasti
- TSC 06.320 : 2001 Vezane spodnje nosilne plasti s hidravličnimi vezivi

- TSC 06.330 : 2003 Vezane spodnje nosilne plasti z bitumenskimi vezivi (po vročem postopku)
- TSC 06.416 : 2003 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti, Tankoplastne prevleke
- TSC 06.417 : 2001 Vezane obrabne in zaporne plasti, Površinske prevleke
- TSC 06.450 : 2005 Krovne plasti iz asfaltnih zmesi na dilatacijah
- TSC 06.300 / 06.410 : 2009 Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti
- TSC 06.541 : 2008 Projektiranje, Dimenzioniranje ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij

Zakon o cestah (2010) določa in ureja:

- status in kategorizacijo javnih cest,
- enotna pravila za gradnjo, upravljanje in vzdrževanje vseh javnih cest ter pogoje za uporabo nekategoriziranih cest, ki se uporabljajo za javni cestni promet, zaradi zagotavljanja enakih pogojev za varno odvijanje cestnega prometa na celotnem cestnem omrežju,
- obvezno gospodarsko javno službo za zagotavljanje stanja javnih cest za varen in neoviran promet,
- upravljanje, gradnjo, vzdrževanje in varstvo javnih cest ter prometa na njih.

Z 9. členom Zakona o cestah (2010) je določena gradnja in vzdrževanje javnih cest, ki mora biti v javnem interesu. Javne ceste se morajo načrtovati, projektirati, graditi in vzdrževati na način in pod pogoji, kot jih določajo predpisi, ki urejajo ceste, predpisi, ki urejajo varstvo okolja, prostorsko načrtovanje in gradnjo objektov, ter tiste tehnične smernice, katerih uporaba je obvezna. Minister, pristojen za promet, v soglasju z ministrom, pristojnim za prostorske in gradbene zadeve, predpiše pravila za projektiranje cest in projektiranje in gradnjo cestnih priključkov na javne ceste ipd.

3.3 Metoda dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij po TSC 06.520 : 2009 **Projektiranje – Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij**

V Sloveniji je za dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij uveljavljen empiričen postopek, predpisan v tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.520 : 2009 Projektiranje – Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij (v nadaljevanju TSC 06.520). Z omenjenim postopkom se določajo dimenzije voziščnih konstrukcij na vseh površinah, ki so namenjene prometu z motornimi vozili, zgrajene pa so na ustreznih temeljnih tleh oziroma posteljici. TSC 06.520 predstavlja osnovo za določitev skupne debeline voziščne konstrukcije, kot tudi debelin plasti posameznih materialov.

TSC 06.520 temelji na rezultatih AASHO testa (American Association of State Highway Officials), dopolnjenih s preveritvami merodajnih napetosti in deformacij na mejnih površinah posameznih plasti v voziščni konstrukciji.

Dimenzioniranje temelji na predpostavki, da so vsi navedeni vplivi na obravnavanem odseku ceste podobni in se ne bodo spremenili od predvidenih. Vhodni podatki dimenzioniranja voziščne konstrukcije po TSC 06.520 (2009) so:

- nosilnost podlage oziroma posteljice,
- merodajna dnevna prometna obremenitev T_d ,
- doba trajanja voziščne konstrukcije,
- uporabnost vozne površine na koncu dobe trajanja p ,

- klimatski in hidrološki pogoji,
- značilnosti materialov v načrtovani voziščni konstrukciji.

3.4 Nosilnost podlage

Podlaga voziščne konstrukcije predstavlja območje pod plastjo ali slojem, ki se gradi, njena naloga pa je prevzem prometnih obremenitev. V primeru voziščne konstrukcije so lahko podlaga raščena temeljna tla, nasip ali kamnita posteljica. Nosilnost podlage pomeni mehansko odpornost planuma vgrajenega materiala proti obremenitvam, ki jim bo podlaga izpostavljena.

Žmavc (2007) nosilnost dvoumno opredeljuje in sicer lahko nosilnost pomeni:

- odpornost proti preoblikovanju,
- obremenitev, pri kateri se zaznajo prve poškodbe ali
- sposobnost raznosa obremenitve.

TSC 06.520 (2009) navaja kot enega izmed osnovnih pogojev za podlago pod voziščno konstrukcijo čimbolj enakomerne geomehanske karakteristike materiala, s katerimi se lahko zagotovi ustrezno enakomerno nosilnost na čim daljših odsekih, oziroma kar na celotnem obravnavanem ali na vsaj 500 m dolgem odseku. Za določitev nosilnosti podlage pod voziščno konstrukcijo oziroma posteljice je potrebno uporabiti postopke opredeljene v TSC 06.720 : 2003 Meritve in preiskave – Deformacijski moduli vgrajenih materialov (v nadaljevanju TSC 06.720). Vrednosti deformabilnosti materialov se odvisno od namena uporabe in načina meritev v cestogradnji določijo z uveljavljenimi postopki meritev :

- statičnih deformacijskih modulov E_{vs} ,
- dinamičnih deformacijskih modulov E_{vd} ,
- modulov stisljivosti M_E ,
- modulov reakcije tal k_s in
- vrednosti CBR.

Za določitev dimenzij voziščnih konstrukcij je merodajna vrednost kalifornijskega indeksa nosilnosti CBR (California Bearing Ratio). Nosilnost podlage mora biti čim večja, najmanj pa mora vrednost CBR znašati 7 % oziroma izraženo z deformacijskim modulom $E_{v2} = 45$ MPa. Če temeljna tla iz naravnega materiala ne zagotavljajo ustrezne nosilnosti podlage za nadgrajevanje voziščne konstrukcije, je potrebno le-ta na ustrezen način izboljšati, utrditi ali stabilizirati.

V naslednji preglednici so navedene informativne korelativne vrednosti indeksa CBR_2 in vrednosti deformacijskih modulov E_{v2} ter modulov stisljivosti M_E (TSC 06.520, 2009).

Preglednica 2: Korelacije vrednosti nosilnosti materialov v podlagi/temeljnih tleh (TSC 06.520, 2009, str. 5)

Table 2: Correlations between various strength and stiffness parameters for subgrade materials (TSC 06.520, 2009, p. 5)

Klasifikacija materiala po USCS	Vrednost CBR ₂ [%]	Modul stisljivosti M _E [MN/m ²]	Deformacijski modul E _{v2} [MN/m ²]
ML, MH, CH	3	4	15
CL, SC	5	8	20
GC, SM	7	13	45
GC, SP	10	20	60
SW, GM	15	35	80
GP, GW	20	50	100

V primeru premalo nosilne podlage je eden izmed ustreznih ukrepov vgradnja kamnite posteljice. Po TSC 06.520 (2009) kamnita posteljica predstavlja vrhno plast nasipa ali temeljnih tal, sestavljena pa je iz mehansko stabilizirane naravne, mešane ali drobljene zmesi kamnitih zrn. Kamnita posteljica ima posebne lastnosti, ki se dosežejo z ustreznimi gradbenotehničnimi ukrepi. Tako se lahko z izboljšavo, stabiliziranjem ali utrditvijo doseže povečano ustrezno nosilnost podlage za voziščno konstrukcijo ali zmanjšano občutljivost na učinke mraza. Napotki za izdelavo kamnite posteljice ter tehnične zahteve za kakovost izvedbe in materialov so podane v TSC 06.100 : 2003 Kamnita posteljica in povozni plato (v nadaljevanju TSC 06.100). Nosilnost oz. vrednosti deformacijskih modulov, izmerjenih na planumu kamnite posteljice morajo znašati $E_{v2} > 80 \text{ MN/m}^2$ oz. $E_{vd} > 40 \text{ MN/m}^2$, na planumu povoznega platoja pa $E_{v2} > 50 \text{ MN/m}^2$ oz. $E_{vd} > 25 \text{ MN/m}^2$. V Preglednica 3 so podane najmanjše potrebne debeline zgoščene plasti kamnite posteljice v odvisnosti od največjega zrna v zmesi.

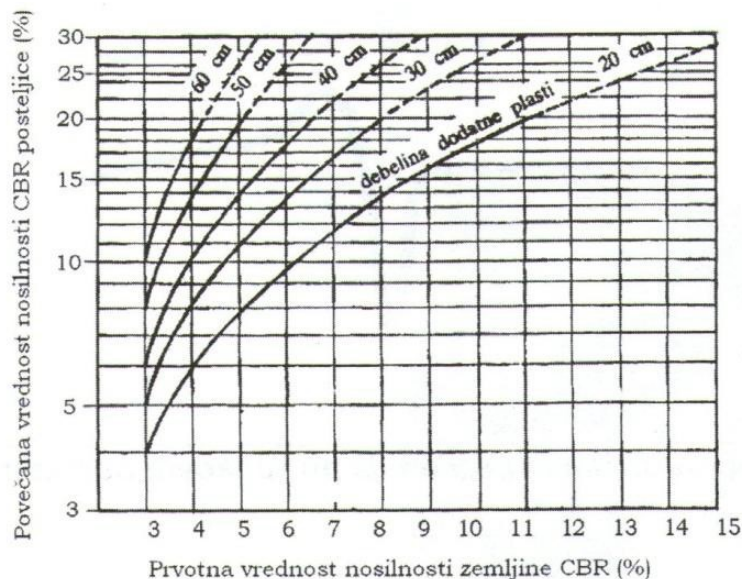
Preglednica 3: Najmanjša potrebna debelina plasti kamnite posteljice v odvisnosti od velikosti zrn v zmesi (povzeto po TSC 06.100, 2003, str. 8)

Table 3: Minimum required capping layer thicknesses depending on the grain size (adapted from TSC 06.100, 2003, p. 8)

Velikost zrn v zmesi (mm)	do 31	do 63	do 125
Najmanjša debelina plasti (cm)	≥ 15	≥ 20	≥ 30

Debelino kamnite posteljice ali povoznega platoja predpisano v projektu se doseže z zgostitvijo razprostrte zmesi kamnitih zrn.

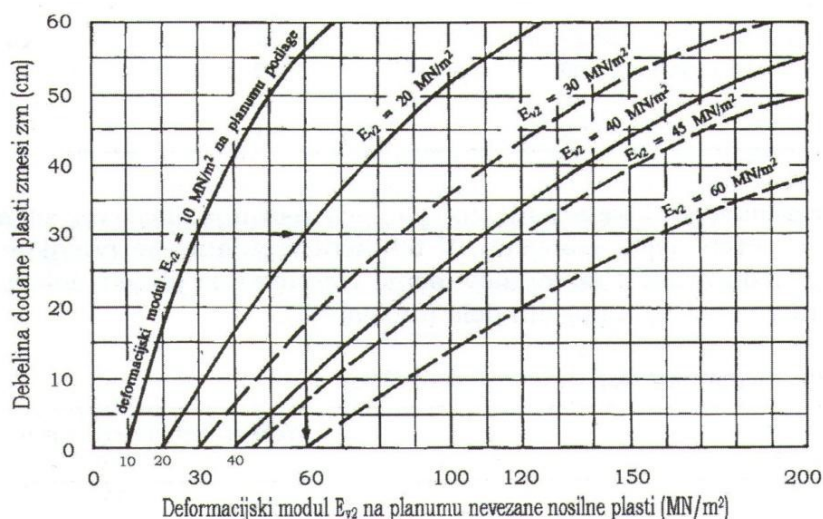
Izračun oz. korelacije v obliki diagramov za dodatne debeline plasti primerne materiala za ustrezno povečanje prvotne nosilnosti temeljnih tal različni avtorji podajajo na različne načine. Žmavc (2007) za povečanje prvotne vrednosti nosilnosti CBR zemljine v podlagi na izbrano večjo vrednost podaja diagram na Slika 4.



Slika 4: Diagram za določitev izboljšane nosilnosti podlage v odvisnosti od debeline vgrajene posteljice (Žmavc, 2007)

Figure 4: Diagram for determining subgrade quality improvement depending on the capping layer thickness (Žmavc, 2007)

Iz zgornje slike je razvidno, da se lahko npr. za podlago, ki dosega mejno vrednost nosilnosti CBR = 7 %, z dodatno plastjo, debeline 20 cm, doseže izboljšano nosilnost (CBR = 11,5 %) oziroma s posteljico, debeline 30 cm, nosilnost CBR = 16,5 % in podobno. Poleg vgraditve posteljice predstavlja ustrezno rešitev tudi povečanje spodnje nosilne plasti iz nevezane zmesi kamnitih zrn, kot je prikazano v diagramu na Slika 5.



Slika 5: Diagram za določitev izboljšane nosilnosti podlage v odvisnosti od debeline nevezane nosilne plasti (Žmavc, 2007)

Figure 5: Diagram for determining subgrade quality improvement depending on the unbound granular layer quality (Žmavc, 2007)

Diagram na Slika 5 se uporablja po enakem principu kot diagram za vgraditev posteljice, le da so v tem primeru kot merodajne vrednosti nosilnosti podane vrednosti deformacijskih modulov E_{v2} .

Napotki za izdelavo nevezane nosilne plasti ter tehnične zahteve za kakovost izvedbe in materialov so podane v TSC 06.200 : 2003 Nevezane nosilne in obrabne plasti (v nadaljevanju TSC 06.200). V Preglednica 4 so podane najmanjše potrebne debeline zgoščene nevezane nosilne plasti v odvisnosti od največjega zrna v zmesi.

Preglednica 4: Najmanjša potrebna debelina nevezane nosilne plasti v odvisnosti od velikosti zrn v zmesi (povzeto po TSC 06.200, 2003, str. 9)

Table 4: Minimum required unbound granular layer thicknesses depending on the grain size (adapted from TSC 06.200, 2003, p. 9)

Velikost zrn v zmesi (mm)	do 22	do 31	do 45
Najmanjša debelina plasti (cm)	≥ 12	≥ 15	≥ 20

Debelino nevezane nosilne plasti predpisano v projektu se doseže z zgostitvijo razprostrte zmesi kamnitih zrn. Zahtevana nosilnost oz. vrednosti deformacijskih modulov za nevezanih nosilnih plasteh so podane v Preglednica 5.

Preglednica 5: Zahtevane vrednosti deformacijskih modulov E_{v2} in E_{vd} ter razmerij E_{v2}/E_{v1} na nevezanih nosilnih plasteh (TSC 06.200, 2003, str. 11)

Table 5: Minimum required values of deformation modulus E_{v2} , E_{vd} and the E_{v2}/E_{v1} ratio for unbound granular layers (TSC 06.200, 2003, p. 11)

Zmes kamnitih zrn	Prometna obremenitev					
	težka			srednja ali lahka		
	Zahtevane vrednosti					
	E _{v2}	E _{v2} /E _{v1}	E _{vd}	E _{v2}	E _{v2} /E _{v1}	E _{vd}
	[MN/m ²]		[MN/m ²]	[MN/m ²]		[MN/m ²]
naravna	≥ 100	≤ 2,2	≥ 45	≥ 90	≤ 2,4	≥ 40
drobljena/mešana	≥ 120	≤ 2	≥ 50	≥ 100	≤ 2,2	≥ 45

3.5 Prometna obremenitev

Voziščna konstrukcija je skozi celotno življenjsko dobo podvržena različnim statičnim in dinamičnim obremenitvam, ki jih mora biti za obdobje načrtovane dobe trajanja sposobna prevzeti. Izpostavljenost obremenitvam se odraža z utrujanjem materialov vgrajenih v voziščno konstrukcijo, ki je odvisna od števila obremenitev z motornimi vozili ter značilnosti motornih vozil, kot so osne obremenitve, razporeditve osi na vozilu ter razporeditve koles na osi vozila (TSC 06.511, 2009).

Za potrebe določitve dimenzij voziščnih konstrukcij z asfaltno krovno plastjo se izračuna merodajno prometno obremenitev voziščne konstrukcije v načrtovani dobi trajanja n -let T_n . T_n se izvednoti na podlagi podatkov o prometu, dodatnih vplivov značilnosti ceste ter trajanja in povečanja prometne obremenitve s postopkom, ki je podrobno opredeljen v TSC 06.511 : 2009 Prometne obremenitve – Določitev in razvrstitev (v nadaljevanju TSC 06.511). Merodajno prometno obremenitev se izrazi s skupnim številom prehodov nominalne osne obremenitve 100 kN za posamezni prometni pas.

3.5.1 Analiza prometa

Osnova za določitev prometne obremenitve ceste je analiza prometa. Prometno obremenitev na vozišču obstoječih oziroma načrtovanih cest se določi z opredelitvijo povprečnega letnega dnevnega prometa (v nadaljevanju PLDP) in določitvijo teže posameznih osi vozil ali oceno izkoriščenosti vozil. Osnova za pridobivanje podatkov o PLDP na obstoječih cestah je štetja prometa na izbranih značilnih odsekih obstoječih cest. Štetje prometa se na slovenskem cestnem omrežju opravlja od leta 1954. Rezultati so zbrani in objavljeni v publikaciji Promet, ki jo letno izdaja DRSI, v njej pa so zbrani podatki o prometu na vseh odsekih državnih cest za posamezno leto. Štetje je izvedeno z avtomatskimi števci in izrednimi ročnimi štetji, na določenih odsekih pa je promet privzet oziroma ocenjen. Podatke se uporablja za izračun prometne obremenitve ter za določitev prognoz prometa v primeru novogradenj.

Podatki o PLDP so podani v preglednicah in praviloma razporejeni glede na naslednje kategorije vozil, merodajne za načrtovanje voziščne konstrukcije:

- motorji
- osebna vozila
- avtobusi
- tovorna vozila:
 - o lahka – z nosilnostjo do 3,5 t
 - o srednja – z nosilnostjo 3,5 do 7 t
 - o težka – z nosilnostjo nad 7 t
 - o tovornjaki s prikolico
 - o vlačilci.

Dejansko težo motornih vozil in dejanske obremenitve posameznih osi vozil se določi s statičnim (s fiksnimi ali mobilnimi tehtnicami) ali dinamičnim tehtanjem. Primerni postopki so tisti, pri katerih so stehtana vsa tovorna vozila ali vsaj reprezentativen vzorec teh vozil. Na podlagi rezultatov tehtanja se osne obremenitve motornih vozil razvrsti v ustrezne razrede (praviloma z razponom 5, 10 ali 20 kN). Rezultate je potrebno iz vrednotiti v obliki histogramov za enojne, dvojne in trojne osi, tako da se jih lahko neposredno uporabi za določitev ali prognoziranje prometnih obremenitev. Če rezultati tehtanja niso reprezentativni, jih je potrebno korigirati z ustreznimi faktorji. V primerih, ko teža osi motornih vozil ni določena s tehtanjem je potrebno osne obremenitve določiti z oceno izkoriščenosti reprezentativnih vozil.

3.5.2 Ekvivalentna prometna obremenitev

Prometna obremenitev je odvisna od tipa vozil oziroma kategorij vozil, ki so v posameznih državah različno definirane, zato se jo po dogovoru v mednarodnem merilu izraža z ekvivalentno prometno obremenitvijo, pri čemer se obremenitev posameznega tipa vozil poda s številom prehodov nazivne osne obremenitve (v nadaljevanju NOO), ki v Sloveniji znaša 100 kN.

Kvantitativen vpliv motornih vozil oziroma ovrednotenje različnih osnih obremenitev voziščne konstrukcije je izvedeno na podlagi rezultatov temeljite raziskave - AASHO testa, ki je bil med leti 1957 in 1961 izvedena v ZDA. Vpliv različnih osnih obremenitev se kvantitativno ovrednoti z naslednjo enačbo (TSC 06.511, 2009):

$$FE_{naz} = 10^{-8} \times f_o \times (f_k \times L_{stat})^4 \quad (1)$$

kjer pomeni:

FE_{naz} – faktor ekvivalentnega vpliva dejanske osne obremenitev motornega vozila na utrujanje v odnosu na vpliv nazivne osne obremenitve (NOO) 100 kN na primer za $L_{stat} = 100$ kN.

f_o – faktor razporeditve osi na vozilu

f_k – faktor razporeditve koles na osi vozila.

V praksi se pretežno uporabljajo povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za reprezentativna motorna vozila podane v Preglednica 6.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za različne kategorije vozil (TSC 06.511, 2009, str. 7)

Table 6: Average load equivalency factors for different vehicle classes (TSC 06.511, 2009, p. 7)

Reprezentativno vozilo	Povprečni faktor ekvivalentnosti		
	AC in HC	G1 in G2	R1 in R2
osebno	0,00003	0,00003	0,00003
avtobus	1,4	1,15	0,85
tovorno lahko	0,005	0,005	0,005
tovorno srednje	0,35*/0,6**	0,25*/0,5**	0,25*/0,4**
tovorno težko	1,70*/0,7**	1,45*/0,9**	1,35*/1,0**
tovorno težko s prikolico	1,6	1,4	1,25

Opomba: *kategorije vozil določene na podlagi izmerjenih medosnih razdalj (WIM)

**kategorije vozil določene na podlagi induktivnih števecv prometa

Skupno dnevno ekvivalentno prometno obremenitev T_d se po TSC 06.511 (2009) določi na osnovi načrtovanega povprečnega dnevnega števila motornih vozil z naslednjo enačbo:

$$T_d = \sum (FE_v \times n_v) \quad (2)$$

kjer pomeni:

FE_v – faktor ekvivalentnosti reprezentativnega motornega vozila

n_v – število motornih vozil določene vrste na dan

Ekvivalentno dnevno prometno obremenitev je možno določiti tudi na podlagi dejanskih/tehtanih osnih obremenitev kot vsoto vseh izmerjenih osnih obremenitev. V primeru, ko vsota izmerjenih osnih obremenitev ni poznana, se ta izračuna iz prispevkov vsot osnih obremenitev za posamezno razporeditev osi $FE_{o,i}$ iz histogramov osnih pritiskov

$$FE_{o,i} = \sum_{j=1}^R N_{i,j} \times FE_{naz,j} \quad (3)$$

kjer pomeni:

i – enojna, dvojna ali trojna os

R – število razredov v histogramih osnih obremenitev

N_j – število osi v j -tem razredu

$FE_{naz,j}$ – faktor ekvivalentnega vpliva srednje vrednosti osne obremenitve iz j -tega razreda

3.5.3 Dodatni vplivi na prometno obremenitev

Vpliv izračunane prometne obremenitve je odvisen tudi od značilnosti ceste, ki se jih upošteva z dodatnimi vplivi. Za izračun merodajne prometne obremenitve je tako potrebno upoštevati naslednje dodatne faktorje vplivov (TSC 06.511, 2009):

- faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove f_{pp} ,
- faktor vpliva širin prometnih pasov f_{sp} ,
- faktor vpliva vzdolžnih nagibov nivelete vozišča f_{nn} ,
- faktor dinamičnih vplivov f_{dv} .

Določitev in vrednosti posameznih faktorjev so podane v Preglednicah od 7 do 9.

Faktor prečnega prereza se za obravnavani pas izbere iz Preglednica 7.

Preglednica 7: Faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove f_{pp} (TSC 06.511, 2009, str. 9)

Table 7: Lane distribution factor (TSC 06.511, 2009, p. 9)

Število prometnih pasov	Faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove f_{pp}					
1	1					
2	0,5			0,5		
3	0,5			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	0,4	0,08	0,02	0,02	0,08	0,40

Pri upoštevanju razdelitve prometne obremenitve na vozne pasove je potrebno upoštevati, na kaj se nanašajo številni podatki – na cesto, smer vožnje ali vozni pas. Za primere večpasovnih cest je glede na vrednosti faktorjev razvidno, da se je večina tovornega prometa skoncentrirana na zunanjih pasovih. V primeru, ko je prometna obremenitev določena s tehtanjem na prometnem pasu je vrednost f_{pp} za obravnavani prometni pas 1.

Vpliv širine prometnih pasov na vozišču na prometno obremenitev se upošteva z ustreznim faktorjem širine prometnega pasu. Širina obravnavanega voznega pasu ima precejšen vpliv na razporeditev prometne obremenitve po voznem pasu. Faktorji širine prometnega pasu podani v naslednji preglednici ustrezno prikazujejo, da so širši pasovi manj obremenjeni, saj se prometna obremenitev razporedi po večji površini voznega pasu.

Preglednica 8: Faktor vpliva širine prometnega pasu f_{sp} (TSC 06.511, 2009, str. 9)

Table 8: Lane width factor (TSC 06.511, 2009, p. 9)

Širina prometnega pasu [m]	Faktor širine prometnega pasu f_{sp}
do 2,5	2,00
2,5 do 2,75	1,80
2,76 do 3,25	1,40
3,25 do 3,75	1,10
nad 3,75	1,00

Vpliv največjega vzdolžnega nagiba vozišča na prometno obremenitev je upoštevan s faktorji vzdolžnega nagiba nivelete f_{nn} podanimi v Preglednica 9.

Preglednica 9: Faktor vpliva vzdolžnih nagibov nivelete vozišča f_{nn} (TSC 06.511, 2009, str. 9)

Table 9: Slope factor (TSC 06.511, 2009, p. 9)

Nagib nivelete [%]	Faktor vzdolžnega nagiba nivelete f_{nn}
do 2	1,00
nad 2 do 4	1,02
nad 4 do 5	1,05
nad 5 do 6	1,09
nad 6 do 7	1,14
nad 7 do 8	1,20
nad 8 do 9	1,27
nad 9 do 10	1,35
10 in več	1,45

Iz zgornje preglednice je razvidno, da se za primer vzdolžnega nagiba nivelete do 2 % vpliv ne upošteva oziroma je enak 1, pri voznih pasovih na večjih vzponih oziroma spustih pa je vpliv večji, in sicer lahko znaša do 1,45.

Dodatne dinamične obremenitve, ki se pojavijo zaradi nihanja ter drugih učinkov motornih vozil, se upošteva s faktorjem dinamičnih vplivov f_{dv} . Vrednosti faktorjev dinamičnih vplivov so v veliki meri pogojene s kakovostjo izvedenih del oziroma stanjem – neravnostjo vozišč ter znašajo:

- za dobre pogoje $f_{dv}=1,02$
- za povprečne pogoje $f_{dv}=1,08$.

3.5.4 Merodajna prometna obremenitev

Merodajno prometno obremenitev se določi z upoštevanjem ekvivalentne dnevne prometne obremenitve T_d , dodatnih vplivov značilnosti ceste ter trajanja in letne stopnje rasti prometa. Določitev T_d ter upoštevanje dodatnih vplivov je opisano v poglavjih 3.5.2 in 3.5.3; načrtovano dobo trajanja voziščne konstrukcije in povečanje prometne obremenitve zaradi rasti prometa v tem obdobju pa se upošteva s faktorjem povečanja prometne obremenitve f_{tp} .

Preglednica 10: Faktor povečanja prometne obremenitve f_{tp} zaradi načrtovane letne stopnje rasti prometa v načrtovani dobi trajanja (povzeto po TSC 06.511, 2009, str. 10)

Table 10: Average traffic growth factor for the design period depending on the average annual traffic increase (adapted from TSC 06.511, 2009, p. 10)

Načrtovana doba trajanja v letih	Letna stopnja rasti prometa [%]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktor povečanja prometne obremenitve f_{tp}									
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

V zgornji preglednici so podane vrednosti f_{tp} za dobo trajanja voziščne konstrukcije 15 in 20 let pri različnih vrednostih letnih stopenj rasti prometa. Za Slovenijo je načrtovana doba trajanja voziščnih konstrukcij z asfaltno krovno plastjo praviloma 20 let. V utemeljenih primerih je lahko tudi krajša, vendar ne manj kot 5 let (TSC 06.511, 2009).

Merodajno prometno obremenitev T_n , izraženo v število prehodov NOO se določi po naslednji enačbi (TSC 06.511, 2009):

$$T_n = 365 \times T_d \times f_{pp} \times f_{sp} \times f_{nn} \times f_{dv} \times f_{tp} \quad (4)$$

kjer pomeni:

T_n – merodajna prometna obremenitev v obdobju n let

T_d – ekvivalentna dnevna obremenitev

f_{pp} – faktor prečnega prereza vozišča

f_{sp} – faktor širine prometnih pasov

f_{nn} – faktor vzdolžnega nagiba nivelete

f_{dv} – faktor dodatnih dinamičnih vplivov

f_{tp} – faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja.

V odvisnosti od števila prehodov NOO na dan oziroma v načrtovani dobi trajanja ($n=20$ let) so prometne obremenitve voziščnih konstrukcij po TSC 06.511 razvrščene v 6 skupin prometne obremenitve.

Preglednica 11: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve (TSC 06.511, 2009, str. 10)

Table 11: Relevant design traffic and assigned load class (TSC 06.511, 2009, p. 10)

Skupina prometne obremenitve	Število prehodov NOO 100 kN	
	na dan	v 20. letih
izredno težka	nad 3000	nad 2×10^7
zelo težka	nad 800 do 3000	nad 6×10^6 do 2×10^7
težka	nad 300 do 800	nad 2×10^6 do 6×10^6
srednja	nad 80 do 300	nad 6×10^5 do 2×10^6
lahka	nad 30 do 80	nad 2×10^5 do 6×10^5
zelo lahka	do 30	nad 2×10^7

Prometna obremenitev voziščne konstrukcije je neposredno povezana z uporabnostjo vozne površine, ki je prav tako pomemben osnovni parameter pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij. Uporabnost vozne površine je izražena z indeksom vozne sposobnosti p , ki je navzgor omejen z vrednostjo $p = 5,0$ (nova, idealno ravna asfaltna vozišča), navzdol pa z vrednostjo $p = 0$ (popolnoma dotrajana, porušena vozišča). V praksi postopek za določitev uporabnosti vozne površine ni uveljavljen, se pa privzame merodajna mejna vrednot indeksa na koncu dobe trajanja voziščne konstrukcije $p_k = 2,0$ – skrajno mejno stanje, ampak še uporabna vozna površina (TSC 06.520, 2009).

3.6 Klimatski In Hidrološki Pogoji

Voziščne konstrukcije so skozi celotno življenjsko dobo izpostavljene različnim temperaturnim nihanjem ter vplivom vode. Napetosti in preoblikovanja, ki se lahko pojavijo kot posledica lokalnih klimatskih in hidroloških pogojev je potrebno predvideti in jih v postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije nujno upoštevati. Voziščno konstrukcijo se lahko pred zmrzovanjem in odtajanjem oziroma posledičnimi poškodbami zaščiti z ustreznim izborom materialov ter ustrezno debelino voziščne konstrukcije.

Merodajni klimatski in hidrološki pogoji so podrobneje opredeljeni v TSC 06.512 : 2003 Projektiranje – Klimatski in hidrološki pogoji (v nadaljevanju TSC 06.512). V specifikaciji so opisane značilnosti zmrzovanja in odtajanja, posledične poškodbe ter potrebni ukrepi za zaščito materialov v fazi načrtovanja, gradnje in uporabe ceste. Tveganje za nastanek poškodb na cestah kot posledica zmrzovanja in odtajanja je po TSC 06.512 (2003) odvisno od:

- globine prodiranja mraza h_m ,
- hidroloških pogojev,
- občutljivosti materialov na zmrzovanje,
- debeline zmrzlinso neobčutljive voziščne konstrukcije.

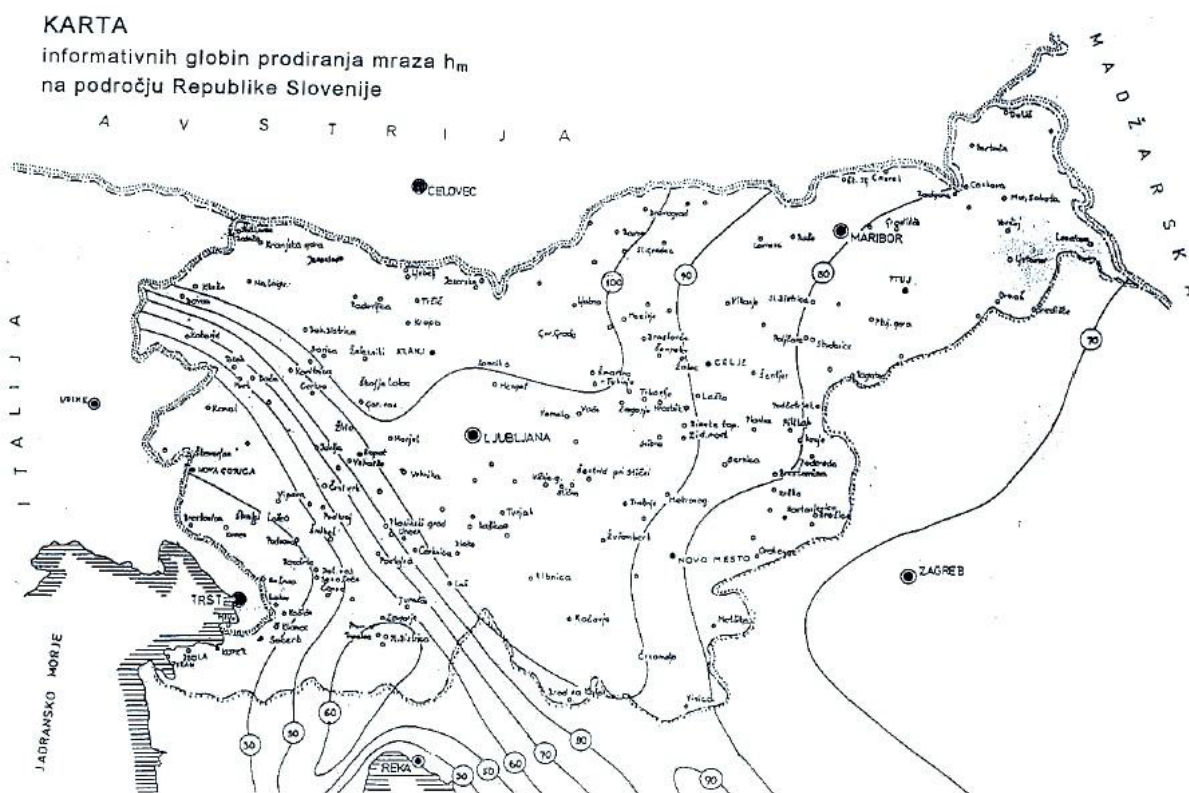
Po TSC 06.520 (2009) se klimatske in hidrološke pogoje upošteva z vrednostjo regionalnega faktorja R ter z določitvijo minimalne debeline zmrzlinso odporne voziščne konstrukcije h_{min} . Vrednosti regionalnega faktorja se gibljejo med 0,5 ter 5, kjer najnižja vrednost predstavlja najtežje, najvišja pa najugodnejše klimatske in hidrološke pogoje. Privzeta vrednost R za pogoje v našem okolju je 2.

3.6.1 Globina prodiranja mraza

V smislu klimatskih razmer je potrebno vpliv zmrzovanja in odtajanja na spremembe voziščne konstrukcije upoštevati z najneugodnejše lokalnimi pogoji, kot so dolgotrajen mraz in počasno prodiranje izoterme 0° v material ter hitro odtajanje. Klimatske razmere so po TSC 06.512 (2003) v določenem okolju opredeljene:

- z globino zmrzovanja oziroma prodiranja mraza h_m ali
- z indeksom mraza I_m .

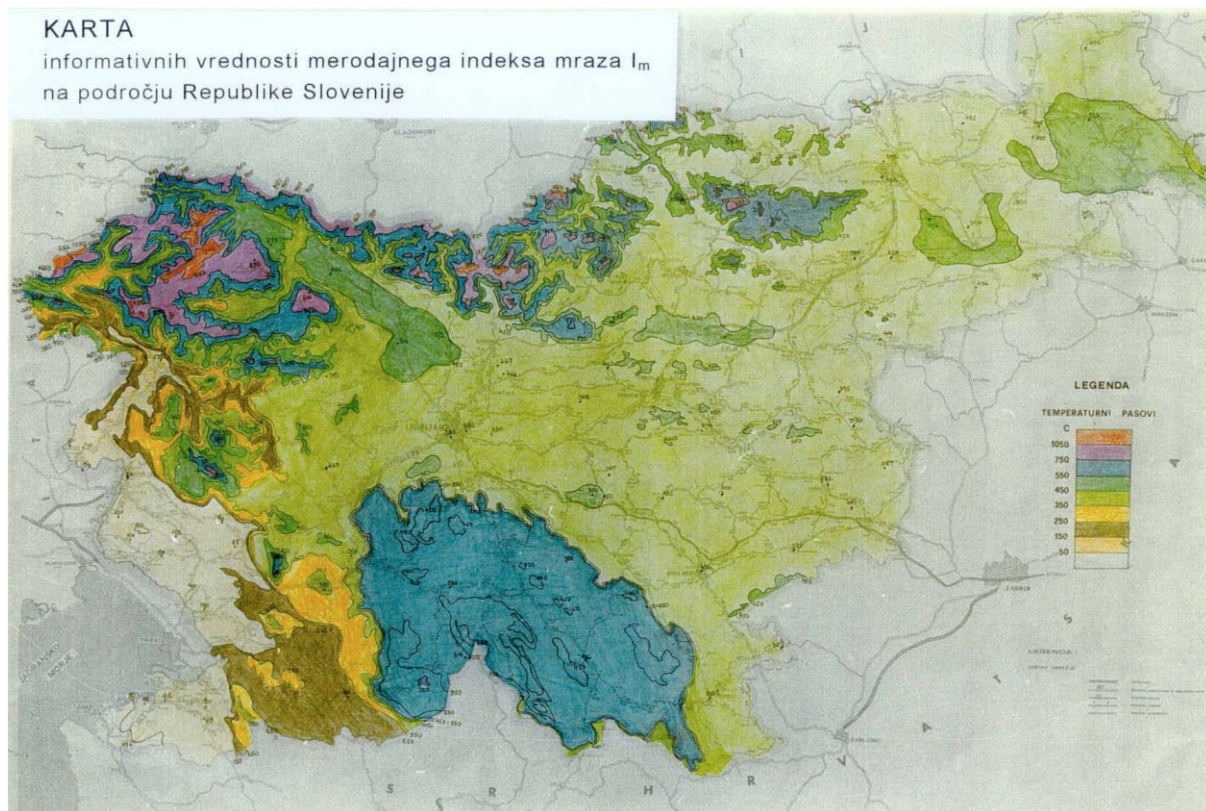
Globino zmrzovanja se izmeri z uveljavljenimi postopki z različnimi sondami, indeks mraza pa se določi podlagi vsotne krivulje srednjih dnevni (negativnih) temperatur zraka, po postopku, uveljavljenem v hidrometeorološki službi. Pri dimenzioniranju voziščne konstrukcije je potrebno merodajni indeks določiti za načrtovano dobo trajanja (praviloma srednja vrednost indeksa mraza v treh najhladnejših zimah v izbranem nizu let). Za enostavnejšo določitev globine zmrzovanja se po TSC 06.512 (2003) za potrebe dimenzioniranja uporabi Karta informativnih globin prodiranja mraza (Slika 6), ki je izdelana na podlagi ugotovljenih največjih globin prodiranja mraza v Sloveniji ali Karta informativnih vrednosti merodajnega indeksa mraza I_m (Slika 7), izdelana na osnovi podatkov o temperaturah v značilnih okoljih v Sloveniji.



Slika 6: Karta informativnih globin prodiranja mraza (TSC 06.512, 2003, str. 12)

Figure 6: Map of frost penetration depths for Slovenia (TSC 06.512, 2003, p. 12)

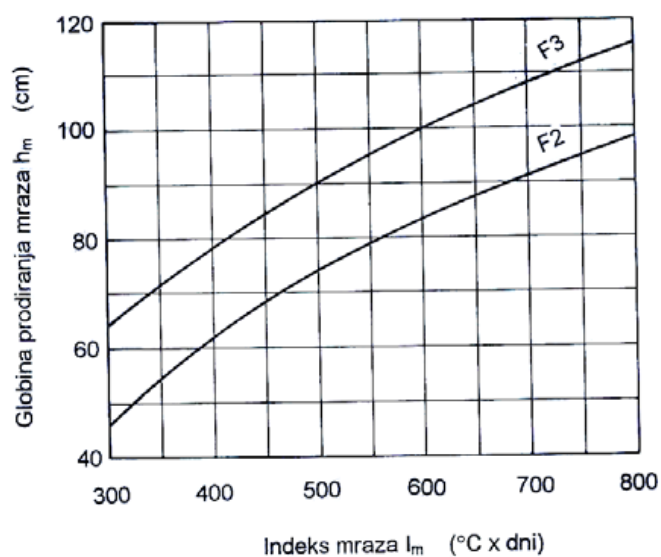
Glede na lokacijo načrtovane ceste se s karte odčita ustrezno vrednost globine prodiranja mraza, merodajno za obravnavano območje.



Slika 7: Karta informativnih vrednosti merodajnega indeksa mraza (TSC 06.512, 2003, str. 13)

Figure 7: Forst index map for Slovenia (TSC 06.512, 2003, p. 13)

Če se v postopku dimenzioniranja upošteva vrednost indeksa mraza, je potrebno s pomočjo diagrama na Slika 8 posredno določiti globino prodiranja mraza.



Slika 8: Odvisnost globine prodiranja mraza od indeksa mraza (TSC 06.512, 2003, str. 5)

Figure 8: Correlation between frost index value and frost depth penetration (TSC 06.512, 2003, p. 5)

Ker so informativne vrednosti globin prodiranja mraza in merodajnega indeksa mraza določene na različnih osnovah, je potrebno pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij upoštevati večjo vrednost globine zmrzovanja ugotovljeno pri postopku neposrednega ali posrednega določanja vrednosti (h_m ali $I_m - h_m$).

3.6.2 Hidrološki pogoji

Poleg klimatskih razmer so v postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcij zelo pomembne tudi hidrološke razmere, ki so opredeljene z nivojem talne vode, globino zmrzovanja in občutljivostjo materialna na zmrzovanje. Hidrološke razmere se kot ugodne ali neugodne opredeli glede na vplive predstavljene v Preglednica 12.

Preglednica 12: Razvrstitev hidroloških razmer (povzeto po TSC 06.512, 2003, str. 5)

Table 12: Hydrological conditions (adapted from TSC 06.512, 2003, p. 5)

Vpliv	Hidrološke razmere	
	ugodne	neugodne
nasip ceste	$\geq 1,5$ m	$< 1,5$ m
gladina talne vode	globlja od h_m	v območju h_m
vkop	plitev, dobro odvodnjavanja	plitev, slabo odvodnjavanja globok
dotekanje vode s strani ali površine	preprečeno	omogočeno

V kolikor je material uvrščen v razred občutljivosti na zmrzovanje F2 ali F3 in sega globina zmrzovanja do njega, je potrebno hidrološke razmere upoštevati kot neugodne.

3.6.3 Občutljivost materialov na zmrzovanje

Tveganje za nastanek poškodb na cestah je vsekakor odvisno tudi od značilnosti materialov vgrajenih v cestno telo. Material se oceni kot občutljiv na zmrzovanje v primeru, da zaradi mraza nastajajo v materialu ledene leče ali plasti ledu, ki povzročajo zmrzlinke dvige ali zaradi procesa odtajanja zmanjšujejo nosilnost vozišča. Občutljivost materiala na zmrzovanje je odvisna od (TSC 06.512, 2003):

- zrnastostne sestave,
- oblike zrn materiala,
- zgoščenosti,
- vrste mineralov v finih frakcijah in
- mineraloško-kemijskih lastnosti.

Materiali, ki se uporabljajo v cestogradnji, so na podlagi kriterijev za zrnastost in mineraloških kriterijev preglednici razvrščeni v tri razrede glede na občutljivost na zmrzovanje F1, F2, F3.

Preglednica 13: Razvrstitev materialov v razrede občutljivosti na mraz (TSC 06.520, 2009, str. 9)

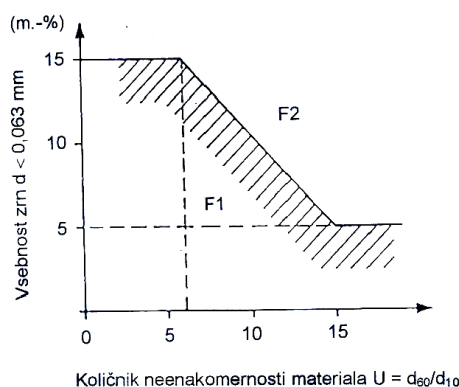
Table 13: Frost susceptibility classification of materials (TSC 06.520, 2009, p. 9)

Razred	Občutljivost	Delež zrn do 0,063 mm [m.-%]	Klasifikacija po DIN 18 196 oz. USCS
F1	neobčutljiv	< 5	GW, GP SW, SP
F2	malo do srednje občutljiv	5 ... 15	GC*, GM* SC*, SM* CL, CH
F3	zelo občutljiv	> 15	SM - ML ML, MH CL - ML

Opomba: *razvrstitev v F1 v odvisnosti od pogoja na Slika 9

Iz Preglednica 13 je razvidno, da so vsi grobozrnati materiali, ki vsebujejo do 5 m.-% finih zrn velikosti do 0,063 mm uvrščeni v razred občutljivosti F1 oziroma so neobčutljivi na zmrzovanje.

Dodatna oziroma podrobnejša razmejitev razredov zmrzljinske občutljivosti F1 in F2 je prikazana v diagramu na Slika 9. Podana je z razmerjem količnika neenakomernosti oblikovanosti presejne krivulje materiala U in deleža finih zrn (velikosti do 0,063 mm).



Slika 9: Razmejitev razredov zmrzljinske občutljivosti (TSC 06.520, 2009, str. 19)

Figure 9: Frost susceptibility soil classification (TSC 06.520, 2009, p. 19)

V razred F1 so tako uvrščeni tudi mešani materiali, ki vsebujejo do 15 m.-% finih drobnih zrn, pod pogojem, da znaša količnik neenakomernosti $U = d_{60}/d_{10} \leq 6$. V primeru vrednosti količnika U med 6 in 15 je potrebno delež dopustnih drobnih zrn v materialu linearno interpolirati med 15 m.-% in 5 m.-%. Če omenjeni kriterij ni izpolnjen je material uvrščen v razred občutljivosti F2 oziroma je ocenjen kot malo do srednje občutljiv.

Ker je občutljivosti materialov na zmrzovanje odvisna od zapletenega sočasnega učinkovanja več dejavnikov, so za natančno poznavanje občutljivosti materialov potrebne podrobne laboratorijske raziskave vrednosti CBR po zmrzovanju in odtajanju (CBR_3) ter občasno še preiskave zmrzljinskih

dvigov na vzorcih materiala z različno vsebnostjo vode. Materiali se na podlagi rezultatov meritev nosilnosti po postopku CBR₃ razvrstijo v razrede občutljivosti prikazane v Preglednica 14.

Preglednica 14: Razvrstitev materialov v razrede občutljivosti na mraz glede na vrednost CBR₃ (povzeto po TSC 06.520, 2009, str. 10)

Table 14: Frost susceptibility classification of materials depending on CBR₃ value (adapted from TSC 06.520, 2009, p. 10)

Razred občutljivosti materiala	Vrednost CBR ₃ [%]
F1	> 30
F2	8 do 30
F3	< 8

3.6.4 Minimalna debelina zmrzlinško neobčutljive voziščne konstrukcije

Glede na klimatske in hidrološke razmere upoštevane v poglavjih od 3.6.1 do 3.6.3 se določi potrebna debelina voziščne konstrukcije h_{min} , ki pa glede na dosedanje izkušnje ni enaka izmerjeni največji globini zmrzovanja h_m , temveč naj bi zadostovala manjša skupna mejna debelina plasti iz materialov odpornih na zmrzovanje h_{min} . Glede na globino prodiranja mraza, hidrološke pogoje ter odpornost materialov na zmrzovanje pod voziščno konstrukcijo so v TSC 06.512 (2009) predpisane najmanjše potrebne debeline voziščne konstrukcije h_{min} , ki so podane v Preglednica 15.

Preglednica 15: Najmanjše potrebne debeline voziščne konstrukcije h_{min} (TSC 06.520, 2009, str. 12)

Table 15: Minimum required thicknesses of frost resistant pavement structure (TSC 06.520, 2009, p. 12)

Odpornost materiala pod voziščno konstrukcijo proti učinkom zmrzovanja in odtajevanja	Hidrološki pogoji	Debelina voziščne konstrukcije h_{min}	
		do nadmorske višine 600 m	nad nadmorsko višino 600 m
odporen	ugodni	$\geq 0,6 h_m$	$\geq 0,7 h_m$
	neugodni	$\geq 0,7 h_m$	$\geq 0,8 h_m$
neodporen	ugodni	$\geq 0,7 h_m$	$\geq 0,8 h_m$
	neugodni	$\geq 0,8 h_m$	$\geq 0,9 h_m$

Opomba: h_m – globina prodiranja mraza

Za nove asfaltne voziščne konstrukcije je torej v postopku dimenzioniranja potrebno preveriti klimatske in hidrološke razmere ter določiti najmanjšo potrebno debelino zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije h_{min} . V kolikor je skupna debelina nove voziščne konstrukcije manjša od h_{min} , je potrebno ustrezno povečati debelino spodnje nosilne plasti ali vgraditi posteljico primerne debeline in ustrezne kakovosti materiala (TSC 06.520, 2009).

3.7 Značilnosti materialov in plasti v voziščni konstrukciji

V postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije je potrebno poznati izbrati ustrezne materiale ter poleg vloge posamezne plasti materiala vsekakor upoštevati tudi omejitve, kakovost ter gospodarnost

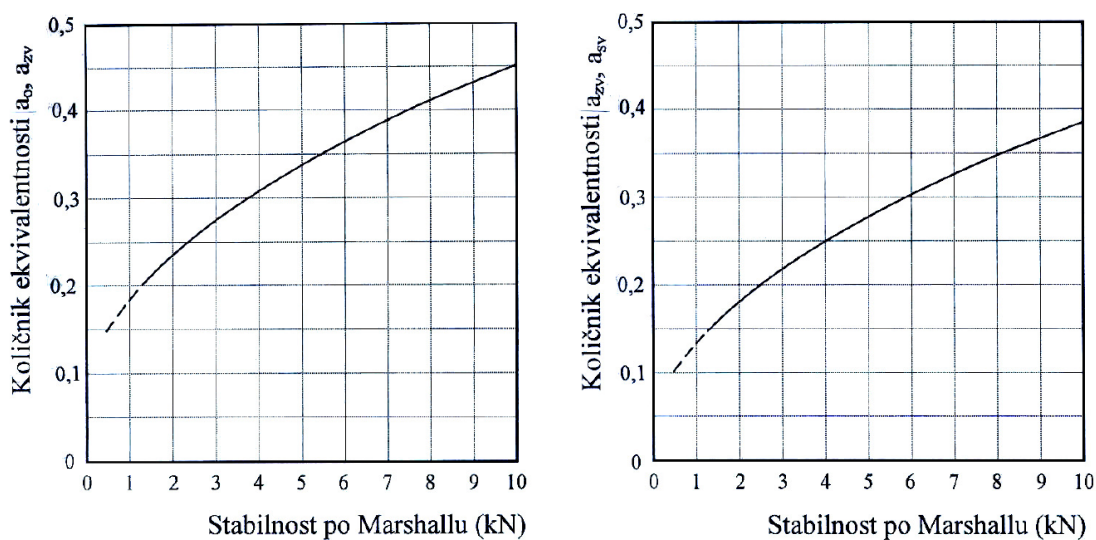
uporabe vgrajenega materiala. Kakovost materialov, ki so predvideni za uporabo v novih voziščnih konstrukcijah, je predpisana z zahtevami v uveljavljenih tehničnih regulativah. Vsi vplivi na različno kakovost materialov, ki se vgrajujejo v voziščne konstrukcije, so bili zajeti v statistični analizi, kjer so bila določena medsebojna razmerja odpornosti materialov proti utrujanju oziroma količniki ekvivalentnosti materiala. Količniki ekvivalentnosti ali količniki zamenjave a_i omogočajo primerjave, ki so potrebne za določitev vrste in dimenzij posameznih plasti v voziščni konstrukciji. V Preglednica 16 so navedene povprečne oziroma informativne vrednosti količnikov ekvivalentnosti materialov, ki so pretežno vgrajeni v nove asfaltne voziščne konstrukcije.

Preglednica 16: Povprečne vrednosti količnikov ekvivalentnosti materialov (povzeto po TSC 06.520, 2009, str. 8)

Table 16: Typical structural layer coefficient values (adapted from TSC 06.520, 2009, p. 8)

Vrsta materiala	Količnik ekvivalentnosti a_i
obrabna/zaporna plast	a_o
bitumenski beton	0,42
drobir z bitumenskim mastiksom	0,42
zgornja vezana nosilna plast	a_{zv}
bituminizirani drobljenec	0,35
bituminizirani prodec	0,28
spodnja vezana nosilna plast	a_{sv}
stabilizirana zmes kamnitih zrn z bitumnom	0,24
stabilizirana zmes kamnitih zrn s cementom	0,20
spodnja nevezana nosilna plast	a_{sn}
drobljenec	0,14
prodec	0,11

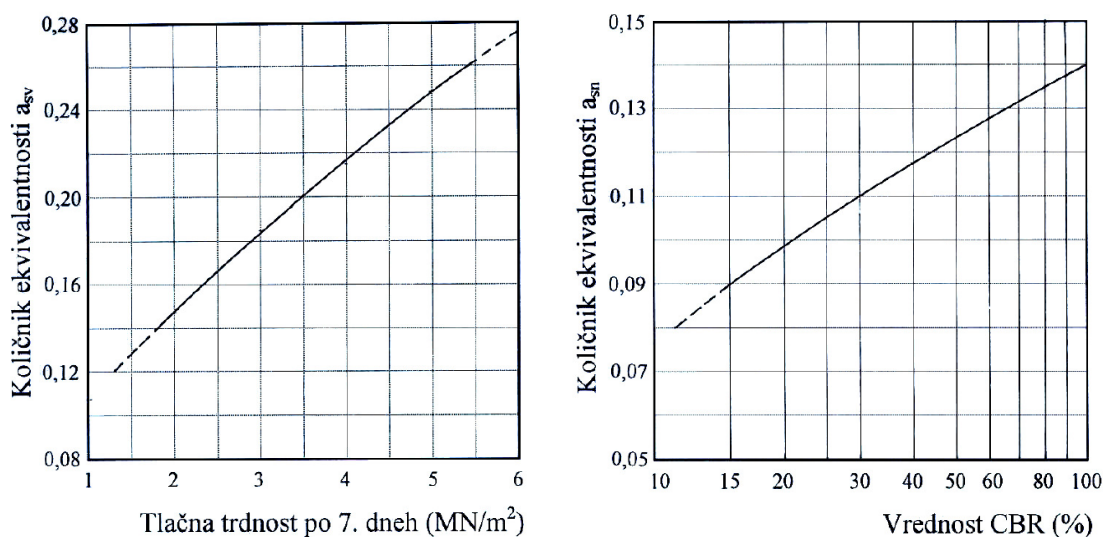
Če kakovost zmesi bistveno odstopa od povprečnih vrednosti, je potrebno količnike ekvivalentnosti določiti z uporabo diagramov na Slika 10 in Slika 11:



Slika 10: Grafa za določitev količnikov ekvivalentnosti za bituminizirani drobljenec (levo) in bituminizirani prodec (desno) (TSC 06.520, 2009, str. 7)

Figure 10: Determination of layer coefficients for bituminous-treated bases (TSC 06.520, 2009, p. 7)

Zgornja diagrama sta namenjena določitvi količnikov ekvivalentnosti za asfaltne zmesi na podlagi stabilnosti, določene po postopku po Marshallu. Spodnja diagrama se uporabljata za določitev količnikov ekvivalentnosti za zmesi s cementno stabilizacijo na osnovi tlačne trdnosti po 7 dneh ter za nevezane zmesi kamnitih zrn na podlagi vrednosti CBR.



Slika 11: Grafa za določitev količnikov ekvivalentnosti za cementno stabilizacijo (levo) in nevezano zmes kamnitih zrn (desno) (TSC 06.520, 2009, str. 7)

Figure 11: Determination of layer coefficients for cement-treated bases and unbound granular layers (TSC 06.520, 2009, p. 7)

3.7.1 Določitev dimenzij in sestave plasti voziščne konstrukcije

Dimenzije posameznih plasti voziščne konstrukcije se po TSC 06.520 (2009) ob upoštevanju vhodnih parametrov določi v odvisnosti od skupne potrebne vrednosti debelinskega indeksa voziščne konstrukcije D_{potr} (vsota potrebnih vrednosti debelinskih indeksov osnovnih plasti). Vrednost debelinskega indeksa projektirane voziščne konstrukcije D (vsota vrednosti debelinskih indeksov posameznih projektiranih plasti) mora vedno dosegati večjo ali vsaj enako vrednost kot vsota potrebnih vrednosti debelinskih indeksov osnovnih plasti D_{potr} .

$$D_{potr} = D_{rk} + D_{rn} \leq D = \sum_{i=1}^x D_i \quad (5)$$

kjer pomeni:

D_{potr} – skupna potrebna vrednost debelinskega indeksa voziščne konstrukcije

D_{rk} – potrebna vrednost debelinskega indeksa krovne plasti

D_{rn} – potrebna vrednost debelinskega indeksa nevezane nosilne plasti

D – vrednosti debelinskega indeksa projektirane voziščne konstrukcije

D_i – vrednost debelinskega indeksa posamezne projektirane plasti

Potrebne vrednosti debelinskih indeksov osnovnih plasti se izračuna na podlagi dimenzij osnovnih plasti, odčitanih iz diagramov za določitev dimenzij osnovnih plasti novih voziščnih konstrukcij ter povprečnih vrednosti količnikov ekvivalentnosti podanih v Preglednica 16.

Debelinski indeks projektirane plasti predstavlja produkt povprečne vrednosti količnika ekvivalentnosti posamezne plasti a_i in izbrane debeline posamezne plasti.

$$D_i = a_i \times d_i \quad (6)$$

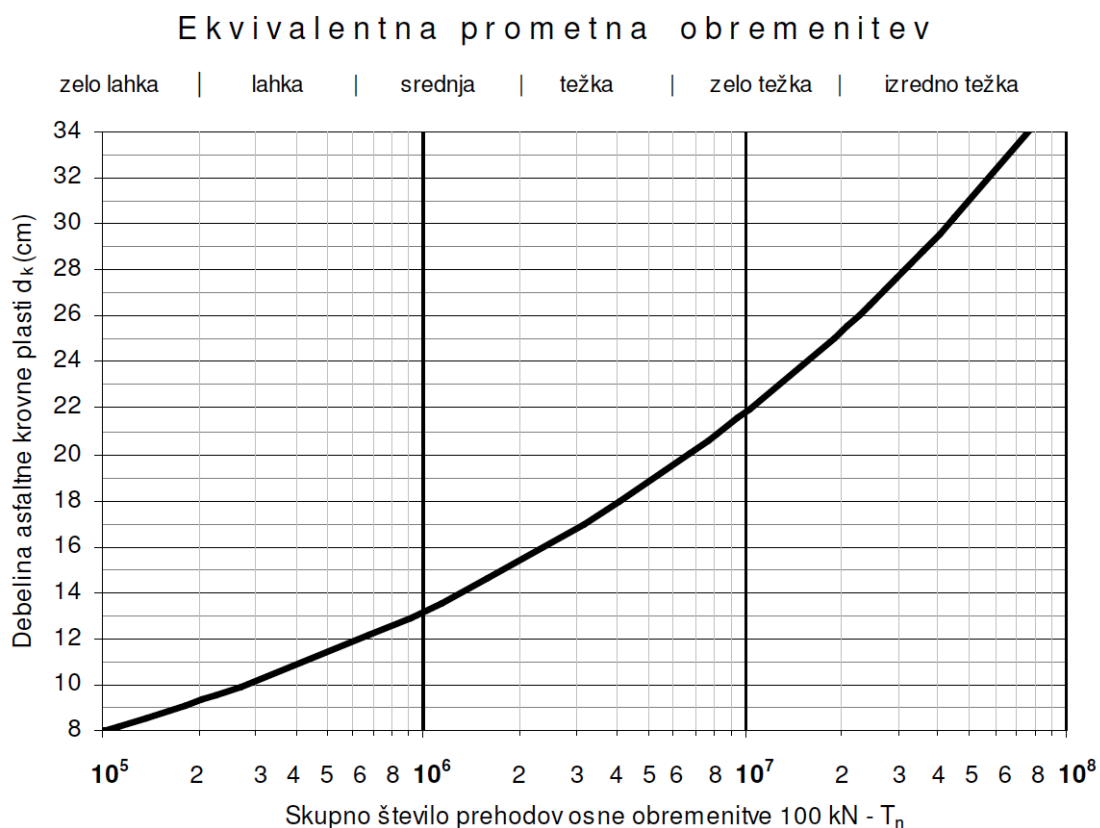
kjer pomeni:

a_i – količnik ekvivalentnosti posamezne plasti

d_i – izbrana debelina posamezne plasti

3.7.1.1 Asfaltna krovna plast

V postopku dimenzioniranja nove voziščne konstrukcije se najprej določi skupno potrebno debelino asfaltne krovne plasti d_k (asfaltna obrabna plast in asfaltna zgornja vezana nosilna plast) glede na načrtovano prometno obremenitev T_n , izračunano po postopku iz točke 3.5. Potrebno debelino se odčita iz diagrama na Slika 12.



Slika 12: Diagram za določitev dimenzije asfaltna krovne plasti (TSC 06.520, 2009, str. 10)

Figure 12: Diagram for determining asphalt surface layer thickness (TSC 06.520, 2009, p. 10)

Vrednost skupne potrebne debeline asfaltna krovne plasti d_{rk} je določena za povprečno kakovost bituminizirane zmesi, ovrednotene z računskim količnikom ekvivalentnosti $a_{rk} = 0,38$. Skupna potrebna vrednost debelinskega indeksa krovne plasti D_{rk} se izračuna po naslednji enačbi (TSC 06.520):

$$D_{rk} = a_{rk} \times d_{rk} = 0,38 \times d_{rk} = a_o \times d_o + a_{zv} \times d_{zv} \quad (7)$$

kjer pomeni:

D_{rk} – skupna potrebna vrednost debelinskega indeksa krovne plasti

d_{rk} – skupna potrebna debelina asfaltna krovne plasti

d_o – debelina asfaltna obrabne plasti

d_{zv} – debelina asfaltna zgornje vezane nosilne plasti

Debelino obrabne plasti d_o in zgornje vezane nosilne plasti d_{zv} se določi s količniki ekvivalentnosti iz Preglednica 16 ob upoštevanju tehnološko pogojenih mejnih vrednosti materialov.

Izbor bituminizirane zmesi za asfaltno krovno plast oziroma sestava zmesi kamnitih zrn in vrsta bitumenskega veziva mora biti prilagojena predvideni prometni obremenitvi, klimatskim razmeram ter poteku trase. Priporočila za izbiro ustreznih bitumenskih veziv v bituminiziranih zmesih za asfaltna plasti so podana v preglednici na Slika 13.

Značilnosti za uporabnost		Tip cestogradbenega bitumna						Tip polimernega bitumna				
		20/30	30/50	50/70	70/100	100/150	160/220	10/40-60	25/55-65	45/80-50	45/80-65	90/150-45
Vrsta bituminizirane zmesi	AC surf (BB)	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
	AC bin	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-
	AC base (BD, BP)	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
	SMA (DBM)	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	PA (DA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Razred prometne obremenitve (TSC 06.511)	IT (izredno težka)	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
	ZT (zelo težka)	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
	T (težka)	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
	S (srednja)	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
	L (lahka)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+
Gostota prometa (PLDP)	> 20.000	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-
	10.000 - 20.000	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
	5.000 - 10.000	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
Hitrost prometa	P (počasen) ²⁾	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-
	H (hiter)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Klimatsko področje	M (mediteransko) ¹⁾	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
	C (celinsko)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+

Legenda:

- uporaba ni priporočena
- + uporaba je priporočena
- ¹⁾ Vipavska dolina, obalno območje
- ²⁾ ≤ 35 km/h

Slika 13: Priporočilo za uporabo bitumenskih veziv za bituminizirane zmesi za asfaltne plasti (TSC 06.300/06.400, 2009, str. 9)

Figure 13: Recommendations for bituminous layers for asphalt courses (TSC 06.300/06.400, 2009, p. 9)

Bituminizirane zmesi za obrabne plasti v voziščnih konstrukcijah, izpostavljenih zelo težki in izredno težki prometni obremenitvi, morajo praviloma vsebovati modificirano bitumensko vezivo.

V Preglednica 17 so glede na kriterije podane v TSC 06.300/06.400 (2009) zbrane vrste bituminiziranih zmesi primernih za vgradnjo v asfaltne krovne plasti. Preglednica poleg ustreznosti zmesi glede na prometno obremenitev načrtovane voziščne konstrukcije podaja tudi mejne projekte debeline posameznih plasti.

Preglednica 17: Področja uporabe ter mejne debeline plasti bituminiziranih zmesi za asfaltne obrabne in obrabnonosilne plasti (povzeto po TSC 06.300/06.400, 2009, str. 24-28)

Table 17: Application and thicknesses of bituminous mixtures for asphalt wearing courses (adapted from TSC 06.300/06.400, 2009, p. 24-28)

Vrsta bituminizirane plasti	Razred bituminizirane plasti				Najmanjša projektna debelina plasti [mm]	Največja projektna debelina plasti [mm]
	A1	A2	A3	A4		
	Skupina prometne obremenitve					
	izredno težka	zelo težka	srednja	lahka zelo lahka		
	Področje uporabe					
AC 4 surf	-	-	-	+	15	30
AC 8 surf	-	+	+	+	25	40
AC 11 surf	+	+	+	+	35	50
AC 16 surf *	-	-	-	+	50	80

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 17

SMA 4	-	-	-	+	15	25
SMA 8	+	+	+	+	20	40
SMA 11	+	+	+	-	25	50
PA 8	+	+	+	+	30	45
PA 11	+	+	+	+	35	50
MA 4	-	-	-	+	15	25
MA 8	-	+	+	+	20	35
MA 11	+	+	+	+	30	40

Ob upoštevanju kriterijev, podanih v TSC 06.300/06.400 (2009), so v Preglednica 18 zbrane tudi vrste bituminiziranih zmesi primernih za vgradnjo v asfaltne nosilne in vezne plasti. Tudi v tej preglednici so poleg ustreznosti zmesi glede na prometno obremenitev načrtovane voziščne konstrukcije podane še mejne projekte debeline posameznih plasti.

Preglednica 18: Področja uporabe ter mejne debeline plasti bituminiziranih zmesi za asfaltne nosilne in vezne plasti (povzeto po TSC 06.300/06.400, 2009, str. 22-23)

Table 18: Application and thicknesses of bituminous mixtures for asphalt base and binder courses (adapted from TSC 06.300/06.400, 2009, p. 22-23)

Vrsta bituminizirane plasti	Razred bituminizirane plasti				Najmanjša projektna debelina plasti [mm]	Največja projektna debelina plasti [mm]
	A1	A2	A3	A4		
	Skupina prometne obremenitve					
	izredno težka	zelo težka	srednja	lahka zelo lahka		
	Področje uporabe					
AC 16 base	-	+	+	+	50	70
AC 22 base	+	+	+	+	60	100
AC 32 base	+	+	+	-	80	140
AC 16 bin	+	+			50	80
AC 22 bin	+	+			60	100

Za zgornjo vezano nosilno plast se v primeru težke, zelo težke ali izredno težke prometne obremenitve uporabi zmes bituminiziranega drobljenca s priporočeno uporabo bitumenskega veziva, v primeru lahke in zelo lahke obremenitve pa je lahko vgrajena zmes bituminiziranega prodca.

Ob upoštevanju navedenih omejitev se mora izbrano asfaltno zmes označiti na ustrezen način:

- Skupina zmesi:
 - AC (bituminizirani beton),
 - SMA (drobir z bitumenskim mastiksom),
 - MA (liti asfalt),
 - PA (drenažni asfalt).
- Največja velikost nazivnega zrna D [mm].
- Plast, v katero bo asfaltna zmes vgrajena:

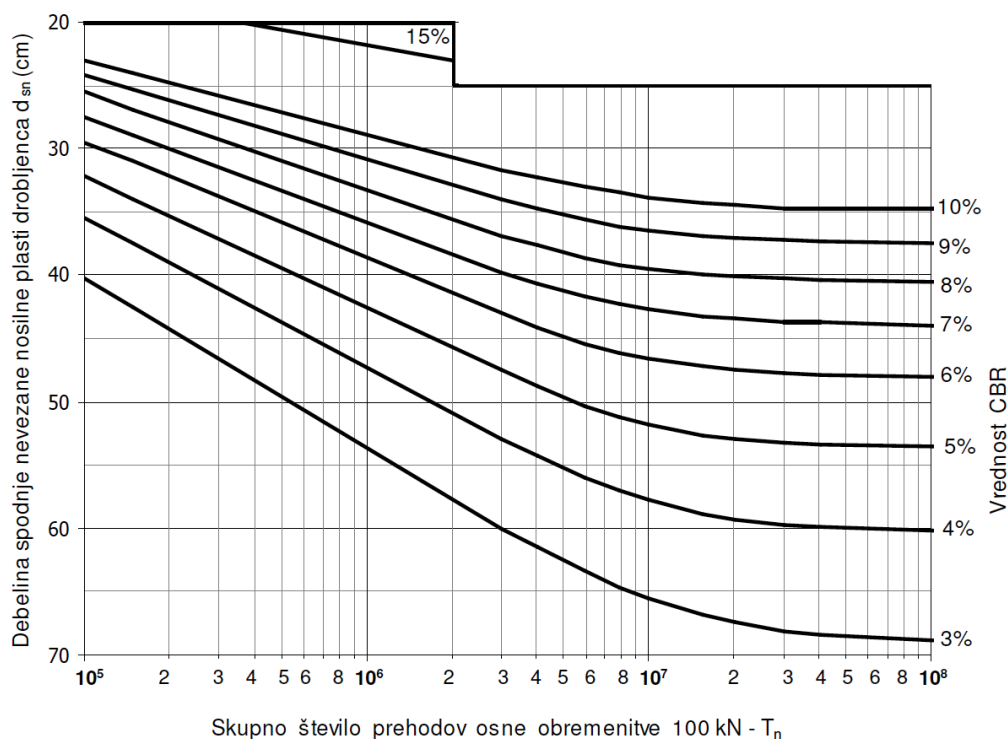
- surf (krovna plast),
 - bin (vezna plast),
 - base (nosilna plast).
4. Tip veziva (komercialna oznaka bitumna).
 5. Razred glede na prometno obremenitev (A1, A2, A3, A4, A5).

Primeri označevanje asfaltnih zmesi:

- AC 8 surf B 70/100 A4,
- AC 11 surf PmB 45/80-65 A1,
- AC 22 bin PmB 45/80-65 A2,
- AC 32 base B 50/70 A2.

3.7.1.2 Nevezana nosilna plast

Potrebna debelina spodnje nevezane nosilne plasti kamnitih zrn drobljenca d_m se določi glede na načrtovano prometno obremenitev T_n , izračunano po postopku v poglavju 3.5, ter glede na nosilnost podlage, izkazano z vrednostjo CBR. Potrebno debelino se odčita iz diagrama na Slika 14.



Slika 14: Diagram za določitev dimenzije nevezane nosilne plasti (TSC 06.520, 2009, str. 10)

Figure 14: Diagram for determining unbound granular layer thickness (TSC 06.520, 2009, p. 10)

Debelina nevezane nosilne plasti d_m je opredeljena za zmes drobljenih zrn z računskim količnikom ekvivalentnosti $a_{snd} = 0,14$. Potrebna vrednost debelinskega indeksa nevezane nosilne plasti D_m se po TSC 06.520 (2009) določi z naslednjo enačbo:

$$D_{rn} = a_{snd} \times d_{rn} = 0,14 \times d_{rn} \quad (8)$$

kjer pomeni:

D_{rn} – potrebna vrednot debelinskega indeksa spodnje nevezane nosilne plasti

d_{rn} – debelina spodnje nevezane plasti iz zmesi drobljenca

Računska potrebna debelina spodnje nevezane nosilne plasti zmesi prodca mora znašati za nove asfaltno voziščne konstrukcije obremenjene s težko prometno obremenitvijo vsaj 25 cm, za tiste obremenjene s srednjim ali lahkim prometom pa vsaj 20 cm. Če potrebna debelina nevezane nosilne plasti zaradi slabe nosilnosti podlage in težke prometne obremenitve znaša več kot 40 cm, je praviloma potrebno ustrezno povečati nosilnost podlage (posteljice).

Spodnjo nevezano nosilno plast je tudi možno delno ali v celoti izvesti z zmesjo drobljenca, ob tem pa je potrebno upoštevati vrednost količnika ekvivalentnosti $a_{snp} = 0,11$ ter enačbo (TSC 06.520, 2009):

$$d_{snp} = d_{snd} \times \frac{a_{snd}}{a_{snp}} \quad (9)$$

kjer pomeni:

d_{snp} – debelina spodnje nevezane plasti iz zmesi prodca

Izbor vrste zmesi kamnitih zrn za spodnjo nevezano nosilno plast mora biti prilagojen prometnim obremenitvam in gospodarskim pogojem. Za spodnjo nevezano nosilno plast se v primeru težke, zelo težke ali izredno težke prometne obremenitve praviloma uporabi zmes drobljenih kamnitih zrn. Kakovost zmesi ali mešanice mora ustrezati zahtevam v veljavni tehnični regulativi za proizvedeno in vgrajeno zmes ali mešanico. Zahteve za nevezane nosilne plasti so določene v TSC 06.200: 2003 Nevezane nosilne in obrabne plasti. V Preglednica 19 so zbrane lastnosti zmesi za nevezane nosilne plasti za voziščne konstrukcije, izpostavljene težki ter lažji prometni obremenitvi.

Preglednica 19: Lastnosti zmesi za nevezane nosilne plasti (povzeto po TSC 06.200, 2003)

Table 19: Unbound granular layer mixture properties (adapted from povzeto po TSC 06.200, 2003)

Lastnosti nevezanih nosilnih plasti	Težka prometna obremenitev	Lažja prometna obremenitev
Debelina plasti [cm]	≥ 25	≥ 20
Zrnavost [mm]	0/22, 0/31, 0/45	
Delež drobljenih zrn	C	
Delež finih delcev ne deponiji	f_5	
Delež finih delcev v vgrajenem stanju	f_8	
Oblika grobih zrn (nad 4 mm)	SI ₂₀	
Ekvivalent peska	SE ₆₀	SE ₅₀
Odpornost proti drobljenju	LA ₃₀	LA ₃₅
Odpornost proti zmrzovanju	NS ₁₀	
Kakovost grobih zrn	G, GT	

Ob upoštevanju ustreznih računskih količnikov ekvivalentnosti je možno spodnjo nevezano nosilno plast delno ali v celoti zamenjati z zmesjo zrn drobljenca ali prodca. Le-ta je lahko stabilizirana s cementom ali bitumnom. Vrednosti najmanjše računske debeline spodnje vezane nosilne plasti zmesi kamnitih zrn za nove asfaltne voziščne so opredeljene v Preglednica 20.

Preglednica 20: Minimalne debeline spodnje vezane nosilne plasti v odvisnosti od prometne obremenitve (povzeto po TSC 06.520, 2009, str. 11)

Table 20: Minimum thicknesses of stabilized layers depending on a traffic load class (adapted from TSC 06.520, 2009, p. 11)

Prometna obremenitev	Stabilizacija	Debelina spodnje vezane nosilne plasti [cm]
težka	s cementom	≥ 18
	z bitumnom	≥ 14
srednja ali lahka	s cementom	≥ 15
	z bitumnom	≥ 12

Izbor vrste zmesi oziroma stabilizacije za spodnjo vezano nosilno plast mora biti prilagojen prometnim obremenitvam, klimatskim in gospodarskim pogojem ter poteku trase. Kakovost zmesi ali mešanice mora ustrezati zahtevam v veljavni tehnični regulativi za proizvedeno in vgrajeno zmes ali mešanico.

3.8 Postopek dimenzioniranja

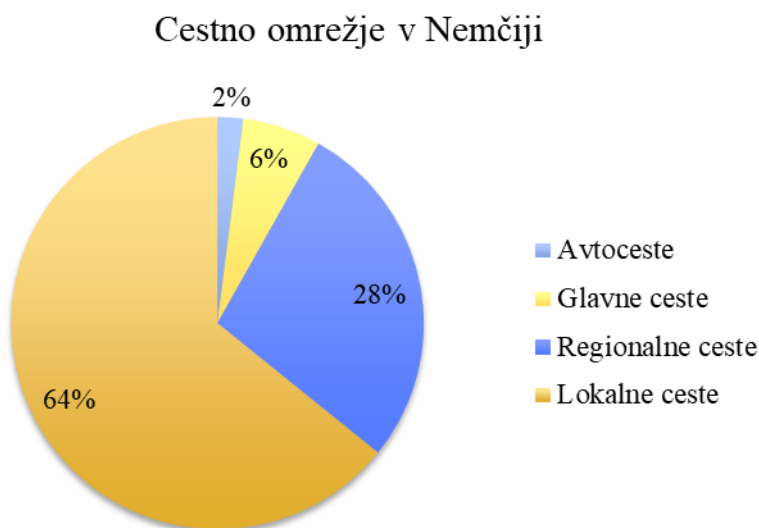
Postopek dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij v Sloveniji je podrobno zajet v poglavjih od 3.4 do 3.7. Metoda dimenzioniranja voziščnih konstrukcij po TSC obsega določitev vhodnih parametrov ter ob upoštevanju le-teh določitev debelin posameznih plasti ter izbor ustreznih materialov. Koraki v postopku dimenzioniranja so sledeči:

1. Preveritev nosilnosti podlage oziroma povečanje nosilnosti z vgraditvijo posteljice.
2. Izračun dnevne prometne obremenitve za ugotovljeni povprečni letni dnevni promet s pomočjo faktorjev ekvivalentnosti.
3. Določitev merodajne prometne obremenitve za načrtovano dobo trajanja voziščne konstrukcije ob upoštevanju dodatnih vplivov na prometno obremenitev.
4. Določitev računskih debelin in vrednosti potrebnih debelinskih indeksov asfaltne krovne plasti in nevezane nosilne plasti na osnovi diagramov za določitev dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij.
5. Določitev debeline in materialov posameznih plasti voziščne konstrukcije na podlagi povprečnih vrednosti količnikov ekvivalentnosti osnovnih cestogradbenih materialov.
6. Preveritev klimatskih in hidroloških pogojev (minimalna debelina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije).

4 DIMEZIONIRANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V NEMČIJI

4.1 Splošno

Nemčija je po dolžini celotnega cestnega omrežja kot tudi po dolžini avtocest vsekakor v vrhu Evrope. Zgrajenih je približno 650.000,00 km cest, od tega malo manj kot 40.000 km predstavljajo glavne ceste, okrog 180.000 regionalne ceste, 12.900 km avtoceste, preostanek pa lokalne ceste. Slika 15 prikazuje razdelitev cestnega omrežja po posameznih kategorijah cest (Road Statistics Yearbook, 2016).



Slika 15: Omrežje javnih cest v Nemčiji

Figure 15: Public road network in Germany

Za vzdrževanje avtocest in glavnih cest je zadolžen Direktorat za ceste, ki je organ v sestavi Ministrstva za promet in digitalno infrastrukturo (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur – BMVI). Ena izmed glavnih nalog direktorata je upravljanje cestnega omrežja z izboljševanjem obstoječih cest, kot tudi z izgradnjo novih. Direktorat za ceste je med drugim odgovoren tudi za učinkovito in ustrezno porabo finančnih sredstev na področju cestne infrastrukture. Načrtovanje, gradnja in vzdrževanje cest je v pristojnosti zveznih dežel (About the Ministry, 2017). Kot tehnična podpora organizacija Ministrstvu za promet in digitalno infrastrukturo je bil ustanovljen zvezni raziskovalni inštitut za ceste (Bundesanstalt für Straßenwesen – BAST). BAST je vladni raziskovalni inštitut za področje načrtovanja cestne infrastrukture, katerega glavni cilj je izboljšati varnost, kompatibilnost z okoljem ter učinkovitost v povezavi s cestami (The BAST, 2017).

Na področju ceste infrastrukture v Nemčiji ima precejšnjo vlogo tudi Združenje za raziskovanje cest in prometa (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV). FGSV je tehnično in znanstveno usmerjena neprofitna organizacija, katere glavni cilj delovanja je izboljšati in razvijati tehnično znanje na področju cest in transporta. Večina tehničnih predpisov, specifikacij in smernic, ki so v uporabi za področje dimenzioniranja cest so izdane s strani FGSV (The FGSV, 2016).

4.2 Predpisi na področju dimenzioniranja cest

Predpisi in smernice s področja cest (Die Technischen Regelwerke, 2017), ki urejajo dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij v Nemčiji so:

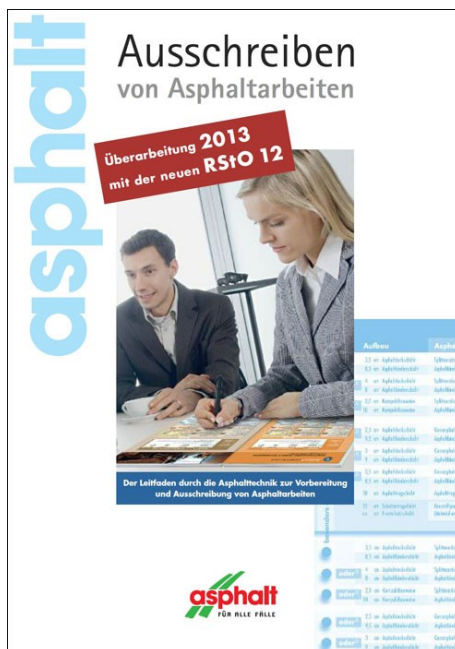
- Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen (ZTV BEA-StB),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen (ZTV A-StB),
- Zusätzlichen Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege (ZTV LW),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel (ZTV SoB-StB),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV ING),
- Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO),
- Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO),
- Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW),
- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt),
- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL),
- Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA).

Dodatne specifikacije, navodila in priporočila s področja dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij v Nemčiji:

- Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB),
- Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB),
- Technische Lieferbedingungen für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen (TL Bitumen-StB),
- Technische Lieferbedingungen für Bitumenemulsionen (TL BE-StB),
- Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat (TL AG-StB)
- Technische Prüfvorschriften für Asphalt (TP Asphalt-StB),
- Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung (TP Eben – Berührende Messungen),
- Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM) – (TP Griff-StB (SKM)),
- Merkblatt für Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt (M OPA),
- Merkblatt für den Bau Kompakter Asphaltbefestigungen (M KA),
- Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren,
- Merkblatt für die Herstellung von Halbstarren Deckschichten (M HD),

- Änderungen und Ergänzungen zu dem Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen,
- Merkblatt für die Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA),
- Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (M BGriff),
- Merkblatt für griffigkeitsverbessernde Maßnahmen an Verkehrsflächen aus Asphalt,
- Empfehlungen für den Bau von Asphaltschichten aus Gussasphalt (E GA),
- Hinweise für das Schließen und die Sanierung von Rissen sowie schadhaften Nähten und Anschlüssen in Verkehrsflächen aus Asphalt (H SR),
- Hinweise für das Fräsen von Asphaltbefestigungen und Befestigungen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen (H FA).

Nemško združenje za asfalt oziroma Deutscher Asphaltverband (v nadaljevanju DAV) je v letu 2013 izdalo že četrto izdajo priročnika za dimenzioniranje z naslovom Razpisi asfaltnih del oziroma Ausschreiben von Asphaltarbeiten (v nadaljevanju AVA). Priročnik je v praksi inženirjem v veliko pomoč, saj je v njem zajeta in strnjena tako pravna podlaga kot ostala navodila in postopki glede uporabe asfalta v gradbeništvu.



Slika 16: Naslovnica priročnika Ausschreiben von Asphaltarbeiten (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, str. 1)

Figure 16: Front cover of manual Ausschreiben von Asphaltarbeiten (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, p. 1)

Priročnik AVA je razdeljen na več delov: v prvem je opisana pravna podlaga za napotke za pripravo razpisih pogojev in gradbenih pogodb, drugi del je gradbeno-tehnični in opisuje navodila ter postopke asfaltna gradnje, tretji del povezuje napotke za postavitve asfaltna krovne plasti za izbran gradbeni razred in elemente besedila ter primer razpisa običajne asfaltna voziščne konstrukcije. V priročniku AVA so upoštevane tudi smernice RStO 2012, ki predstavljajo osnovo za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij v Nemčiji (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013).

4.3 Metoda dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij po smernicah RStO 12

Dimenzioniranje voziščnih konstrukcij se v Nemčiji bistveno razlikuje od postopka uporabljenega v Sloveniji, saj se izvaja po standardiziranem postopku, kar pomeni da se ustrezna voziščna konstrukcija izbere iz kataloga standardiziranih voziščnih konstrukcij. Standardiziran postopek z voziščnimi konstrukcijami je definiran v smernicah Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen – RStO 12 (v nadaljevanju: RStO 12). Smernice za standardizacijo dimenzioniranja voziščnih konstrukcij prometnih površin RStO 12 so bile nazadnje izdane leta 2012, kot "naslednice" predhodne verzije iz leta 2001. RStO 12 določajo standardizirane sestave voziščne konstrukcije tako za nove kot tudi neustrezne obstoječe prometne površine v urbanem in podeželskem okolju. Namen RStO 12 je z uporabo tehnično in ekonomično ustreznih voziščnih konstrukcij ustvariti in vzdrževati standard za ceste in ostale prometne površine. Za voziščne konstrukcije z izredno težko prometno obremenitvijo se uporablja računsko metoda po smernici Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht – RDO Asphalt 09 (RStO 12, 2012).

Smernice RStO 12 so zasnovane na podlagi izkušenj v gradbeništvu in izkušenj z uporabo različnih vrst voziščnih konstrukcij za različne prometne površine, kot tudi na podlagi dognanj iz raziskav ter izračunov ocen obnašanja različnih voziščnih konstrukcij skozi življenjsko dobo.

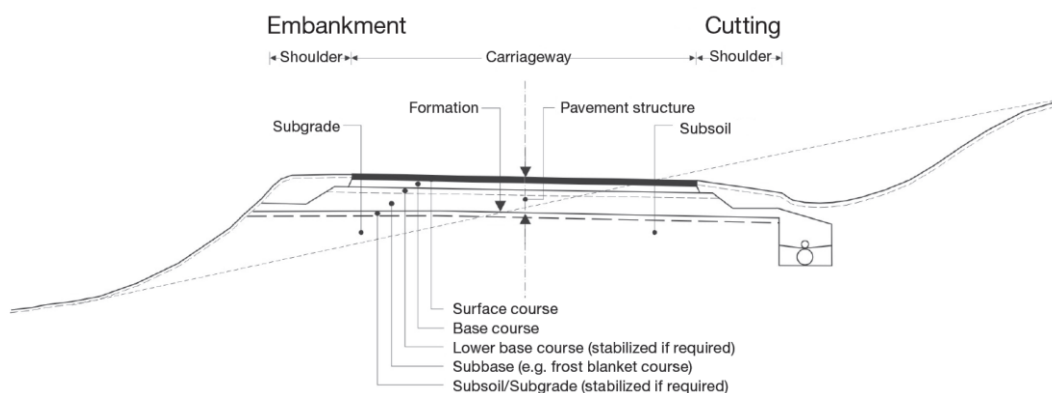
Osnovni parametri oziroma vhodni podatki za dimenzioniranje po RStO 12 (2012) so:

- struktura voziščne konstrukcije,
- merodajna prometna obremenitev,
- funkcija prometne površine (cesta, parkirišče, avtobusno postajališče ipd.),
- nosilnost podlage,
- klimatski in hidrološki pogoji,
- lokalni pogoji ter ostali pogoji, povezani s prometno površino.

Za dimenzioniranje in izgradnjo je potrebno upoštevati tudi dodatne tehnične pogoje definirane v pogodbah in direktivah.

4.4 Struktura voziščne konstrukcije

Voziščna konstrukcija je po RStO 12 (2012) praviloma sestavljena iz obrabne plasti (surface course), zgornje nosilne plasti (base course), spodnje nosilne plasti (lower base course) ter zmrzlinso odporne plasti kot prikazuje Slika 17. Obrabna plast je lahko asfaltna, betonska ali tlakovana, nosilne plasti pa so v osnovi razdeljene na vezane in nevezane plasti. Vezane nosilne plasti so lahko asfaltne in drenažne asfaltne nosilne plasti (WDA) ali nosilne plasti z hidravličnimi vezivi (stabilizirane, s hidravličnimi vezivi, betonske, drenažno-betonske plasti). Za nevezano nosilno plast se lahko uporabi zmrzlinso odporna plast (frost blanket course), plast drobljenca ali plast prodca. Kot dodatno plast se lahko vključi tudi plast iz materiala neobčutljivega na mraz (layer of non-frost-susceptible material SfM), ki zagotavlja ustrezno minimalno višino voziščne konstrukcije odporne na učinke mraza. Plasti voziščne konstrukcije morajo biti dimenzionirane tako, da skozi celotno življenjsko dobo zagotavljajo nosilnost glede na merodajne prometne obremenitve in klimatske pogoje, odpornost proti utrujanju ter zmrzlinso odpornost. Izbiri ustrezne strukture in določanju dimenzij je potrebno upoštevati prostorske, klimatske in okoljske pogoje ter tehnične in ekonomske dejavnike.



Slika 17: Primer voziščne konstrukcije (RStO 12, 2012, str. 8)

Figure 17: Pavement structure according to RStO 12 (RStO 12, 2012, p. 8)

Standardizirane strukture in debeline posameznih plasti voziščnih konstrukcij so v RStO 12 podane v treh osnovnih preglednicah za standardizirane strukture asfaltnih, betonskih in tlakovanih voziščnih konstrukcij, načrtovanih na temeljnih tleh razreda občutljivosti F2 in F3. Vsebovana je tudi četrta preglednica, ki je namenjena izbiri povezane asfaltne ali betonske voziščne konstrukcije. Slika 18 prikazuje preglednico standardiziranih voziščnih konstrukcij z asfaltno krovno plastjo (v nadaljevanju: **Preglednica**).

Line	Load class	BK100	BK32	BK10	BK3.2	BK1.8	BK1.0	BK0.3
	B [million of ESALs]	> 32	> 10 – 32	> 3.2 – 10	> 1.8 – 3.2	> 1.0 – 1.8	> 0.3 – 1.0	≤ 0.3
	Thickness of frost resistant pavement structure ¹⁾	55 65 75 85	55 65 75 85	55 65 75 85	45 55 65 75	45 55 65 75	45 55 65 75	35 45 55 65
1	Asphalt base course on frost blanket course							
	Asphalt surface course	12	12	12	10 12	4 16	4 14	4 10 ^{1/8}
	Asphalt base course	22	18	14	12	12	18	14
	Frost blanket course	45	45	45	45	45	45	45
	Thickness of frost blanket course	– 31 ²⁾ 41 51	25 ³⁾ 35 45 55	29 ³⁾ 39 49 59	– 33 ²⁾ 43 53	25 ³⁾ 35 45 55	27 37 47 57	21 31 41 51
2.1	Asphalt base course and base course with hydraulic binders on frost blanket course or layer of non-frost-susceptible material							
	Asphalt surface course	12	12	12				
	Asphalt base course	14	10	8				
	Cement stabilized base course (HBB)	15	15	15				
	Thickness of frost blanket course	– – 34 ²⁾ 44	– 28 ³⁾ 38 48	– 30 ²⁾ 40 50				
2.2	Asphalt surface course	12	12	12	10 10	4 12	4 10	4 10
	Asphalt base course	18	14	10	15	15	15	15
	Stabilized granular material	15	15	15				
	Layer of non-frost-susceptible material – widely or gap-graded in line with DIN 18196	45	45	45	45	45	45	45
	Thickness of layer of non-frost-susceptible material	10 ⁴⁾ 20 ⁴⁾ 30 40	14 ⁴⁾ 24 34 44	18 ⁴⁾ 28 38 48	10 ⁴⁾ 20 30 40	14 ⁴⁾ 24 34 44	16 ⁴⁾ 26 36 46	6 ⁴⁾ 16 ⁴⁾ 26 36
2.3	Asphalt surface course	12	12	12	10 10	4 12	4 10	4 10
	Asphalt base course	18	14	10	15	15	15	15
	Stabilized granular material	20	20	20				
	Layer of non-frost-susceptible material – narrowly graded in line with DIN 18196	45	45	45	45	45	45	45
	Thickness of layer of non-frost-susceptible material	5 ⁴⁾ 15 ⁴⁾ 25 35	9 ⁴⁾ 19 ⁴⁾ 29 39	13 ⁴⁾ 23 33 43	5 ⁴⁾ 15 ⁴⁾ 25 35	14 ⁴⁾ 24 34 44	16 ⁴⁾ 26 36 46	6 ⁴⁾ 16 ⁴⁾ 26 36
3	Asphalt base course and crushed rock base course on frost blanket course							
	Asphalt surface course	12	12	12	10 10	4 12	4 10	4 10 ^{1/8}
	Asphalt base course	18	14	15	15	15	15	15
	Crushed rock base course ⁷⁾ E _{1/2} ≥ 150(120)	15	15	15	15	15	15	15
	Thickness of frost blanket course	– – 30 ²⁾ 40	– – 34 ²⁾ 44	– 28 ³⁾ 38 48	– – 30 ²⁾ 40	– 24 ³⁾ 34 44	16 ³⁾ 26 36 46	– 18 ³⁾ 28 38
4	Asphalt base course and gravel base course on frost blanket course							
	Asphalt surface course	12	12	12	10 10	4 12	4 10	4 10 ^{1/8}
	Asphalt base course	18	14	20	20	20	20	20
	Gravel base course E _{1/2} ≥ 150(120)	20	20	20	20	20	20	20
	Thickness of frost blanket course	– – 25 ³⁾ 35	– – 29 ³⁾ 39	– 33 ²⁾ 43	– – 25 ³⁾ 35	– – 29 ³⁾ 39	– 31 ²⁾ 41 51	– – 23 ²⁾ 33
5	Asphalt base course and crushed rock or gravel base course on layer of non-frost-susceptible material							
	Asphalt surface course	12	12	12	10 10	4 12	4 10	4 10 ^{1/8}
	Asphalt base course	18	14	10	10	10	10	10
	Crushed rock or gravel base course	30 ³⁾	30 ³⁾	30 ³⁾	30 ³⁾	30 ³⁾	30 ³⁾	25 ³⁾
	Thickness of layer of non-frost-susceptible material	Above 12 cm made of non-frost-susceptible material, lower remaining thickness is to be compensated by the material above						

Slika 18: Preglednica standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij (RStO 12, 2012, str. 19)

Figure 18: Structures with asphalt surface course for carriageways on F2- and F3-subsoil/subgrade (RStO 12, 2012, p. 19)

4.5 Prometna obremenitev

4.5.1 Analiza prometa

Prometno obremenitev voziščne konstrukcije novih oziroma načrtovanih cest se določi z opredelitvijo povprečnega letnega dnevnega prometa s težkimi tovornimi vozili oziroma Durchschnittliche tägliche

Verkehrsstärke der Fahrzeugarten des Schwerverkehrs (v nadaljevanju: DTV^(SV)) in določitev števil ali teže posameznih osi vozil (RStO 12, 2012).

Osnova za določitev merodajne prometne obremenitve je po RStO 12 je promet s težkimi tovornimi vozili oziroma Schwerverkehr (SV). Kategorije vozil merodajne za določitev prometne obremenitve so:

- tovorna vozila z nosilnostjo nad 3,5 t
- tovorna vozila s prikolico z nosilnostjo nad 3,5 t
- zglobna tovorna vozila
- avtobusi z več kot 9 sedeži vključno z voznikom.

Ceste, avtobusna postajališča, parkirišča, vzdrževalne ter ostale prometne površine so razdeljene v razrede, skupne prometne obremenitve Bk0,3 do Bk100. Za določitev razreda prometne obremenitve so glede na različne prometne površine na voljo različne preglednice. Preglednica 21 prikazuje razvrstitev prometnih obremenitev cest v skupine prometne obremenitve.

Preglednica 21: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve v Nemčiji (povzeto po RStO 12, 2012, str. 10)

Table 21: : Relevant design traffic and assigned load classes in Germany (adapted from RStO 12, 2012, p. 10)

Skupina prometne obremenitve	Število prehodov NOO 100 kN [$\times 10^6$]
Bk100	nad 32
Bk32	nad 10 do 32
Bk10	nad 3,2 do 10
Bk3,2	nad 1,8 do 3,2
Bk1,8	nad 1,0 do 1,8
Bk1,0	nad 0,3 do 1
Bk0,3	do 0,3

Glede na pričakovano merodajno prometno obremenitev, izraženo s številom prehodov NOO 100 kN v 30-letni življenjski dobi, je po RStO 12 prometna obremenitev razdeljena v 7 skupin. Za določitev merodajne prometne obremenitve cest in uvrstitev v skupino prometne obremenitve sta po smernicah RStO 2012 na voljo dve metodi.

4.5.2 Merodajna prometna obremenitev

Merodajno prometno obremenitev B (Dimensionierungsrelevante Beanspruchung) se po RStO 12 (2012) določi glede na ekvivalentno dnevno prometno obremenitev, z upoštevanjem dodatnih vplivov značilnosti ceste ter trajanja in letne stopnje rasti prometa. Glede na razpoložljive podatke se lahko B določi na podlagi povprečnega letnega dnevnega prometa težkih vozil DTV^(SV) ali na podlagi podrobnih podatkov o povprečnih dnevniških osnih obremenitvah težkih vozil EDTA^(SV). Obe metodi je možno poenostaviti s konstantnimi faktorji. Za dimenzioniranje voziščne konstrukcije je merodajna prometna obremenitev najbolj obremenjenega voznega pasu. V primeru cest z več prometnimi pasovi narekujejo smernice enako sestavo in dimenzije voziščne konstrukcije za vse pasove. Voziščna konstrukcija se določi na podlagi glavnega prometnega pasu ali na podlagi najbolj obremenjenega

prometnega pasu. Za podeželske ceste, prometne površine namenjene manevriranju ter prometne površine izpostavljene izrednim obremenitvam veljajo samostojne tehnične smernice. Načrtovana doba trajanja voziščnih konstrukcij je v Nemčiji 30 let (RStO 12, 2012).

4.5.2.1 Določitev merodajne prometne obremenitve B na podlagi povprečnega letnega dnevnega prometa $DTV^{(SV)}$ (RStO 12, 2012)

- Določitev B s spremenljivimi faktorji

$$B = 365 \times q_{Bm} \times f_3 \times \sum_{i=1}^N [DTA_{i=1}^{(SV)} \times f_{1i} \times f_{2i} \times (1 + p_i)] \quad (10)$$

$$DTA_{i=1}^{(SV)} = DTV_{i=1}^{(SV)} \times f_{A-1} \quad (11)$$

kjer pomeni:

B – merodajna prometna obremenitev (skupna ekvivalentna prometna obremenitev, izražena s številom prehodov NOO 100 kN)

N – doba trajanja voziščne konstrukcije (običajno 30 let)

q_{Bm} – kvocient upoštevanja povprečne porazdelitve prometne obremenitve na osi

f_3 – faktor vzdolžnega nagiba nivelete

$DTA_{i=1}^{(SV)}$ – povprečno število prehodov osi težkih tovornih vozil v letu uporabe i-1

$DTV_{i=1}^{(SV)}$... povprečni letni dnevni promet s težkimi tovornimi vozili v letu uporabe i-1

f_{A-1} – faktor povprečnega števila osi pri prometu s težkimi tovornimi vozili v letu uporabe i-1

f_{1i} – faktor prečnega prereza vozišča v letu uporabe i

f_{2i} – faktor širine prometnih pasov v letu uporabe i

p_i – povprečna letna stopnja rasti težkega tovornega prometa v letu uporabe i

- Določitev B s konstantnimi faktorji

$$B = N \times DTA^{(SV)} \times q_{bm} \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_z \times 365 \quad (12)$$

$$f_z = \frac{(1 + p)^N - 1}{p \times N} \quad (13)$$

kjer pomeni:

f_z – faktor povečanja prometne obremenitve s težkim tovornim prometom

4.5.2.2 Metoda 2 – Določitev merodajne prometne obremenitve B na podlagi osnih obremenitev EDTA^(SV) (RStO 12, 2012)

- Določitev B s spremenljivimi faktorji

$$B = 365 \times f_3 \times \sum_{i=1}^N [EDTA_{i=1}^{(SV)} \times f_{1i} \times f_{2i} \times (1 + p_i)] \quad (14)$$

$$EDTA_{i=1}^{(SV)} = \sum_k \left[DTA_{(i=1)k}^{(SV)} \times \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right] \quad (15)$$

kjer pomeni:

B – merodajna prometna obremenitev (skupna ekvivalentna prometna obremenitev, izražena z NOO 10 t)

N – doba trajanja voziščne konstrukcije (običajno 30 let)

$EDTA_{i=1}^{(SV)}$ – povprečna ekvivalentna dnevna osna obremenitev (število prehodov osi/24 h) s težkim tovornim prometom v letu uporabe i-1

$DTA_{i=1}^{(SV)}$ – povprečno število prehodov osi težkih tovornih vozil v letu uporabe i-1 težkim – razred obtežbe, definiran kot skupina posameznih osnih obremenitev

L_k – povprečna osna obremenitev za razred obtežbe k

L_0 – referenčna osna obremenitev: 10 t

f_{1i} – faktor prečnega prereza vozišča v letu uporabe i

f_{2i} – faktor širine prometnih pasov v letu uporabe i

f_3 – faktor vzdolžnega nagiba nivelete

p_i – povprečna letna stopnja rasti težkega tovornega prometa v letu uporabe i ($p_1 = 0$)

- Določitev B s konstantnimi faktorji

$$B = N \times EDTA^{(SV)} \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_z \times 365 \quad (16)$$

$$f_z = \frac{(1 + p)^N - 1}{p \times N} \quad (17)$$

kjer pomeni:

f_z – faktor povečanja prometne obremenitve s težkim tovornim prometom

V primeru, da merodajno prometno obremenitev za prometne površine v urbanih območjih ni možno določiti z omenjenimi metodami, se skupino prometne obremenitve lahko določi na podlagi naslednje preglednice.

Preglednica 22: Razvrstitev v skupine prometne obremenitve glede na tip in kategorijo ceste (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11)

Table 22: Load classes for typical design situations according to RAS (adapted from RStO 12, 2012, p. 11)

Prometne površine v urbanih območjih	Kategorija ceste	Skupina prometne obremenitve
odprta cesta	VS II, VS III	Bk10 do Bk100
povezovalna cesta	HS III, HS IV	Bk3,2/Bk10
dovozna cesta v industrijski coni	HS IV, ES IV, ES V	Bk3,2 do Bk100
poslovna dovozna cesta	HS IV, ES IV, ES V	Bk1,8 do Bk100
glavna nakupovalna ulica	HS IV, ES IV	Bk1,8 do Bk10
lokalna nakupovalna ulica	HS IV, ES IV	Bk1,8 do Bk10
lokalna dovozna cesta	HS III, HS IV	Bk3,2/Bk10
glavna vaška ulica	HS IV, ES IV	Bk1,0 do Bk3,2
ulica v soseski	HS IV, ES IV	Bk1,0 do Bk3,2
zbiralna ulica	ES IV	Bk1,0 do Bk3,2
stanovanjska ulica	ES V	Bk0,3/Bk1,0
stanovanjska pot	ES V	Bk0,3

4.5.3 Dodatni vplivi na prometno obremenitev

Dejanska prometna obremenitev je odvisna tudi od značilnosti ceste, ki se jih upošteva z dodatnimi vplivi. Za izračun merodajne prometne obremenitve je po RStO 12 (2012) potrebno upoštevati naslednje dodatne faktorje vplivov:

- faktor vpliva povprečnega števila osi pri prometu s težkimi tovornimi vozili f_A ,
- kvocient upoštevanja povprečne porazdelitve obremenitve na osi q_{Bm} ,
- faktor vpliva prečnega prereza vozišča f_1 ,
- faktor vpliva širine prometnih pasov f_2 ,
- faktor vpliva vzdolžnega nagiba nivelete vozišča f_3 ,
- povprečna letna stopnja rasti težkega tovornega prometa p_i ,
- faktor vpliva povečanja prometne obremenitve s težkim tovrnim prometom f_z .

Določitev in vrednosti posameznih faktorjev so podane v Preglednicah od 23 do 29.

Povprečni letni dnevni promet $DTV^{(SV)}$ se v ekvivalentno dnevno prometno obremenitev pretvori s faktorjem vpliva povprečnega števila osi v težkem tovrnem prometu f_A . Vrednosti faktorja f_A so določene in se jih izbere glede na kategorijo ceste.

Preglednica 23: Faktor povprečnega števila osi pri prometu s težkimi tovornimi vozili f_A (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30)

Table 23: Axle number factor (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)

Kategorija ceste	Faktor povprečnega števila osi f_A
Avtocesta	4,5
Glavna cesta	4
Regionalna cesta	3,3

Kvocien upoštevanja povprečne porazdelitve obremenitve na osi q_{Bm} izraža povprečno obremenitev ceste, določeno glede na dejansko osno obremenitev prometnega pasu v določenem obdobju. Vrednosti kvocienta q_{Bm} so določene in se jih izbere glede na kategorijo ceste kot prikazuje Preglednica 24.

Preglednica 24: Kvocien upoštevanja povprečne porazdelitve obremenitve na osi q_{Bm} (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30)

Table 24: Load spectrum quotient (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)

Kategorija ceste	Kvocien povprečne porazdelitve obremenitve q_{Bm}
Avtocesta	0,33
Glavna cesta	0,25
Regionalna cesta	0,23

Pri upoštevanju razdelitve prometne obremenitve na vozne pasove je potrebno upoštevati, na kaj se nanašajo številni podatki – na cesto, smer vožnje ali vozni pas. V odvisnosti od števila prometnih pasov in smeri prometa se iz Preglednica 25 izbere ustrezen faktor prečnega prereza f_l .

Preglednica 25: Faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove f_l (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30)

Table 25: Lane factor f_l (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)

Število prometnih pasov	Faktor prečnega prereza f_l	
	Za obe smeri	Za posamezno smer
1	–	1
2	0,5	0,9
3	0,5	0,8
4	0,45	0,8
5	0,45	0,8
≥ 6	0,4	–

Vpliv širine prometnih pasov vozišča na prometno obremenitev se upošteva z ustreznim faktorjem širine prometnega pasu f_2 , ki se ga izbere iz Preglednica 26 glede na širino načrtovanega prometnega pasu.

Preglednica 26: Faktor vpliva širine prometnega pasu f_2 (povzeto po RStO 12, 2012, str. 30)

Table 26: Lane width factor f_2 (adapted from RStO 12, 2012, p. 30)

Širina prometnega pasu [m]	Faktor širine prometnega pasu f_2
do 2,50	2
od 2,50 do 2,75	1,8
od 2,75 do 3,25	1,4
od 3,25 do 3,75	1,1
nad 3,75	1

Iz zgornje preglednice je razvidno, da so širši pasovi manj obremenjeni, saj se prometna obremenitev razporedi po večji površini voznega pasu.

Vpliv največjega vzdolžnega nagiba vozišča na prometno obremenitev se upošteva s faktorji vzdolžnega nagiba nivelete f_3 , ki so predstavljeni v Preglednica 27.

Preglednica 27: Faktor vpliva vzdolžnega nagiba nivelete vozišča f_3 (povzeto po RStO 12, 2012, str. 31)

Table 27: Slope factor f_3 (adapted from RStO 12, 2012, p. 31)

Maksimalni nagib nivelete [%]	Faktor vzdolžnega nagiba nivelete f_3
< 2	1,00
≥ 2 < 4	1,02
≥ 4 < 5	1,05
≥ 5 < 6	1,09
≥ 6 < 7	1,14
≥ 7 < 8	1,20
≥ 8 < 9	1,27
≥ 9 < 10	1,35
≥ 10	1,45

Za primer vzdolžnega nagiba do 2 % se vpliv f_3 ne upošteva oziroma je enak 1, pri voznih pasovih na večjih vzponih oziroma spustih pa je vpliv večji, in sicer lahko znaša do 1,45.

Vrednosti povprečne letne stopnje rasti prometa s težkimi tovornimi vozili p , podane v Preglednica 28 so določene glede na kategorijo ceste.

Preglednica 28: Povprečna letna stopnja rasti prometa s težkimi tovornimi vozili p (povzeto po RStO 12, 2012, str. 31)

Table 28: Average annual increase in heavy traffic p (adapted from RStO 12, 2012, p. 31)

Kategorija ceste	Povprečna letna stopnja rasti prometa s težkimi tovornimi vozili p
Avtocesta	0,03
Glavna cesta	0,02
Regionalna cesta	0,01

Vpliv letne rasti prometa p se izrazi s faktorjem povečanja prometne obremenitve s težkim tovornim prometom f_z za obdobje načrtovane voziščne konstrukcije.

Preglednica 29: Faktor povečanja prometne obremenitve f_z zaradi načrtovane letne stopnje rasti prometa v načrtovani dobi trajanja (povzeto po RStO 12, 2012, str. 31)

Table 29: Average annual growth factor for heavy traffic f_z (adapted from RStO 12, 2012, p. 31)

N [let]	Povprečna letna stopnja rasti prometa s težkimi tovornimi vozili		
	p		
	0,01	0,02	0,03
5	1,02	1,041	1,062
10	1,046	1,095	1,146
15	1,073	1,153	1,24
20	1,101	1,215	1,344
25	1,130	1,281	1,458
30	1,159	1,352	1,586

V Preglednica 29 so prikazane preračunane vrednosti faktorja f_z glede na različne letne rasti prometa v odvisnosti od predvidene dobe trajanja voziščne konstrukcije.

4.5.3.1 Prometna obremenitev na ostalih prometnih površinah

Za uvrstitev v skupino prometne obremenitve, na osnovi izračunane prometne obremenitve, je za avtobusna postajališča na voljo Preglednica 30. V primeru, ko se prometna obremenitev avtobusnih postajališč določi z metodo, opisano v poglavju 4.5.2, je potrebno temu primerno upoštevati faktorje f_2 , f_A in q_{Ba} .

Preglednica 30: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve za avtobusna postajališča (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11)

Table 30: Design traffic load on bus traffic areas and assigned load classes (adapted from RStO 12, 2012, p. 11)

Skupina prometne obremenitve	Načrtovana prometna obremenitev [avtobusov/dan]
Bk100	od 1400
Bk32	od 425 do 1400
Bk10	od 130 do 425
Bk3.2	od 65 do 130
Bk1.8	do 65*

Opomba: *v primeru prometne obremenitve z manj kot 15 avtobusi se lahko izbere nižja skupina prometne obremenitve

Če skupina prometne obremenitve za prometne površine, namenjene vzdrževanju in servisiranju, ni določena po postopku, opisanem v poglavju 4.5.2, se za uvrstitev v skupino prometne obremenitve uporabi Preglednica 31. Prometne površine, namenjene vzdrževanju in servisiranju, ki so priključene na avtoceste, se ne sme umestiti v razred, nižji od Bk10.

Preglednica 31: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve za prometne površine, namenjene vzdrževanju in servisiranju (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11)

Table 31: Traffic areas in maintenance and service areas and assigned load classes (adapted from RStO 12, 2012, p. 11)

Skupina prometne obremenitve	Vrsta prometa
Bk3.2 to Bk10	promet s težkimi tovornimi vozili
Bk0.3 to Bk1.8	avtomobili z malo težkih tovornih vozil

Parkirne površine se umesti v razred prometne obremenitve glede na vrsto prometa, kot je prikazano v naslednji preglednici. Parkirne površine, ki so priključene na avtoceste, se ne sme umestiti v razred, nižji od Bk10.

Preglednica 32: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve za prometne površine, namenjene parkiranju (povzeto po RStO 12, 2012, str. 11)

Table 32: Parking areas and assigned load classes (adapted from RStO 12, 2012, p. 11)

Skupina prometne obremenitve	Vrsta prometa
Bk3.2 to Bk10	promet s težkimi tovornimi vozili
Bk1.0/ Bk1.8	občasna izpostavljenost težkim tovornim vozilom
Bk0.3	avtomobili (možna uporaba vzdrževalnih vozil)

Prometne površine so lahko izpostavljene tudi posebnim obremenitvam z s težkim tovornim prometom, ki nastajajo predvsem:

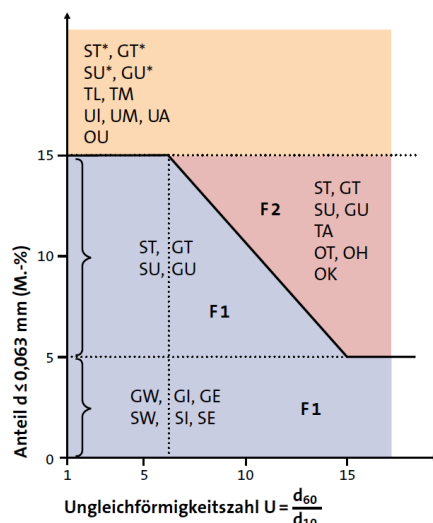
- ob počasnem gibanju,
- pri kanaliziranem prometu,
- pri pogostem zaviranju in pospeševanju na določenih odsekih,
- ob zadrževanju na parkirnih površih,
- na področju križišč in priključkov.

Ključnega pomena je ugotoviti, če je potrebno takšne posebne obremenitve upoštevati v samem postopku dimenzioniranja in kako prilagoditi strukturo voziščne konstrukcije.

4.6 Nosilnost podlage

Zahteve ter kriteriji za zemljine, ki sestavljajo temeljna tla ali nasipe voziščnih konstrukcij, so podane v ločenih tehničnih specifikacijah in smernicah za zemeljska dela v cestogradnji ZTV E-StB (Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau). Na podlagi ZTV E-StB so zemljine glede na občutljivost na zmrzovanje razdeljene v razrede od F1 do F3, kjer razred F1 predstavlja zmrzlinso odporne zemljine (RStO 12, 2012).

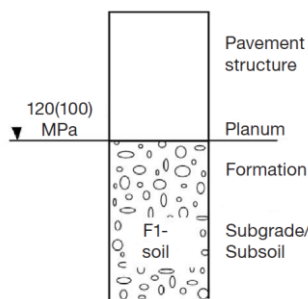
Razmejitev med razredi je prikazana na naslednji sliki. Razmejitev med razredoma F1 in F2 je določena z deležem finih zrn ter vrednostjo količnika neenakomernosti oblikovanosti presejne krivulje U. Materiali, zelo občutljivi na zmrzovanje (razred F3) so označeni z oranžno barvo (Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2010).



Slika 19: Diagram razmejnitve razredov materialov glede na zmrzlinško občutljivost (Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2010, str. 16)

Figure 19: Frost susceptibility soil classification (Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2010, p. 16)

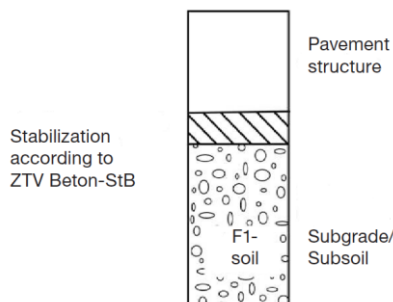
V primerih, ko so temeljna tla neposredno pod voziščno konstrukcijo uvrščena v razred zmrzlinške občutljivosti F1 in je globina tal vsaj 1,2 m (1,3 v coni II oziroma 1,5 m v coni III), zmrzlinško odporna plast (frost blanket course) ni potrebna. V tem primeru morajo temeljna tla (35 cm pod planumom spodnjega ustroja) vseeno ustrezati zahtevam za nevezane plasti v smislu zgoščenosti in povezanosti, kot to narekujejo tehnične specifikacije in smernice za gradnjo nevezanih plasti v cestogradnji ZTV SoB-StB (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau). V kolikor temeljna tla izkazujejo nosilnost izraženo z vrednostjo deformacijskega modula $E_{v2} = 120$ MPa (za Bk1.0 – Bk100) oziroma $E_{v2} = 100$ MPa (za Bk0,3), je lahko voziščna konstrukcija zgrajena neposredno na temeljnih tleh, kot je prikazano na Slika 20 (RStO 12, 2012). Ustrezna sestava in debelina asfaltne voziščne konstrukcije se v tem primeru izbere iz **Preglednice** v vrsticah 1, 2.1, 3 ali 4. Upošteva se samo voziščno konstrukcijo nad zmrzlinško odporno plastjo.



Slika 20: Vgraditev voziščne konstrukcije na tla uvrščena v razred občutljivosti na zmrzovanje F1 z doseženo nosilnostjo $E_{v2} \geq 120$ MPa (za Bk0,3, $E_{v2} \geq 100$ MPa) (RStO 12, 2012, str. 13)

Figure 20: Structures on F1-soil with $E_{v2} \geq 120$ MPa (for load class Bk0,3 $E_{v2} \geq 100$ MPa) (RStO 12, 2012, p. 13)

Kadar temeljna tla ne dosegajo omenjenih vrednosti E_{v2} , je po RStO 12 (2012) potrebno izvesti stabilizacijo plasti ali plast in nevezanega materiala. Stabilizacijo se izvede v skladu z dodatnimi tehničnimi specifikacijami in smernicami za gradnjo nosilnih plasti s hidravličnimi vezivi in betonskih plasti ZTV Beton-StB (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton), kot je prikazano na Slika 21.



Slika 21: Vgraditev voziščne konstrukcije na tla, uvrščena v razred občutljivosti na zmrzovanje F1 z izvedbo stabilizacije (RStO 12, 2012, str. 13)

Figure 21: Structures on F1-soil with stabilization according to ZTV Beton-StB (RStO 12, 2012, p. 13)

Ustrezna asfaltna voziščna konstrukcija in debeline posameznih plasti se v takšnem primeru izberejo iz **Preglednice**, v vrsticah 2.2, in 2.3. Upošteva se samo voziščno konstrukcijo nad zmrzlinso odporno plastjo. V kolikor se namesto stabilizacije vgradi nevezana nosilna plast, se dimenzije izbere glede na vrednosti podane v Preglednica 33.

Preglednica 33: Referenčne vrednosti debelin nevezanih nosilnih plasti z namenom doseganja ustrezne nosilnosti (povzeto po RStO 12, 2012, str. 17)

Table 33: Reference values for layer thicknesses required for bearing capacity reasons for unbound granular layers (adapted from RStO 12, 2012, p. 17)

Nevezana nosilna plast	E_{v2} vrednost na površini nevezane nosilne plasti [MPa]											
	≥ 80	≥ 100	≥ 120	≥ 150	≥ 100	≥ 120	≥ 150	≥ 120	≥ 150	≥ 180	≥ 150	≥ 180
	↑				↑			↑			↑	
Nosilna plast iz drobljenca [cm]	15*	15*	25	35**	–	20	25	15*	20	30	15*	20
Nosilna plast iz prodca [cm]	15*	15*	30	50**	–	25	35	20	30		20	
Zmrzlinso odporna plast - drobljen material [cm]	15*	20	30		15*	25						

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 33

Zmrzlinško odporna plast - nedrobljen material [cm]	20	25	30		–	–						
	↑			↑			↑			↑		
E _{v2} podlage [MPa]	45			80			100			120		
Podlaga	Planum spodnjega ustroja						Zmrzlinško odporna plast					

Za voziščne konstrukcije, zgrajene na zemljinah uvrščenih v razred občutljivosti F2 ali F3, mora deformacijski modul E_{v2} na planumu temeljnih tal znašati vsaj 45 MPa. V tem primeru je nujno potrebno na temeljna tla vgraditi zmrzlinško odporno plast. Debelina zmrzlinško odporne plasti je definirana in se izbere v Preglednici. V primeru povezanih voziščnih konstrukcij, zgrajenih na temeljnih tleh, uvrščenih v razred občutljivosti na mraz F3 ali F2, s kritičnim stanjem vlažnosti, je potrebna posteljica oziroma stabilizacija, debeline vsaj 15 cm. V tem primeru se debelino posteljice ne prišteva k debelini voziščne konstrukcije. (RStO 12, 2012).

4.7 Klimatski in hidrološki pogoji

Klimatski in hidrološki pogoji so v RStO 12 (2012) upoštevani z najmanjšo potrebno debelino voziščne konstrukcije, odporne na zmrzovanje h_{min} . Le-ta mora poleg ustreznega prenosa prometne obtežbe zagotoviti, da ne pride do škodljivih deformacij v obdobjih zmrzovanja in odtajanja. V kolikor izkušnje glede na lokalne klimatske pogoje ali obstoječe raziskave ne zadostujejo za določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne za zmrzovanje, se minimalna debelina določi na podlagi zmrzlinške občutljivosti podlage ter dodatnih ali reduciranih debelin. Klasifikacija zemljin glede na učinke zmrzovanja je podrobneje definirana v smernicah ZTV E-StB. Za temeljna tla, sestavljena iz materiala, uvrščenega v razred občutljivosti F2 in F3, so glede na skupino prometne obremenitve v Preglednica 34 podane izhodiščne vrednosti za določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije odporne na zmrzovanje.

Preglednica 34: Izhodiščne vrednosti za določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne na učinke zmrzovanja (povzeto po RStO 12, 2012, str. 14)

Table 34: Initial values for determination of the minimum thickness of the frost resistant pavement structure (adapted from RStO 12, 2012, p. 14)

Razred občutljivosti	Izhodiščna minimalna debelina voziščne konstrukcije h_{izh} [cm]		
	skupina prometne obremenitve		
	Bk 100 do Bk10	Bk3.2 do Bk1.0	Bk0.3
F2	55	50	40
F3	65	60	50

Za določitev skupne minimalne debeline voziščne konstrukcije odporne na zmrzovanje je potrebno poleg občutljivosti podlage upoštevati naslednje dodatne pogoje:

- strukturo voziščne konstrukcije,
- vpliv zmrzovanja,
- lokalne klimatske razmere,
- lokalne hidrološke razmere,
- položaj vozišča glede na naravni teren ter
- odvodnjavanje.

Navedene pogoje se upošteva z enačbo za izračun dodatnih ali reduciranih debelin voziščne konstrukcije:

$$\text{dodatna/reducirana debelina} = A + B + C + D + E \quad (18)$$

Skupna minimalna potrebna debelina voziščne konstrukcije se določi po naslednji enačbi:

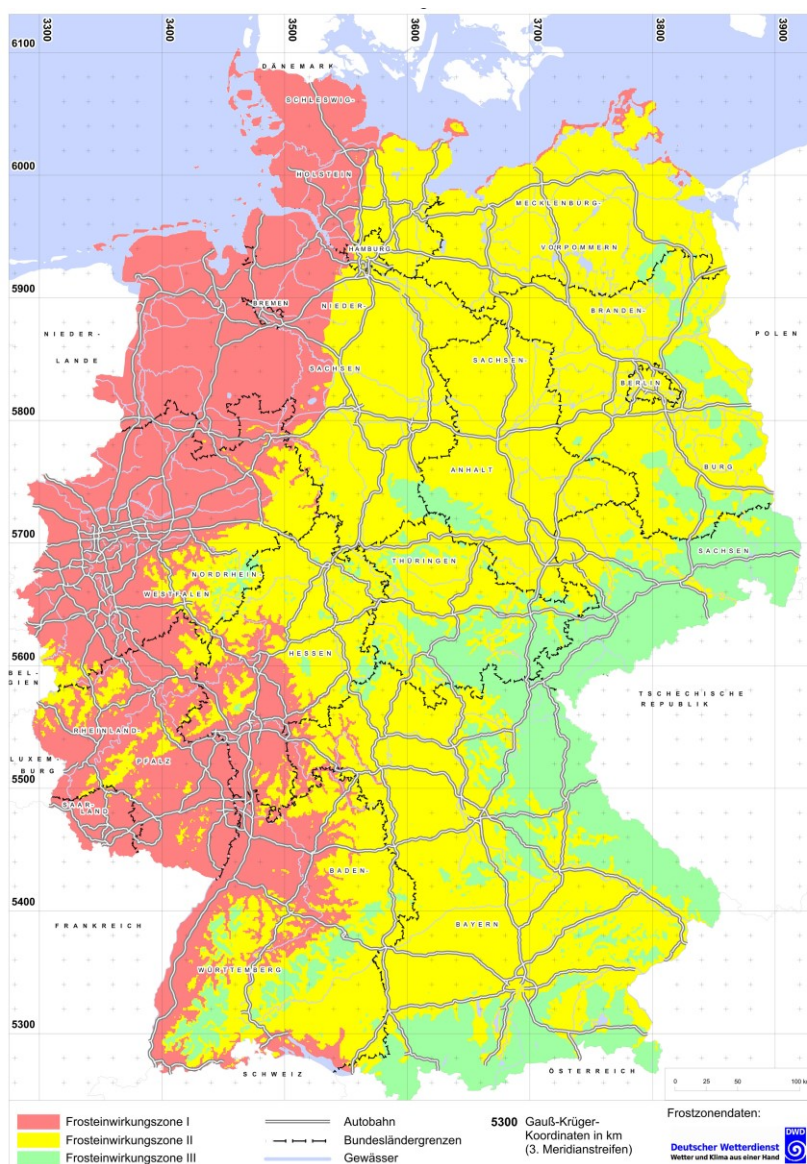
$$h_{min} = h_{izh} + A + B + C + D + E \quad (19)$$

Preglednica 35: Vpliv dodatnih pogojev na debelino voziščne konstrukcije, izražen z dodatnimi oziroma reduciranimi debelinami (povzeto po RStO 12, 2012, str. 15)

Table 35: Additional or reduced thicknesses due to local conditions (adapted from RStO 12, 2012, p. 15)

Lokalni pogoji		A	B	C	D	E
Vpliv zmrzovanja	Cona I	± 0 cm				
	Cona II	± 5 cm				
	Cona III	± 15 cm				
Lokalne klimatske razmere	Neugodni klimatski vplivi	± 5 cm				
	Običajni klimatski vplivi	± 0 cm				
	Ugodni klimatski vplivi	$- 5$ cm				
Hidrološke razmere v podlagi	Brez podtalnice ali plasti vode na globini $\leq 1,5$ m pod terenom	± 0 cm				
	Stalna ali občasna podtalnica ali plasti vode na globini do $1,5$ m pod terenom	$+ 5$ cm				
Položaj vozišča	Vkop	$+ 5$ cm				
	Ravnina ali nasip $\leq 2,0$ m	± 0 cm				
	Nasip $> 2,0$ m	$- 5$ cm				
Odvodnjavanje	Drenažni jarki, korita ali nakloni	± 0 cm				
	Kanali ali kanalizacijski vodi in cevovodi	$- 5$ cm				

Vpliv zmrzovanja se upošteva z definiranjem cone zmrzovanja, v kateri se načrtuje voziščna konstrukcija. Karta con zmrzovanja v Nemčiji ji prikazana na Slika 22.



Slika 22: Karta con zmrzovanja v Nemčiji (RStO 12, 2012, str. 16)

Figure 22: Frost action zones in Germany (RStO 12, 2012, p. 16)

Prodiranje mraza v temeljna tla ni odvisno samo od lokacije oziroma nadmorske višine, temveč tudi od ostalih dejavnikov, kot so: toplotna prevodnost podlage, pogoji vlažnosti v zemljini in voziščni konstrukciji ter pogoji toplotnega sevanja. Ker je vpliv teh dejavnikov težko določiti oziroma je specifičen za vsak primer posebej, je potrebno pri dimenzioniranju voziščne konstrukcije uporabiti natančno poznavanje lokalnih pogojev ter izkušnje iz preteklosti.

4.8 Značilnosti materialov in plasti v voziščni konstrukciji

Ustrezno sestavo voziščne konstrukcije se v RStO 12 (2012) izbere na podlagi razreda prometne obremenitve ter debeline voziščne konstrukcije odporne na zmrzovanje, ob upoštevanju izkazane nosilnosti temeljnih tal. V primeru izračunane potrebne debeline voziščne konstrukcije odporne na

zmrzovanje, ki se razlikuje od mejnih vrednosti v **Preglednici**, je le-ta merodajna in jo je potrebno upoštevati pri debelini zmrzlinško odporne plasti.

4.8.1 Nosilne plasti

Zahteve za nevezane in vezane nosilne plasti so določene v ZTV Asphalt-StB, ZTV Beton-StB in ZTV SoB-StB. Nevezana nosilna plast je lahko: zmrzlinško odporna plast, plast iz drobljenca ali plast iz prodca. Minimalne debeline zmrzlinško odpornih plasti (thickness of frost blanket course) so določene v **Preglednici**. V primerih, ko potrebna debelina ni navedena, zahtevana vrednost E_{v2} na zmrzlinško odporni plasti verjetno ne bo ustrezna, zato je potrebno izbrati ustrezno debelejšo plast odporno na zmrzovanje ali pa drugačno strukturo voziščne konstrukcije. Plast, odporno na zmrzovanje, je možno v celoti zamenjati z enakim materialom, uporabljenim za nevezano nosilno plast nad zmrzlinško odporno plastjo. Vezane nosilne plasti se delijo na asfaltne in drenažno asfaltne nosilne plasti (WDA) ter na nosilne plasti z hidravličnimi vezivi (stabilizirane, s hidravličnimi vezivi, betonske, drenažno betonske).

4.8.2 Asfaltne krovne plasti

Zahteve in debeline za asfaltne krovne kot tudi asfaltne vezane zgornje plasti, uporabljene za razrede, obremenitve Bk100 do Bk3.2, so podane v ZTV Asphalt-StB. V primerih odstopanja načrtovanih debelin asfaltnih plasti od tistih navedenih v **Preglednici** je predpisano nujno upoštevanje zahtev v ZTV Asphalt-StB.

Slika 23 prikazuje vrste asfaltnih zmesi, ki so primerne za uporabo za krovne, vezne ter nosilne asfaltne plasti. Poleg vrst asfaltnih mešanic so podane tu vrednosti debelin plasti, kot tudi mejne priporočljive debeline posameznih plasti ob uporabi izbranih mešanic.

Asfaltne plasti so razdeljene v naslednje skupine:

- asfaltna krovna plast (Asphalt-deckschichten) – oznaka D,
- asfaltna vezna plast (Asphalt-binderschichten) – oznaka B,
- asfaltna nosilna plast (Asphalt-tragschichten) – oznaka D,
- asfaltna obrabnonosilna plast (Asphalttrag-deckschichten) – oznaka TD.

Področja uporabe posameznih zmesi so definirana na sledeč način (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013):

- L (leichte) lahka prometna obremenitev,
- N (normale) običajna prometna obremenitev,
- S (besondere) posebna prometna obremenitev.

Tab. 9 Asphaltmischgutarten und -sorten mit ihren vorgeschriebenen Schichtdickenbereichen und den für die Leistungsbeschreibung empfohlenen Schichtdicken			
Schicht	Asphaltmischgutarten und -sorten	Schichtdicke nach ZTV Asphalt-StB [cm]	Empfohlene Schichtdicke für Leistungsbeschreibungen [cm]
Asphalt-deckschichten	AC 5 D L	2,0 bis 3,0	2,0
	AC 8 D N, AC 8 D L	3,0 bis 4,0	3,0
	AC 11 D N, AC 11 D L	3,5 bis 4,5	4,0
	AC 8 D S	3,0 bis 4,0	3,5
	AC 11 D S	4,0 bis 5,0	4,0
	AC 16 D S	5,0 bis 6,0	5,0
	SMA 5 N	2,0 bis 3,0	2,0
	SMA 8 N	2,0 bis 3,5	3,0
	SMA 8 S	3,0 bis 4,0	3,5
	SMA 11 S	3,5 bis 4,0	4,0
Asphaltbinderschichten	MA 5 S, MA 5 N	2,0 bis 3,0	2,5
	MA 8 S, MA 8 N	2,5 bis 3,5	3,0
	MA 11 S, MA 11 N	3,5 bis 4,0	3,5
Asphalt-tragschichten	AC 16 B N	5,0 bis 6,0	≥ 5,0
	AC 16 B S	5,0 bis 9,0	≥ 6,0
	AC 22 B S	7,0 bis 10,0	≥ 8,0
Asphalttrag-deckschichten	AC 22 T S, AC 22 T N, AC 22 T L	≥ 8,0	≥ 8,0
	AC 32 T S, AC 32 T N, AC 32 T L	≥ 8,0	≥ 8,0
Asphalttrag-deckschichten	AC 16 TD	5,0 bis 10,0	≥ 6,0

Slika 23: Vrste ter mejne debeline plasti asfaltnih plasti (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, str. 20)

Figure 23: Asphalt course types and required thicknesses (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2013, p. 20)

4.9 Postopek dimenzioniranja

Postopek dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij v Nemčiji je podrobno zajet v poglavjih od 4.5 do 4.8. Metoda dimenzioniranja voziščnih konstrukcij po RStO 12 obsega določitev vhodnih parametrov ter ob upoštevanju le-teh, izbiro ustrezne standardizirane sestave voziščne konstrukcije. Koraki v postopku dimenzioniranja so sledeči:

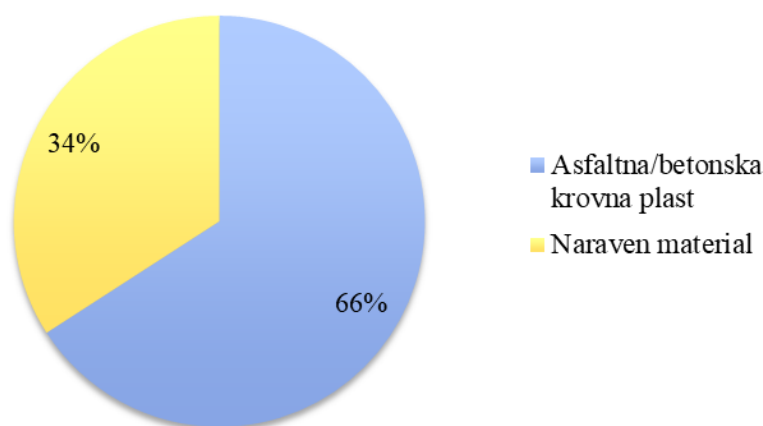
1. Določitev prometne obremenitve na podlagi štetja prometa.
2. Določitev skupne merodajne prometne obremenitve za načrtovano dobo trajanja voziščne konstrukcije z upoštevanjem dodatnih vplivov na prometno obremenitev.
3. Preveritev nosilnosti podlage oziroma povečanje nosilnosti s primernimi ukrepi.
4. Določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne proti učinkom zmrzovanja.
5. Izbira strukture/plasti voziščne konstrukcije.
6. Izbira standardizirane sestave voziščne konstrukcije iz Preglednice.
7. Izbira materialov posameznih plasti ob upoštevanju ustreznih tehničnih smernic.

5 DIMEZIONIRANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ V ZDRUŽENIH DRŽAVAH AMERIKE

5.1 Splošno

Cestno omrežje ZDA je z več kot 6.700.000 km cest po dolžini in velikosti največje na svetu. Približno 4.400.000 km cest je prekritih z ustrezno krovno plastjo, medtem ko je okrog 2.300.000 km cest prekritih oziroma sestavljenih iz naravnih materialov (National Transportation Statistics, 2017).

Razdelitev cest glede na tip krovne plasti



Slika 24: Omrežje javnih cest v ZDA glede na tip krovne plasti

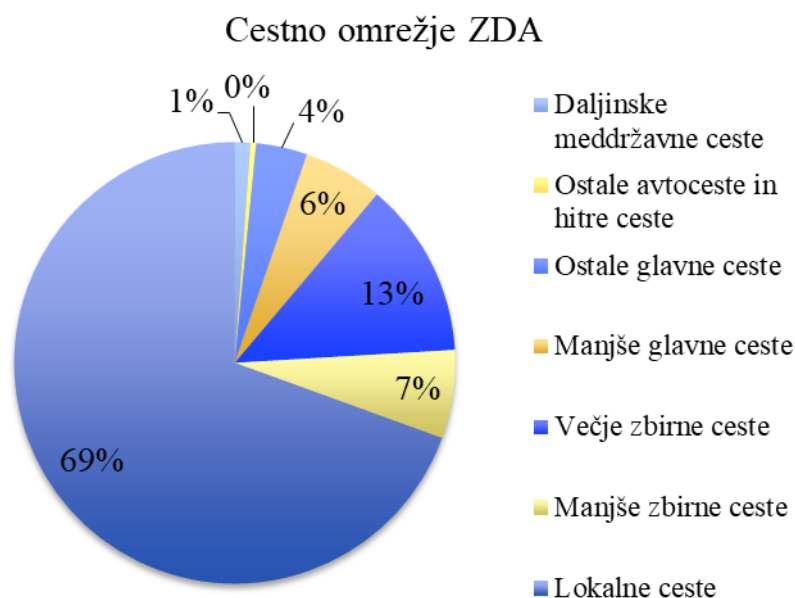
Figure 24: Public road network in the U.S. according to surface course

Cestno omrežje ZDA je v osnovi razdeljeno na občinske in mestne ceste, in sicer je malo manj kot 4.790.000 km oziroma 70,9 % cest občinskih ter 1.940.000 oziroma 29,1 % cest mestnih. V Preglednica 36 je prikazana razdelitev na mestne in občinske ceste kot tudi razdelitev glede na funkcijo ceste (National Transportation Statistics, 2017).

Preglednica 36: Omrežje javnih cest v ZDA (National Transportation Statistics, 2017)

Table 36: Public road network in the U.S. (National Transportation Statistics, 2017)

Funkcijska klasifikacija cest	Dolžina cestnega omrežja [km]		
	Mestne ceste	Občinske ceste	Skupna dolžina
Daljinske meddržavne ceste	29.881	46.824	76.704
Ostale avtoceste in hitre ceste	18.964	8.797	27.761
Ostale glavne ceste	107.441	145.278	252.719
Manjše glavne ceste	180.710	213.514	394.224
Večje zbirne ceste	205.688	660.291	865.979
Manjše zbirne ceste	18.916	416.035	434.951
Lokalne ceste	1.372.373	3.297.617	4.669.989
Skupaj	1.933.973	4.788.356	6.722.329



Slika 25: Omrežje javnih cest v ZDA glede na kategorijo ceste

Figure 25: Public road network in the U.S. according to road category

Asfaltne in betonske voziščne konstrukcije so v Združenih državah Amerike (v nadaljevanju ZDA) v uporabi od poznih 80. let 19. stoletja. Čeprav so se gradbene tehnologije in materiali v zadnjem stoletju bistveno razvili, je bilo dimenzioniranje voziščnih konstrukcij vsa ta leta zasnovano predvsem na empiričnih metodah in regionalnih izkušnjah. Priročnik za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* 1993 (v nadaljevanju: AASHTO priročnik) je dolga leta predstavljal v ZDA osnovo za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij. Vse verzije priročnika so zasnovane na empiričnih metodah dimenzioniranja, in sicer na podlagi podatkov izmerjenih v sklopu AASHO Road testa v letih 1958-1960 v Ottawi, Illinois, ZDA. AASHO test je bil izveden s strani ameriškega združenja za državne ceste oziroma American Association of State Highway Officials (v nadaljevanju: AASHTO) kot študija določitve škode oziroma poslabšanja vozišč zaradi prometne obremenitve. Izvedena je bila serija eksperimentov za določitev učinkovitosti voziščnih konstrukcij znanih debelin obremenjenih s spremenljivimi obtežbami znanih velikosti ter frekvenc. Test je zajel betonske in asfaltne voziščne konstrukcije. Podatki pridobljeni iz AASHO testa so bili ključnega pomena za nadgradnjo znanja o dimenzioniranju voziščnih konstrukcij, prometni obremenitvi, klimatskih vplivih... Pridobljeni podatki o obnašanju vozišča so osnova enačb in nomogramov uporabljenih v AASHTO priročniku. Več kot osemdeset odstotkov državnih agencij v ZDA je v preteklosti prevzelo metode iz AASHTO priročnika ter jih prilagodilo glede na regionalne izkušnje v lastne smernice za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006).

Z leti se je izkazalo, da empirični postopki, definiran v AASHTO priročniku več ne ustrezajo novim, povečanim prometnim obremenitvah, vpeljavi novih materialov ter robnim pogojem različnih regij. Ne dovolj natančna metoda dimenzioniranja je rezultirala v znatnem povečanju letnih stroškov vzdrževanja cestnega omrežja. S tem namenom se je pozornost začela posvečati novim, analitičnim metodam dimenzioniranja, po katerih se voziščna konstrukcija dimenzionira kot večplastna struktura,

katere plasti izkazujejo različno obnašanje. Omenjene metode predvidevajo odzive posameznih plasti v odvisnosti od prometnih obremenitev in klimatskih vplivov. Na osnovi napetosti in deformacij, ki jim bo voziščna konstrukcija izpostavljena, se izračuna obremenitve, ki jih je obravnavana konstrukcija sposobna prevzeti. Ker predvideni rezultati z uporabo empiričnih in analitičnih metod niso vedno odražali dejanskega stanja, se je med leti 1996 in 2004, v okviru Nacionalnega kooperativnega raziskovalnega plana za avtoceste (National Cooperative Highway Research Program - NCHRP) razvila mehansko-empirična metoda izdana v Mehansko-empiričnem priročniku za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide – MEPDG) leta 2008 (Martinez Díaz, Pérez, 2015). MEPDG predstavlja nadgradnjo AASHTO Priročnika iz leta 1993, njegov cilj pa je določiti vzroke za napetosti v voziščnih konstrukcijah ter jih povezati z obnašanjem voziščnih konstrukcij. Določanje vzrokov za napetosti predstavlja mehanski del pristopa, uporaba podatkov iz opazovanja in obnašanja voziščnih konstrukcij ter določitev povezav pa empirični del. Ena od glavnih razlik MEPDG je pristop k dimenzioniranju, ki je v tem primeru obraten empiričnemu. V običajnih metodah dimenzioniranja se po navadi upošteva različne vhodne podatke na podlagi katerih se zadosti potrebnih zahtevam za voziščno konstrukcijo. Zasnova voziščne konstrukcije po MEPDG pa se v skladu s prometno obremenitvijo in klimatskimi razmerami poskusno domneva na začetku, MEPDG software pa izračuna kako bi se poskusna voziščna konstrukcija obnesla glede na vhodne podatke ter oceni stopnjo poškodovanosti vozišča skozi čas v smislu kakovosti vožnje (What is Mechanistic-Empirical Design? – The MEPDG and you, 2012). Razvoj MEPDG je bil podprt s programskim software-om DARWin-ME, kasneje AASHTOWare Pavement ME Design software.

ZDA so vložile precej časa in truda v implementacijo nove metode, so pa empirične osnove obstoječih metod tiste, zaradi katerih je v ZDA težko sprejeti nove koncepte. Zadnja leta se velika večina držav trudi z vpeljavo novega priročnika in programske opreme, gre pa vsekakor za dolgotrajen proces, ki bo še trajal in potreboval veliko izboljšav. V sklopu vpeljave nove metode je Federal Highway Administration FHWA v letih 2014 in 2015 organizirala več regionalnih MEPDG srečanj, kjer je 34 državnih agencij za promet delilo izkušnje ter probleme s samo implementacijo MEPDG priročnika ter AASHTOWare Pavement ME Design, hkrati pa jim je FHWA nudila dodatne smernice za samo implementacijo. Rezultat teh sestankov so tudi forumi in poročila, ki zagotavljajo dokumentacijo ključnih ugotovitev, katere lahko državne agencije kasneje uporabijo pri sami implementaciji. Srečanja bodo potekala tudi v prihodnosti, saj gre za, kot je že bilo omenjeno, nedokončan proces, ki bo trajal še dlje časa (AASHTO MEPDG regional peer exchange meetings, 2015).

Čeprav je AASHO študija že precej stara in ima določene pomanjkljivosti, pridobljeni podatki naj bi veljali le pod posebnimi pogoji, gre še vedno za eno najbolj uporabljanih študij na tem področju. Ker nova metoda ter MEPDG še vedno nista privzeta po vseh ZDA ter ne bi bilo mogoče dobiti merodajnih rezultatov, bo za potrebe magistrske naloge uporabljena metoda iz AASHTO Priročnika, katerega starejša verzija je tudi vir slovenskih tehničnih specifikacij.

5.2 Predpisi na področju dimenzioniranja cest

United States Department of transportation (v nadaljevanju: DOT) predstavlja v ZDA Ministrstvo za infrastrukturo, ki je odgovorno za hiter, varen, efektiven in dostopen sistem infrastrukture, v skladu z interesi države. Glavne prioritete DOT-a so varnost ljudi, ki uporabljajo infrastrukturo, povečanje mobilnosti ter prispevek h gospodarski rasti (About DOT, 2015). DOT je dejaven na več delovnih področjih, v sklopu katerih je razdeljen na več uprav. Za področje cest skrbi Federal Highway Administration (v nadaljevanju: FHWA), ki je organ v sestavi ministrstva. FHWA koordinira cestne

programe v sodelovanju z zveznimi državami z namenom povečanja varnosti, ekonomičnosti, kakovosti življenja ter okolja. V ta namen FHWA skrbi za gradnjo, vzdrževanje in ohranjanje državnih cest, predorov in mostov, izvaja in financira s tem povezane raziskave ter nudi tehnično in finančno pomoč državnim in lokalnim vladnim agencijam. FHWA je odgovorna za varno in tehnično dovršeno cestno omrežje v ZDA (Our administrations, 2017).

Ključno vlogo na področju cestne infrastrukture v ZDA ima vsekakor tudi American Association of State Highway Officials (v nadaljevanju: AASHTO). AASHTO je neprofitna organizacija za promet, ki deluje na področju cestnega, javnega, železniškega, vodnega ter zračnega prometa. Glavni cilj organizacije je spodbujanje, delovanje in vzdrževanje integriranega državnega infrastrukturnega sistema v več kot petdesetih zveznih državah. AASHTO v ZDA predstavlja vmesni člen med ministrstvi oziroma agencijami posameznih držav ter zvezno vlado, v mednarodnem okolju pa vodilno organizacijo na področju postavljanja tehničnih standardov za projektiranje in gradnjo cest ter mnogih drugih tehničnih področjih (About AASHTO, 2016).

5.3 Metoda dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij po AASHTO Priročniku iz leta 1993

Vsesplošen postopek dimenzioniranja asfaltnih voziščnih konstrukcij je po AASHTO priročniku zasnovan na določitvi strukturnega števila SN (structural number) oziroma debeline voziščne konstrukcije, tako da ta prenese projektno stopnjo prometne obremenitve. Postopek stremi k dimenzioniranju s točno določeno izgubo stopnje uporabnosti na koncu načrtovane življenjske dobe voziščne konstrukcije.

Pri dimenzioniranju fleksibilne voziščne konstrukcije je potrebno upoštevati več dejavnikov (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993):

- obnašanje vozišča,
- strukturo voziščne konstrukcije,
- prometno obremenitev,
- nosilnost podlage,
- dejavnike okolja (zanesljivost, uporabnost voziščne konstrukcije),
- lastnosti plasti (karakteristike materialov, odvodnjavanje),
- stroške izgradnje ter vzdrževanja.

Osnovna enačba oziroma empirični izraz za dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij po AASHTO priročniku je povezana s prometno obremenitvijo, sestavo voziščne konstrukcije ter obnašanjem voziščne konstrukcije skozi načrtovano življenjsko dobo:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \times \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \quad (20)$$
$$\times \log_{10}(M_R) - 8,07$$

kjer pomeni:

W_{18} (total design ESAL) – skupno število prehodov nominalne osne obremenitve 80 kN (18 kip)

Z_R – standardna normalna porazdelitev (funkcija stopnje zanesljivosti dimenzioniranja)

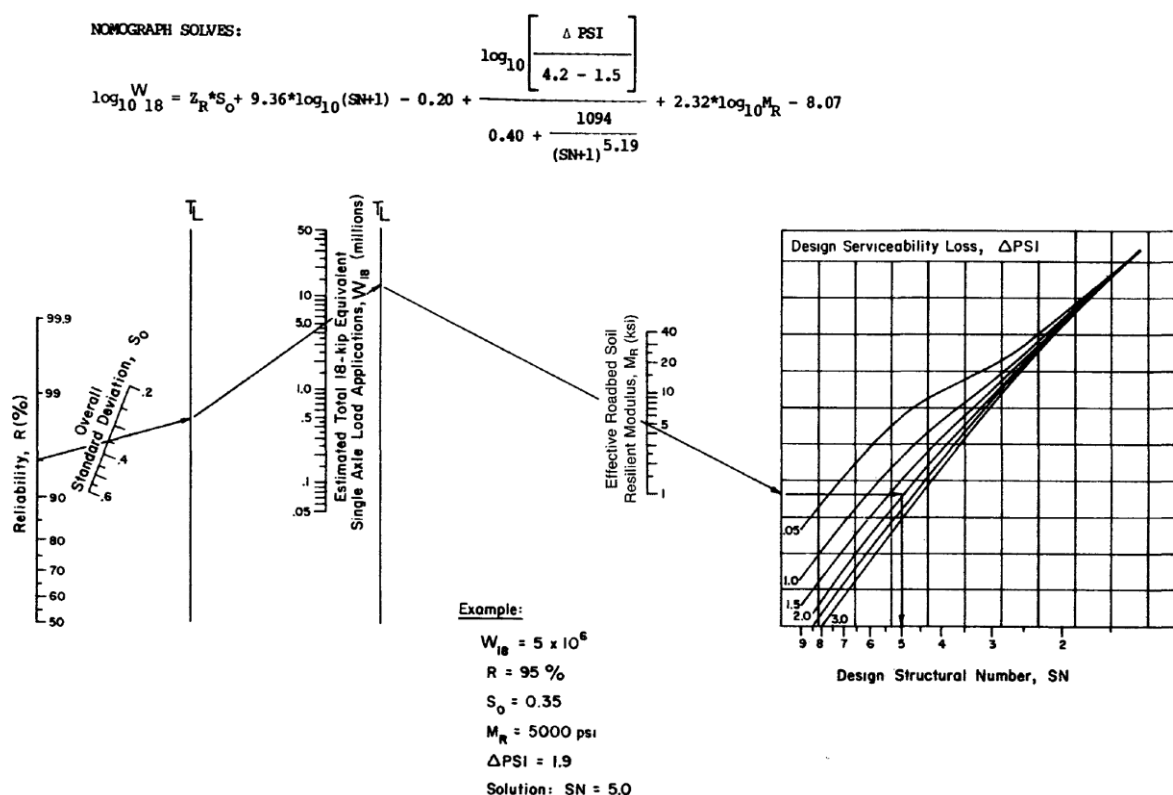
S_0 – skupni standardni odklon (funkcija celostne negotovosti dimenzioniranja)

ΔPSI – dovoljena izguba uporabnosti voziščne konstrukcije ob koncu življenjske dobe

M_R – modul elastičnosti podlage (psi)

SN – strukturno število (merilo potrebne strukturne zmogljivosti/nosilnosti)

Parametri W_{18} , Z_R , S_0 , ΔPSI , M_R običajno predstavljajo vhodne parametre v enačbi dimenzioniranja voziščne konstrukcije, rešitev enačbe pa je v tem primeru strukturno število SN, kot funkcija vhodnih parametrov, dobimo pa ga s pomočjo nomograma prikazanega na Slika 26.



Slika 26: Nomogram za rešitev enačbe fleksibilnih voziščnih konstrukcij (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Figure 26: Design chart for flexible pavements based on using mean values for each input (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Strukturno število je abstraktna vrednost, ki izraža strukturno trdnost voziščne konstrukcije in ga je za potrebe dimenzioniranja voziščne konstrukcije potrebno pretvoriti v posamezne debeline plasti. Strukturno število je definirano z naslednjim izrazom (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006):

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + \dots + a_i \times D_i \quad (21)$$

kjer pomeni:

D_i – debelina posamezne plasti

a_i – količnik ekvivalentnosti posamezne plasti

m_i – količnik odvodnjavanja posamezne plasti

Enačba nima le ene rešitve, saj obstaja več možnih kombinacij debelin in sestav plasti, ki zagotovijo ustrezno vrednost strukturnega števila. Za optimalno sestavo voziščne konstrukcije je potrebno upoštevati tudi stroške investicije in ostale dejavnike.

Merodajne osnove za dimenzioniranje so razdeljene v naslednje kategorije: projektne spremenljivke, merila uspešnosti, lastnosti materialov za dimenzioniranje, strukturne lastnosti ter spremenljivke, povezane z ojačitvami. V kategorijo projektnih spremenljivk so uvrščene doba trajanja ter doba uspešnosti voziščne konstrukcije, prometna obremenitev, zanesljivost in vplivi okolja. Merila uspešnosti so določena z uporabnostjo voziščne konstrukcije, pojavom kolesnic ter poškodovanjem vozišča. Pomembne lastnosti materialov za dimenzioniranje so opredeljene z efektivnim modulom elastičnosti podlage ter karakteristikami in količniki ekvivalentnosti posameznih plasti voziščne konstrukcije. V kategorijo strukturnih karakteristik spadajo odvodnjavanje, prenos obtežbe ter izguba podpore (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).

5.4 Struktura voziščne konstrukcije

Asfaltne voziščne konstrukcije so po AASHTO Priročniku v osnovi sestavljene iz asfaltne krovne plasti (asphalt-bound surface course/asphalt concrete), ki se nahaja nad nevezano nosilno plastjo (unbound base) ter spodnjo nevezano nosilno plastjo (unbound sub-base), ki sta vgrajeni na temeljna tla. Nevezane nosilne plasti se lahko v nekaterih primerih tudi izpusti oziroma stabilizira z bitumenskimi ali cementnimi vezivi. Asfaltna krovna plast je, podobno kakor v Sloveniji, razdeljena na več tipičnih podplasti: drenažna plast (seal coat), obrabna plast (surface course) ter vezna oziroma nosilna plast (binder and base course). Naslednja slika prikazuje pogoste variante izvedb asfaltnih voziščnih konstrukcij v ZDA (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006).



Slika 27: Najbolj pogoste strukture asfaltnih voziščnih konstrukcij (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006)

Figure 27: Some common variations of flexible pavement sections (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006)

5.5 Prometna obremenitev

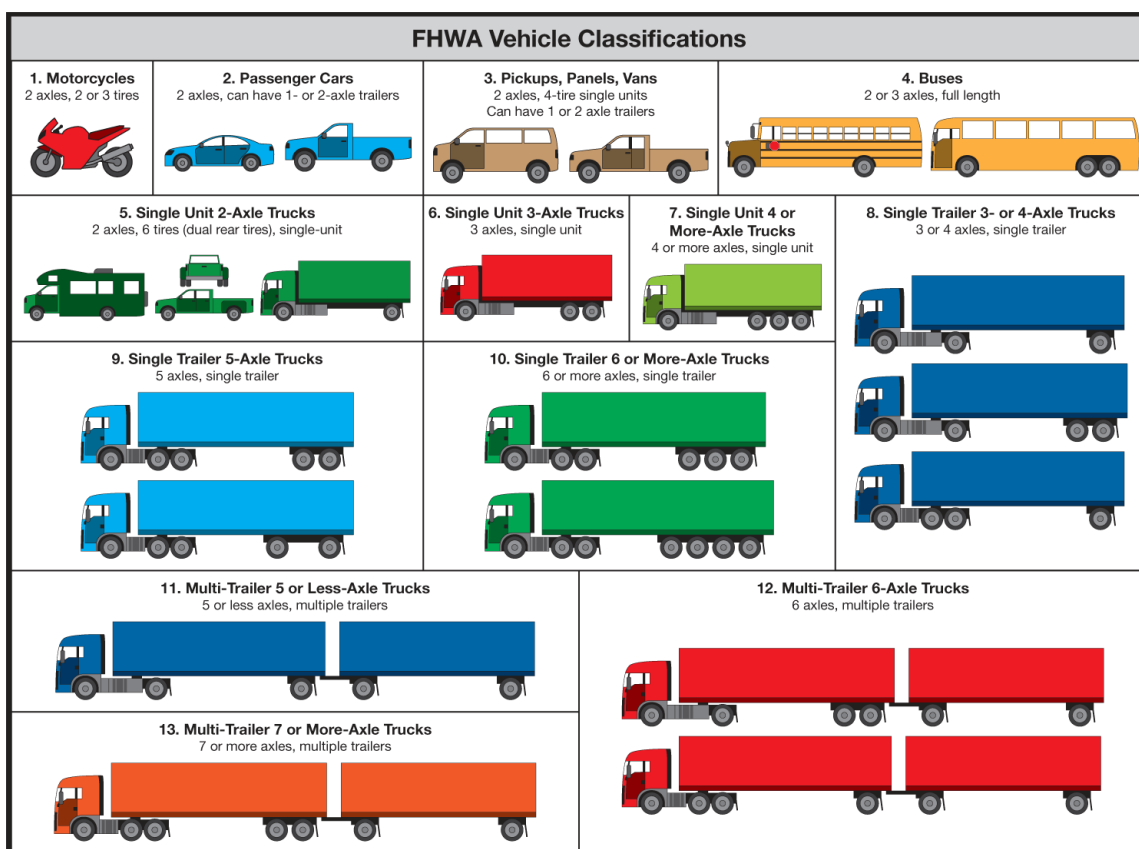
Določitev prometne obremenitve voziščne konstrukcije je dandanes v ZDA dokaj enostavna, je pa bolj težavno predvideti število in tipe osnih obremenitev, ki jim bo ta izpostavljena skozi celotno življenjsko dobo. Dodatno se je potrebno zavedati, da je primarna "skrb" škoda, ki jo prometna obremenitev povzroča in ne prometna obremenitev sama. Najpogostejši pristop za določitev prometne obremenitve v ZDA je pretvorba mešanega prometa v ekvivalentno prometno obremenitev, izraženo s številom prehodov nazivne osne obremenitve, ki v ZDA znaša 80 kN (18 kip).

5.5.1 Analiza prometa

Prometno obremenitev na vozišču obstoječih oziroma načrtovanih cest se določi z opredelitvijo povprečnega letnega dnevnega prometa ali določitvijo števila, teže in konfiguracije posameznih osi vozil. Večina urbanih območij hrani pretekle zapise štetja prometa, v nasprotnem primeru se štetje prometa, ki je dokaj poceni in hiter postopek, izvede ponovno. V določenih primerih, ko podatkov ni mogoče pridobiti s štetjem, se lahko uporabijo približne ocene.

Naslednji korak pri analizi prometa je razvrstitev tovornih vozil v različne kategorije. Podatki o prometnih obremenitvah so po FHWA (Hallenbeck, Selezneva, Quinley, 2014) razporejeni glede na 13 kategorij vozil, ki so merodajne za načrtovanje voziščne konstrukcije:

- Kategorija 1: motorna kolesa
- Kategorija 2: osebni avtomobili
- Kategorija 3: dvo-osna, štiri-kolesna vozila (poltovornjaki, kombiji, ...)
- Kategorija 4: avtobusi
- Kategorija 5: dvo-osna, šest-kolesna vozila
- Kategorija 6: tovorna vozila (3-osna)
- Kategorija 7: tovorna vozila (4-osna ali več)
- Kategorija 8: tovorna vozila s prikolico (4-osna ali manj)
- Kategorija 9: tovorna vozila s prikolico (5-osna)
- Kategorija 10: tovorna vozila s prikolico (6-osna ali več)
- Kategorija 11: tovorna vozila s prikolicami (5-osna ali manj)
- Kategorija 12: tovorna vozila s prikolicami (6-osna)
- Kategorija 13: tovorna vozila s prikolicami (7-osna ali več).



Slika 28: Klasifikacija vozil po FHWA (Traffic Recorder Instruction Manual, 2012)

Figure 28: Vehicle classification using FHWA 13-category scheme (Traffic Recorder Instruction Manual, 2012)

5.5.2 Faktorji ekvivalentnosti

Z namenom pretvorbe mešanega prometa v ekvivalentno prometno obremenitev, je potrebna izpeljava in izbira ustreznih faktorjev ekvivalentnosti LEF (Load Equivalency Factor). Faktorji ekvivalentnosti pretvarjajo različne kombinacije prometnih obremenitev v ekvivalentno osno obremenitev, izraženo s številom prehodov NOO. Potrebno je upoštevati, da so različna področja oziroma regije in države podvržene različnim prometnim obremenitvam, zato je smotno uporabiti faktorje, ki ustrezajo območju, za katero se voziščna konstrukcija načrtuje.

Faktorje se določi glede na zasnovo vozila (tip in obremenitve osi, teža vozila), vrsto voziščne konstrukcije (fleksibilna, toga) ter končne vrednosti indeksa uporabnosti. Kjer so na voljo podatki, pridobljeni s tehtanjem vozil, se lahko faktorje ekvivalentnosti izračuna direktno glede na število osi, osno obremenitev, končna vrednost indeksa uporabnosti voziščne konstrukcije p_t in predvideno strukturno število SN. Ko omenjenih podatkov ni na voljo, se uporabi povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti. V tem primeru se iteracije na podlagi vrednosti indeksa končne uporabnosti (p_t) in debeline voziščne konstrukcije (SN) ne izvajajo (Equivalent single axle load, 2012).

Preglednica 37 prikazuje primer povprečnih faktorjev ekvivalentnosti za kategorije vozil iz prejšnjega poglavja (Trucks and buses, 2012).

Preglednica 37: Povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za različne kategorije vozil po FHWA (povzeto po Trucks and buses, 2012)

Table 37: Average load equivalency factors for different vehicle classes (adapted from Trucks and buses, 2012)

Kategorija vozila po FHWA	Tipično število ESALov na vozilo
1	zanemarljivo
2	zanemarljivo
3	zanemarljivo
4	0,57
5	0,26
6	0,42
7	0,42
8	0,3
9	1,2
10	0,93
11	0,82
12	1,06
13	1,39

Rezultati so zasnovani na povprečnem skupnem številu ekvivalentnih standardnih osnih obremenitev glede na kategorijo vozila, pridobljeni na desetih lokacijah s tehtanjem vozil (WIM) v obdobju enega leta. Metoda, kjer se uporabljajo povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti, ne razlikuje vrste voziščne konstrukcije in obravnava vse osi kot enojne. Ta pristop je podoben pristopu za določitev faktorja ekvivalentnosti po AASHTO priročniku, kjer se predvideva, da je vrednost strukturnega števila SN = 5 ter vrednost indeksa končne uporabnosti $p_t = 2,5$.

5.5.3 Dodatni vplivi na prometno obremenitev in načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije

Vpliv izračunane prometne obremenitve je odvisen tudi od značilnosti ceste, ki se jih upošteva z dodatnimi vplivi. Za izračun merodajne prometne obremenitve je po AASHTO priročniku potrebno upoštevati naslednje dodatne faktorje vplivov (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006):

- načrtovana doba trajanja v letih Y,
- faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja G,
- faktor prečnega prereza vozišča (directional) D,
- faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove L.

Določitev in vrednosti posameznih faktorjev so podane v Preglednicah od 38 do 40.

Načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije predstavlja življenjsko dobo voziščne konstrukcije oziroma obdobje, v katerem mora izbrani postopek dimenzioniranja zadostiti vsem zahtevam glede uporabnosti voziščne konstrukcije. Okvirne vrednosti dobe trajanja voziščne konstrukcije za izbrani tip ceste v ZDA so podane v Preglednica 38.

Preglednica 38: Doba trajanja voziščne konstrukcije v odvisnosti od tipa ceste (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 38: Guidelines for length of analysis period (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Tip ceste	Doba trajanja voziščne konstrukcije (leta)
Obremenjena mestna cesta	30 - 50
Obremenjena podeželska cesta	20 - 50
Manj obremenjena tlakovana cesta	15 - 25
Manj obremenjena makadamska cesta	10 - 20

Faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja G se statistično določi glede na pretekle podatke rasti prometa za obravnavani odsek ceste. Če pretekli podatki niso na voljo, se uporabi faktorje, ki so bili aplicirani za podobne cestne odseke (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).

$$G = \frac{(1 + g)^n - 1}{g} \quad (22)$$

$$g = \frac{\text{odstotek}}{100} \quad (23)$$

kjer pomeni:

G – faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja

g – rast prometa v odstotkih

n – doba trajanja voziščne konstrukcija

Preglednica 39: Faktor povečanja prometne obremenitve G zaradi rasti prometa v načrtovani dobi trajanja prometa (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 39: Average traffic growth factor G for the design period depending on the average annual traffic increase (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Načrtovana doba trajanja v letih	Letna stopnja rasti prometa g [%]							
	0	2	4	5	6	7	8	10
	Faktor povečanja prometne obremenitve G							
10	10,0	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
15	15,0	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
20	20,0	24,30	29,78	33,07	36,79	41,00	45,76	57,27
25	25,0	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	30,0	40,57	56,08	66,44	79,06	94,46	113,28	164,49
35	35,0	49,99	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02
50	50,0	84,58	152,67	209,35	290,34	406,53	573,77	1163,91

Razporeditev prometne obremenitve po smereh je zajeta s faktorjem prečnega prereza vozišča D . V večini primerov dimenzioniranja voziščnih konstrukcij je faktor D enak 0,5; razen ko so na voljo detaljne informacije ali v posebnih primerih (npr.: obtežena tovorna vozila se pretežno premikajo v eni smeri, medtem ko se raztovorjena vozila vračajo v drugi smeri).

Pri upoštevanju razdelitve prometne obremenitve na vozne pasove je potrebno upoštevati, na kaj se nanašajo številni podatki – na cesto, smer vožnje ali vozni pas. Pri uporabi faktorjev razporeditve prometne obremenitve na posamezne pasove D_L je potrebno posebej paziti na bolj obremenjena križišča. Priporočljivo je, da vsaka zvezna država določi faktorje, ki ustrezajo glede na lokalne pogoje. Za določitev D_L se lahko kot usmeritev uporabi naslednja preglednica.

Preglednica 40: Faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove D_L (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 40: Lane distribution factor D_L (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Število prometnih pasov	Skupni prehodi NOO za načrtovano smer [%]
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

5.5.4 Merodajna prometna obremenitev

Promet je eden izmed najpomembnejših dejavnikov pri dimenzioniranju voziščne konstrukcije, zato je vsekakor ključnega pomena zbrati natančne podatke, specifične za vsak projekt. Analiza prometa zajema oceno začetnega obsega prometa, vrsto in rast prometa ter smerno porazdelitev prometne obremenitve. Merodajna prometna obremenitev je po AASHTO priročniku izražena z ekvivalentno enosno obremenitvijo, izraženo s številom prehodov nominalne osne obremenitve ESAL (Equivalent

single axle load). Ekvivalentno enoosno prometno obremenitev se lahko izračuna s pomočjo naslednje enačbe (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006):

$$ESAL = ADT_0 \times T \times T_f \times G \times D \times L \times 365 \times Y \quad (24)$$

kjer pomeni:

ESAL – ekvivalentna enoosna prometna obremenitev

ADT_0 – povprečni letni dnevni promet na začetku projektne dobe

T – odstotek tovornih vozil v povprečnem dnevnem prometu (FHWA: kategorija 5 ali več)

T_f – faktor ekvivalentnosti tovornih vozil

G – faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja

D – faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev glede na smer vožnje

L – faktor vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove (posamezna smer)

Y – načrtovana doba trajanja v letih.

5.6 Raven zanesljivosti R

Projektna zanesljivost voziščne konstrukcije je definirana z verjetnostjo, da bo določen odsek voziščne konstrukcije zadovoljil določene kriterije oziroma ustrezno stopnjo uporabnosti tekom načrtovane življenjske dobe konstrukcije. Z vpeljavo ravni zanesljivosti R (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993) so upoštevane različne negotovosti, povezane s prometno obremenitvijo, pogoji okolja ter gradbenimi materiali, s čimer se zagotavlja določeno varnost pri dimenzioniranju ter posledično povečanje verjetnosti, da se bo voziščna konstrukcija tekom življenjske dobe obnašala, kot je predvideno. Ravni zanesljivosti R, priporočene s strani AASHTO, priročnika so podane v Preglednica 41.

Preglednica 41: Priporočljive ravni zanesljivosti R za različne kategorije cest (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 41: Suggested levels of reliability R for various functional classifications (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Funkcijska klasifikacija cest	Priporočljiva raven zanesljivosti R [%]	
	Mesto	Podeželje
Avtocesta	85 - 99,9	80 - 99,9
Glavna vpadnica	80 - 99	75 - 95
Zbirna cesta	80 - 95	75 - 95
Lokalna cesta	50 - 80	50 - 80

Raven zanesljivosti R se izbere glede na funkcijsko klasifikacijo ceste ter umestitev ceste v okolje. Izbrana vrednost R ni neposredno vključena v AASHTO enačbe za dimenzioniranje voziščne konstrukcije, temveč se jo izrazi z dvema variablama (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993):

- vrednostjo standardizirane normalne porazdelitve Z_R ter
- standardno deviacijo S_0 .

Pripadajoče vrednosti Z_R za določene ravni zanesljivosti so prikazane v Preglednica 42.

Preglednica 42: Standardizirane normalne porazdelitve v odvisnosti od ravni zanesljivosti (povzeto po Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006)

Table 42: Standard normal deviates for various levels of reliability (adapted from Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006)

Zanesljivost R [%]	Standardizirana normalna porazdelitev Z_R	Zanesljivost R [%]	Standardizirana normalna porazdelitev Z_R
50	0	93	-1,476
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,542	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327
91	-1,340	99,9	-3,090
92	-1,405	99,99	-3,750

Vrednost Z_R narašča z nižanjem ravni zanesljivosti R in preide v pozitivno, kadar je vrednost R nižja od 50. Standardna deviacija S_0 v AASHTO enačbi predstavlja odklon oziroma napako pri napovedi prometa oziroma uspešnosti voziščne konstrukcije. S_0 standardno deviacijo se upošteva projektne negotovosti oziroma verjetnost, da se bodo vrednosti vhodnih parametrov spremenile skozi življenjsko dobo voziščne konstrukcije. Vrednost S_0 se za fleksibilne asfaltne voziščne konstrukcije giblje med 0,35 in 0,5. Običajno se za dimenzioniranje privzame vrednost 0,45. Ker raven zanesljivosti R v praksi ne sme biti nižja od 50 %, je vrednost Z_R vedno negativna in je posledično negativen tudi produkt $Z_R \times S_0$, kar se v enačbi odraža z zmanjšanjem sprejemljive merodajne prometne obremenitve voziščne konstrukcije.

5.7 Uporabnost voziščne konstrukcije

AASHTO priročnik (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993) med drugim stremi k dimenzioniranju s točno določeno izgubo nivoja uporabnosti voziščne konstrukcije na koncu načrtovane življenjske dobe voziščne konstrukcije. Uporabnost voziščne konstrukcije je definirana z indeksom trenutne uporabnosti vozišča oziroma Present Serviceability Index (v nadaljevanju PSI). Kot je prikazano v spodnjem izrazu, predstavlja izguba nivoja uporabnosti na koncu načrtovane življenjske dobe ΔPSI izgubo zaradi prometnih obremenitev ter vplivov okolja.

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{TR} + \Delta PSI_{SW} + \Delta PSI_{FH} \quad (25)$$

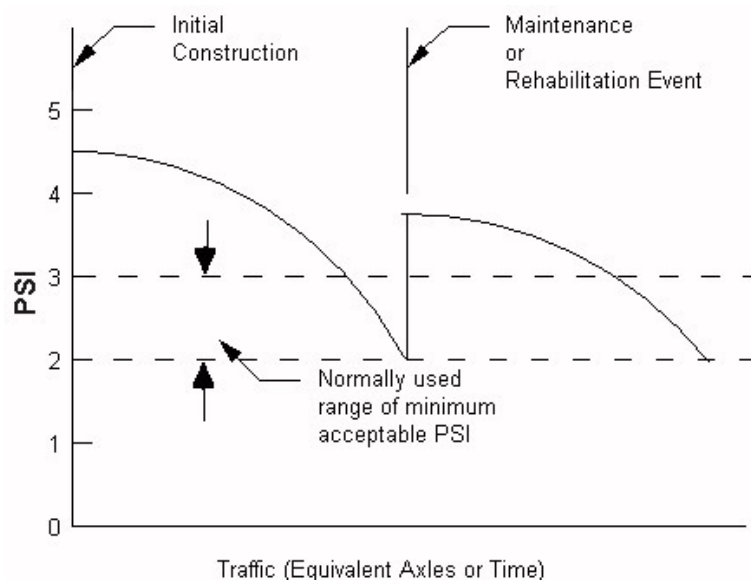
kjer pomeni:

ΔPSI_{TR} (TRAFFIC) – izguba uporabnosti voziščne konstrukcije zaradi vpliva prometa

ΔPSI_{SW} (SWELL) – izguba uporabnosti voziščne konstrukcije zaradi nabrekanja

ΔPSI_{FH} (FROST HEAVE) – izguba uporabnosti voziščne konstrukcije zaradi zmrzinskih dvizkov

Vrednost PSI lahko variira med mejnima vrednostma 5 (popolna cesta - najboljši nivo uporabnosti) in 0 (nemogoča cesta - najslabši nivo uporabnosti). Čeprav se v teoriji vrednost PSI giblje med 5 in 0, je realen razpon za dejanske voziščne konstrukcije med 4,5 in 1,5. Na Slika 29 je prikazano spreminjanje vrednosti PSI glede na prometno obremenitev.



Slika 29: Koncept uporabnosti voziščne konstrukcije z uporabo PSI (Hveem, Carmany, 1948, povzeto po Present serviceability index, 2012)

Figure 29: Concept of pavement performance using Present Serviceability Index PSI (Hveem, Carmany, 1948, adapted from Present Serviceability index, 2012)

Kot je razvidno iz slike zgoraj, se vrednost PSI skozi čas in izpostavljenost prometnim obremenitvam niža, normalno pa se minimalna sprejemljiva vrednost PSI giblje med 2 in 3, preden je konstrukcija potrebna vzdrževalnih del ali obnove. Začetna vrednost indeksa uporabnosti p_0 ustreza razmeram na cesti takoj po gradnji, končna vrednost indeksa uporabnosti p_t pa določa stopnjo najnižje sprejemljive uporabnosti, preden bo voziščna konstrukcija potrebna sanacije ali obnove. Za fleksibilne voziščne konstrukcije je tipična začetna vrednost indeksa uporabnosti 4,2; za končni indeks uporabnosti pa je priporočljiva vrednost vsaj 2,5. Iz navedenega sledi, da se lahko tipična izguba uporabnosti fleksibilne voziščne konstrukcije zaradi prometa izrazi kot:

$$\Delta PSI = p_t - p_0 = 4,2 - 2,5 = 1,7 \quad (26)$$

5.8 Nosilnost podlage

Kakovost temeljnih tal pod obstoječo ali načrtovano voziščno konstrukcijo je odvisna od dveh med seboj povezanih značilnosti: sposobnosti prevzemanja obremenitev ter prostorninskih sprememb materiala. V AASHTO priročniku (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993) je kakovost temeljnih tal definirana z modulom elastičnosti M_R (tudi E_{SG}), ki je pokazatelj togosti danega materiala. Modul elastičnosti je ena izmed osnovnih karakteristik materiala, ki se lahko izmeri

neposredno v laboratoriju, ovrednoti v situ z nedestruktivnimi testi ali oceni z različnimi empiričnimi korelacijami. AASHTO metoda vključuje postopek določanja modula elastičnosti, ki za bolj natančen izračun povprečne vrednosti modula elastičnosti upošteva tudi sezonska nihanja vrednosti M_R zaradi pogojev vlažnosti. Naslednja preglednica prikazuje primer določitve modulov elastičnosti za posamezne mesece in določitev relativne škode u_f po enačbi.

Preglednica 43: Izračun modula elastičnosti temeljnih tal M_R za fleksibilne voziščne konstrukcije (povzeto po Von Quintus, Killingsworth, 2007, str. 18)

Table 43: Estimating effective roadbed resilient modulus M_R for flexible pavements (adapted from Von Quintus, Killingsworth, 2007, p. 18)

Mesec	Modul elastičnosti M_R [psi]	Relativna škoda u_f
januar	20.000	0,01
februar	20.000	0,01
marec	2.500	1,54
april	4.000	0,52
maj	4.000	0,52
junij	7.000	0,14
julij	7.000	0,14
avgust	7.000	0,14
september	7.000	0,14
oktober	7.000	0,14
november	4.000	0,52
december	20.000	0,01

$$u_f = 1,18 \times 10^8 \times M_R^{-2,32} \quad (27)$$

kjer pomeni:

u_f – relativna škoda

M_R – modul elastičnosti

Z naslednjo enačbo se izračuna povprečno vrednost relativne škode, na podlagi katere se izračuna, ali odčita modul elastičnosti.

$$\bar{u}_f = \frac{\sum u_f}{n} = \frac{3,85}{12} = 0,32 \quad (28)$$

$$M_R = 5000 \text{ psi} \quad (29)$$

Modul elastičnosti je možno določiti tudi z različnimi korelacijami (Christopher, Schwartz, Boudreau, 2006):, kjer se M_R izračuna kot funkcija določenega parametra materiala. Za določitev M_R je pogosta povezava s CBR (California Bearing Ratio) vrednostjo. Prva izmed enačb velja za primere, ko je CBR ≤ 10 :

$$M_R(\text{psi}) = 1500 \times \text{CBR} \quad (30)$$

$$M_R(\text{psi}) = 2555 \times (\text{CBR})^{0,64} \quad (31)$$

$$M_R(\text{MPa}) = 17,6 \times (\text{CBR})^{0,64} \quad (32)$$

Vrednost M_R je možno določiti tudi z vrednostjo R_H (odpor po Hveemu), ki je mera stabilnosti, če je $R_H \leq 20$ in velja $772 \leq A \leq 1155$ in $369 \leq B \leq 555$:

$$M_R(\text{psi}) = A + B \times R_H \quad (33)$$

$$M_R(\text{psi}) = 1100 + 555 \times R_H \quad (34)$$

$$M_R(\text{psi}) = 1155 + 555 \times R_H \quad (35)$$

$$M_R(\text{MPa}) = 8 + 3,8 \times R_H \quad (36)$$

V naslednjem izrazu se M_R določi na podlagi vrednosti količnika ekvivalentnosti posamezne plasti a_i :

$$M_R(\text{psi}) = 30.000 \times \left(\frac{a_i}{0,14} \right) \quad (37)$$

$$M_R(\text{MPa}) = 207 \times \left(\frac{a_i}{0,14} \right) \quad (38)$$

Za ceste z manjšo prometno obremenitvijo se modul elastičnosti lahko določi na podlagi naslednje preglednice.

Preglednica 44: Vrednosti modula elastičnosti temeljnih tal M_R , ki se jih lahko uporabi v postopku dimenzioniranja manj obremenjenih cest (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 44: Effective roadbed resilient modulus values M_R (psi), that may be used in the design of flexible pavements for low-volume roads (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Klimatska regija	Efektivni modul elastičnosti M_R [psi]				
	Relativna kakovost temeljnih tal				
	zelo slaba	slaba	zmerna	dobra	zelo dobra
I	2.800	3.700	5.000	6.800	9.500
II	2.700	3.400	4.500	5.500	7.300
III	2.700	3.000	4.000	4.400	5.700
IV	3.200	4.100	5.600	7.900	11.700
V	3.100	3.700	5.000	6.000	8.200
VI	2.800	3.100	4.100	4.500	5.700

Karakteristike klimatskih regij so sledeče:

Regija I – vlažno, brez zmrzali

Regija II – vlažno, ciklično odtajanje

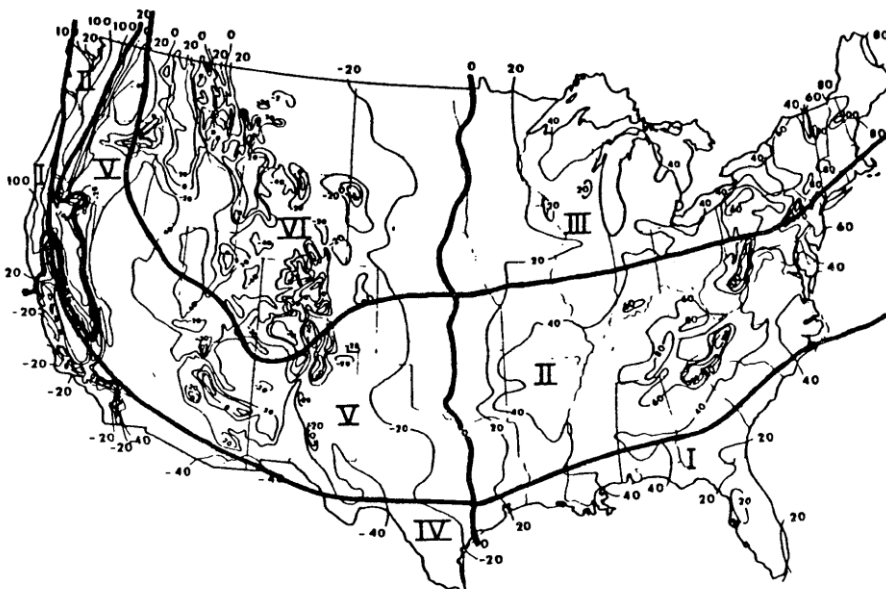
Regija III – vlažno, zmrzal, spomladansko odtajanje

Regija IV – suho, brez zmrzali

Regija V – suho, ciklično odtajanje

Regija VI – suho, zmrzal, spomladansko odtajanje

Na Slika 30 je prikazana karta razdeljena na posamezne klimatske regije.



Slika 30: Klimatske regije v ZDA (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Figure 30: U. S. climatic regions (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Rezultati glede kakovosti temeljnih tal in razpon pripadajočih vrednosti karakteristik posameznih materialov se lahko v različnih smernicah velikokrat razlikujejo, zato je pomembno, da inženir smiselno presodi pri oceni vhodnih parametrov. Kadar je potrebno voziščno konstrukcijo zgraditi na neustreznih, manj kakovostnih temeljnih tleh, je le-ta potrebno predhodno izboljšati s stabilizacijo, zamenjavo ali vpeljavo dodatne nosilne plasti iz nevezanega materiala. Inženir mora izhajati iz rezultatov iterativnega postopka določanja dimenzij plasti ter ugotoviti in presoditi, kakšna sestava voziščne konstrukcije je najbolj optimalna in smiselna.

5.9 Lastnosti plasti

Pri izbiri materialov in debelin za posamezne plasti v voziščni konstrukciji je potrebno upoštevati strukturne koeficiente plasti a_i ter dodatno še drenažne koeficiente m_i za nevezane plasti. Strukturni koeficient a_i izraža empirično povezavo med strukturnim številom SN ter debelino posamezne plasti d_i in je mera relativne zmogljivosti materiala, da bi funkcioniral kot strukturna komponenta voziščne konstrukcije. Naslednja splošna enačba za izračun strukturnega števila prikazuje vpliv strukturnega koeficienta in debeline plasti.

$$SN = \sum_{i=1} a_i \times D_i \quad (39)$$

Raziskave so pokazale, da na vrednosti strukturnih koeficientov vpliva več faktorjev, kot so debelina plasti, podpora podlage, položaj v konstrukciji in podobno. S tega vidika je potrebna s strani organizacij, zadolženih za določitev vrednosti strukturnih koeficientov, implementacija vrednosti na podlagi predhodnih izkušenj. AASHTO priročnik podaja enačbe ter korelacijske diagrame, s katerimi je na osnovi različnih parametrov možno določiti količnike ekvivalentnosti. Diagrami so podani za naslednje plasti: asfaltno krovno plast, nevezano nosilno plast, spodnjo nevezano nosilno plast, cementno stabilizacijo ter bitumensko stabilizacijo. Običajno državne organizacije določijo povprečne vrednosti količnikov ekvivalentnosti za najbolj uporabljene materiale ter jih standardizirajo kot del tehnične dokumentacije.

5.9.1 Odvodnjavanje

Poleg količnikov ekvivalentnosti je za določitev strukturnega števila pomembna tudi pričakovana kakovost odvodnjavanja, izražena s koeficienti odvodnjavanja m_i (višje efektivne vrednosti strukturnih koeficientov pomenijo izboljšane drenažne pogoje). V priročniku niso podani kriteriji za oceno zmožnosti odvajanja vode za različne voziščne konstrukcije, ampak je inženir tisti, ki mora prepoznati stopnjo oziroma kakovost sistema odvodnjavanja v določenih pogojih. V Preglednica 45 je splošno definirana kakovost odvodnjavanja voziščne konstrukcije.

Preglednica 45: Ocena kakovosti odvodnjavanja (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 45: *Quality of drainage (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)*

Kakovost odvodnjavanja	Potrebni čas za odstranitev vode
Odlična	2 uri
Dobra	1 dan
Zadostna	1 teden
Slaba	1 mesec
Zelo slaba	voda ni odtekla

Koeficienti odvodnjavanja nevezanih nosilnih plasti m_i spreminjajo vrednost količnikov ekvivalentnosti a_i in so integrirani v enačbo za izračun strukturnega števila SN.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad (40)$$

kjer pomeni:

a_i – strukturni koeficient krovne, nevezane nosilne ter spodnje nevezane nosilne plasti

D_i – dejanska debelina plasti [in]

m_i – drenažni koeficient za nevezane nosilne ter spodnje nevezane nosilne plasti.

Naslednja preglednica (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993) prikazuje priporočljive vrednosti koeficientov odvodnjavanja v odvisnosti od kakovosti odvodnjavanja in odstotka časa skozi leto, kateremu je voziščna konstrukcija izpostavljena stopnjam vlažnosti, ki se približujejo meji saturacije. Odstotek časa izpostavljenosti vlažnosti je odvisen od povprečnih letnih padavin.

Preglednica 46: Priporočljive vrednosti koeficientov odvodnjavanja za materiale, vgrajene v nevezane nosilne plasti v fleksibilnih voziščnih konstrukcijah (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 46: *Recommended m_i values for modifying structural layer coefficients of untreated base and subbase materials in flexible pavements (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)*

Kakovost odvodnjavanja	Priporočena m_i vrednost			
	Odstotek časa izpostavljenosti voziščne konstrukcije stopnjam vlažnosti blizu saturacije			
	< 1%	1–5%	5–25%	>25%
Odlična	1,4 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Dobra	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Zadostna	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Slaba	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Zelo slaba	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Koeficienti iz preglednice se uporabljajo samo za nevezane nosilne in spodnje nevezane nosilne plasti.

5.9.2 Debelina plasti voziščne konstrukcije

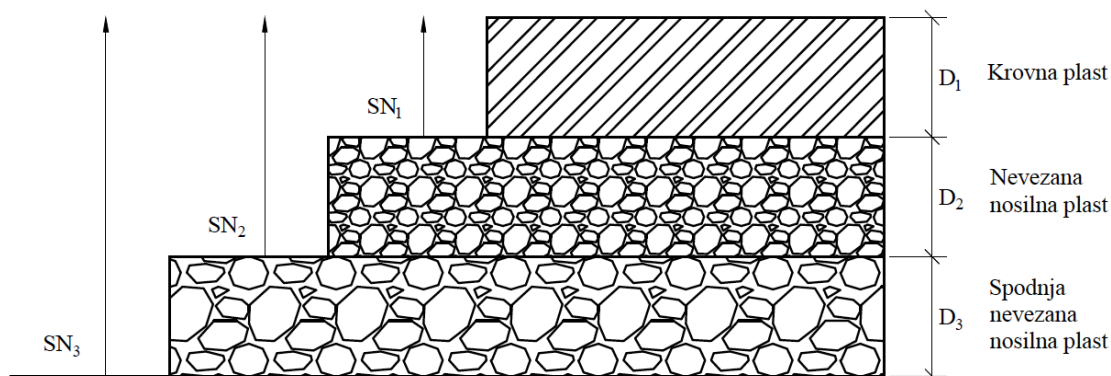
Ko je vrednost strukturnega števila SN določena, je potrebno izbrati ustrezno sestavo voziščne konstrukcije ter debeline posameznih plasti. Enačba za izračun SN nima samo ene rešitve, ampak obstaja več različnih kombinacij debelin in vrst plasti, ki predstavljajo ustrezno rešitev. Debelina plasti mora biti zaokrožena na najbližjo polovico $\frac{1}{2}$ inča. Pri izbiri debelin plasti je potrebno upoštevati tudi stroškovno učinkovitost ter omejitve, povezane z gradnjo in vzdrževanjem, z namenom izognitvi nepraktičnim rešitvam. Ker v splošnem ni praktično uporabiti debeline plasti, ki ne dosegajo nekih minimalnih vrednosti, so v naslednji preglednici na voljo minimalne debeline posameznih plasti. Državne organizacije lahko seveda preglednico prilagodijo glede na lokalne izkušnje in pogoje (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993).

Preglednica 47: Minimalne priporočljive debeline plasti voziščne konstrukcije (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Table 47: Minimum thicknesses for pavement courses (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Minimalna debelina [inch]		
Promet [ESAL]	Asfaltna plast	Nosilna plast
≤ 50.000	1	4
50.001–150.000	2	4
150.001–500.000	2,5	4
500.001–2.000.000	3	6
2.000.001–7.000.000	3,5	6
$> 7.000.000$	4	6

Potrebno se je zavedati, da je asfaltna voziščna konstrukcija večplasten sistem in mora biti tako tudi dimenzionirana. Postopek dimenzioniranja mora biti v skladu s principi, prikazanimi na Slika 31.



Slika 31: Postopek za določitev debelin plasti voziščne konstrukcije z uporabo večplastnega analiznega pristopa (povzeto po AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Figure 31: Procedure for determining thicknesses of layers using a layered analysis approach (adapted from AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (41)$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1 \geq SN_1 \quad (42)$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \times m_2} \quad (43)$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2 \quad (44)$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} \quad (45)$$

Postopek določitve dimenzij plasti je definiran v enačbah od 41 do 45. Najprej je potrebno izračunati potrebno vrednost SN nad podlago, nato se uporabi enak postopek za izračun potrebne vrednosti SN nad zgornjo ter spodnjo nosilno plastjo z uporabo parametrov posameznih plasti. Z razlikami med izračunanimi potrebnimi vrednostmi strukturnih števil nad posameznimi plastmi (npr.: maksimalno dovoljena vrednost SN spodnje nosilne plasti je enaka razliki potrebne vrednosti SN nad temeljnimi tlemi in potrebne vrednosti SN nad spodnjo nosilno plastjo) se lahko izračunajo maksimalne dovoljene debeline plasti.

5.10 Postopek

Postopek dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij po AASHTO priročniku je podrobno zajet v poglavjih od 5.3 do 5.9. Metoda dimenzioniranja voziščnih konstrukcij po AASHTO priročniku obsega določitev vhodnih parametrov ter ob upoštevanju le-teh, izbiro ustrezne standardizirane sestave voziščne konstrukcije. Koraki v postopku dimenzioniranja so sledeči:

1. Izbira načrtovane dobe trajanja voziščne konstrukcije.
2. Določitev skupne merodajne prometne obremenitve za načrtovano dobo trajanja voziščne konstrukcije z upoštevanjem dodatnih vplivov na prometno obremenitev.
3. Določitev faktorjev projektne zanesljivosti: Zanesljivost, Z_R , S_0 .
4. Določitev dopustne izgube uporabnosti zaradi prometa in vplivov okolja ΔPSI .
5. Ocena povprečne vrednosti elastičnega modula temeljnih tal M_R .
6. Določitev lastnosti posameznih plasti:
 - količniki ekvivalentnosti vezanih in nevezanih plasti a_i ,
 - količniki odvodnjavanja nevezanih plasti m_i .
7. Rešitev enačbe: zahtevano strukturno število SN.
8. Določitev debelin posameznih plasti voziščne konstrukcije z uporabo večplastnega analiznega pristopa.

6 RAČUNSKI POSTOPEK

6.1 Vhodni parametri

V nadaljevanju magistrske naloge je dimenzionirana asfaltna voziščna konstrukcija za sedem različnih primerov prometnih obremenitev po naslednjih metodah:

- Slovenija: empirična metoda za dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij po TSC 06.520
- Nemčija: standardizirana metoda za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij po smernicah RStO 12
- ZDA: empirična metoda za dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij po AASHTO priročniku.

Osnovni vhodni parametri so izbrani glede na razmere v Sloveniji in so enaki za vse primere voziščnih konstrukcij, razen v primerih, kjer kategorija ceste narekuje drugače. Morebitni dodatni parametri oziroma vplivi pa so smiselno prilagojeni in upoštevani glede na metodo dimenzioniranja obravnavane države.

6.1.1 Cesta

V tem poglavju so podane osnovne karakteristike načrtovane ceste za vse obravnavane primere. Karakteristike so v vseh primerih enake, v kolikor ni drugače pogojeno z izbrano kategorijo ceste. Postopek dimenzioniranja voziščne konstrukcije je izveden za naslednje kategorije cest:

- Primer 1: AC
- Primer 2: AC
- Primer 3: G1
- Primer 4: G1
- Primer 5: G2
- Primer 6: R1
- Primer 7: R2

Upoštevane so naslednje skupne karakteristike ceste:

- vozišče: dvosmerno
- število voznih pasov: 2 – 4
- dimenzija voznega pasu: 3,0 m – 3,75 m
- vzdolžni nagib: do 2%
- ocenjena letna rast prometa: 3%
- doba trajanja voziščne konstrukcije: 30 let

Za obravnavane kategorije cest je predvideno, da bodo zagotavljale funkcijo ceste, prikazano v naslednji preglednici.

Preglednica 48: Predvidene karakteristike načrtovane ceste

Table 48: Structural characteristics of planned road design

Primer	Kategorija ceste	Funkcija ceste	Širina voznega pasu [m]	Število voznih pasov
1	AC	daljinska	3,75	4
2	AC	daljinska	3,75	4
3	G1	povezovalna	3,5	2
4	G1	povezovalna	3,5	2
5	G2	povezovalna	3,5	2
6	R1	zbirna	3,0	2
7	R2	zbirna	3,0	2

Za vse obravnavane primere cest je skladno s Preglednica 48 predpostavljen dvosmerni promet in 2 vozna pasova, razen za primer avtoceste, kjer je predvideno število voznih pasov 4. Širina voznega pasu je izbrana v odvisnosti od funkcije ceste in projektne hitrosti, kot narekuje Pravilnik o projektiranju cest (2005).

6.1.2 Karakteristike temeljnih tal oziroma nosilnost podlage

Voziščna konstrukcija je predvidoma zasnovana na podlagi iz zaglinjenega grušča GC (Clayey Gravel). Na planumu temeljnih tal je mogoče pričakovati nosilnosti izkazano z vrednostjo CBR = 7 % ($E_{v2} = 45$ MPa).

6.1.3 Klimatski in hidrološki pogoji

Za voziščno konstrukcijo je predvideno, da bo izvedena na območju nadmorske višine pod 600 m, kjer je po Karti globin prodiranja mraza v RS globina prodiranja mraza h_m približno 80 cm. Temeljna tla oziroma material GC, iz katerega so temeljna tla sestavljena, je po Diagramu za razmejitev razredov občutljivosti na zmrzovanje (Slika 9) uvrščen v razred F2 – malo do srednje občutljiv material. Hidrološki pogoji so glede na pogoje iz TSC 06.520 (2009) ocenjeni kot neugodni.

6.1.3.1 Doba trajanja voziščne konstrukcije

V Sloveniji se voziščne konstrukcije dimenzionira na 20 let, medtem ko je metoda dimenzioniranja ter preglednica standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij v Nemčiji zasnovana za 30-letno dobo trajanja konstrukcije. V ZDA je doba trajanja voziščne konstrukcije sicer odvisna od kategorije ceste in znaša od 10 do 50 let. Zaradi bolj natančne primerljivosti rezultatov se bo upoštevalo dejstvo, da je preglednica standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij po RStO 12 zasnovana za 30-letno dobro trajanja. S tem namenom je za potrebe magistrske naloge za dimenzioniranje obravnavanih primerov voziščnih konstrukcij izbrana načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije 30 let.

6.1.4 Prometna obremenitev

Postopek dimenzioniranja voziščne konstrukcije je izveden za sedem različnih primerov prometnih obremenitev. Prometna obremenitev je v vseh primerih izražena s PLDP in preračunana v merodajno prometno obremenitev po ustrezni metodi glede na obravnavano državo. Merodajna prometna obremenitev je izražena s številom prehodov NOO. Podatki o prometnih obremenitvah so pridobljeni iz štetja prometa v Sloveniji, izvedenega s strani Direkcije RS (Podatki o prometu, 2015). Primeri, obravnavani za potrebe magistrske naloge, so izbrani naključno.

V Preglednica 49 je prikazanih sedem primerov prometnih obremenitev, ki ustrezajo različnim kategorijam cest v Sloveniji. V nadaljevanju magistrske naloge so pridobljeni podatki uporabljeni za dimenzioniranje novih voziščnih konstrukcij ob upoštevanju posamezne kategorije cest.

Preglednica 49: Primeri prometnih obremenitev, izraženih s PLDP

Table 49: Traffic data expressed with average annual daily traffic

Primer	PLDP	Kategorija ceste
1	35.059	AC
2	21.400	AC
3	11.537	G1
4	7.751	G1
5	2.276	G2
6	1.050	R1
7	1.009	R2

Podatki o PLDP, razvrščeni glede na reprezentativna motorna vozila v Sloveniji, so predstavljeni v naslednji preglednici.

Preglednica 50: Povprečni letni dnevni promet posameznih kategorij vozil

Table 50: Average annual daily traffic for different vehicle classes

Primer	Prometna obremenitev po kategorijah vozil							
	Motorji	Osebna vozila	Avtobusi	Lah. tov < 3,5t	Sr. tov 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
1	75	24.620	220	4.075	658	330	765	4.316
2	100	17.440	100	1.800	210	210	300	1.240
3	67	10.100	36	781	128	88	97	240
4	125	6.836	62	561	50	37	15	65
5	60	1.893	17	193	29	52	14	18
6	20	876	10	75	30	30	5	4
7	16	906	5	62	5	3	6	6

6.1.4.1 Določitev merodajne prometne obremenitve T_d v Sloveniji

Postopek za določitev merodajne prometne obremenitve v Sloveniji je podrobno opisan v poglavju 3.5. Za izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve T_d so bile upoštevane vse kategorije vozil in uporabljene pripadajoče povprečne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti iz TSC 06.520 (2009) v odvisnosti od kategorije ceste. V Preglednica 51 je prikazana prometna obremenitev za primer 1 in 2 (AC) ter izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za posamezne kategorije vozil. Ekvivalentna dnevna prometna obremenitev je izražena s številom prehodov NOO ter predstavlja produkt števila vozil s pripadajočim faktorjem ekvivalentnosti.

Preglednica 51: Izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za Primer 1 in 2

Table 51: Calculation of equivalent single axle load for Example 1 and 2

Primer	Število vozil						
	Osebna vozila	Avtobusi	Lah. tov < 3,5t	Sr. tov 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
1	24.620	220	4.075	658	330	765	4.316
2	17.440	100	1.800	210	210	300	1.240
AC, HC	Povprečni faktor ekvivalentnosti						
	0,00003	1,40	0,005	0,60	0,70	1,60	1,60
	Število prehodov NOO 100 kN						
1	0,74	308,00	20,38	394,80	231,00	1.224,00	6.905,60
2	0,52	140,00	9,00	126,00	147,00	480,00	1.984,00

Ekvivalentna dnevna obremenitev T_d , ki predstavlja vsoto števil prehodov NOO za vse kategorije reprezentativnih vozil znaša za primer 1 in 2: $T_{d1} = 9.084,51$ in $T_{d2} = 2.886,52$.

Preglednica 52 prikazuje prometne obremenitve glavnih cest 1. in 2. reda – primeri 3, 4 in 5 ter izračunane vrednosti števil prehodov NOO posameznih kategorij vozil za obravnavane primere.

Preglednica 52: Izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za Primer 3, 4, and 5

Table 52: Calculation of equivalent single axle load for Example 3, 4 and 5

Primer	Število vozil						
	Osebna vozila	Avtobusi	Lah. tov < 3,5t	Sr. tov 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
3	10.100	36	781	128	88	97	240
4	6.836	62	561	50	37	15	65
5	1.893	17	193	29	52	14	18
G1, G2	Povprečni faktor ekvivalentnosti						
	0,00003	1,15	0,005	0,50	0,90	1,40	1,40
	Število prehodov NOO 100 kN						
3	0,30	41,40	3,91	64,00	79,20	135,80	336,00
4	0,21	71,30	2,81	25,00	33,30	21,00	91,00
5	0,06	19,55	0,97	14,50	46,80	19,60	25,20

Ekvivalentna dnevna prometna obremenitev za primere 3, 4 in 5 je:

$$T_{d3} = 660,61$$

$$T_{d4} = 244,61$$

$$T_{d5} = 126,67$$

Izračun ekvivalentne dnevne obremenitve obravnavanih regionalnih cest 1. in 2. reda je predstavljen v Preglednica 53.

Preglednica 53: Izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve za Primer 6 and 7

Table 53: Calculation of equivalent single axle load for Example 6 and 7

Primer	Število vozil						
	Osebna vozila	Avtobusi	Lah. tov < 3,5t	Sr. tov 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
6	876	10	75	30	30	5	4
7	906	5	62	5	3	6	6
R1, R2	Povprečni faktor ekvivalentnosti						
	0,00003	0,85	0,005	0,40	1,00	1,25	1,25
	Število prehodov NOO 100 kN						
6	0,03	8,50	0,38	12,00	30,00	6,25	5,00
7	0,03	4,25	0,31	2,00	3,00	7,50	7,50

Ekvivalentna dnevna obremenitev za primera 6 in 7 znaša: $T_{d6} = 62,15$ in $T_{d7} = 24,59$

Merodajna prometna obremenitev za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije je določena na osnovi ekvivalentne dnevne obremenitve, dodatnih vplivov značilnosti ceste ter trajanja in letne stopnje rasti prometa. Rezultati so predstavljeni v Preglednica 54. Merodajna prometna obremenitev T_{30} je izražena s številom prehodov NOO 100 kN.

Preglednica 54: Merodajne prometne obremenitve za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije

Table 54: Relevant design traffic expected in 30-year design life of a pavement structure

Primer	T_d	dni	f_{pp}	f_{sp}	f_{nn}	f_{dv}	f_{tp}	T_{30}
1	9.084,51	365	0,45	1,00	1,00	1,08	49	7,90E+07
2	2.886,52	365	0,45	1,00	1,00	1,08	49	2,51E+07
3	660,61	365	0,50	1,10	1,00	1,08	49	7,02E+06
4	244,61	365	0,50	1,10	1,00	1,08	49	2,60E+06
5	126,67	365	0,50	1,10	1,00	1,08	49	1,35E+06
6	62,15	365	0,50	1,40	1,00	1,08	49	8,40E+05
7	24,59	365	0,50	1,40	1,00	1,08	49	3,32E+05

Obravnavani primeri so glede na izračunano merodajno prometno obremenitev uvrščeni v skupine prometne obremenitve po TSC 06.520 (2009), kot je prikazano v Preglednica 55.

Preglednica 55: Uvrstitev s skupino prometne obremenitve v odvisnosti od merodajne prometne obremenitve

Table 55: Load class assignment for relevant design traffic

Primer	Merodajna prometna obremenitev T_{30} [število prehodov NOO 100kN]	Skupina prometne obremenitve
1	7,90E+07	izredno težka
2	2,51E+07	zelo težka
3	7,02E+06	težka
4	2,60E+06	srednja
5	1,35E+06	srednja
6	8,40E+05	lahka
7	3,32E+05	zelo lahka

V magistrski nalogi bodo torej dimenzionirane voziščne konstrukcije izpostavljene prometnim obremenitvam, ki so razvrščene v vse skupine prometne obremenitve po TSC 06.511 (2009).

6.1.4.2 Določitev merodajne prometne obremenitve B v Nemčiji

Postopek za določitev merodajne prometne obremenitve B po RStO 12 smernicah je podrobno opisan v poglavju 4.5. Glede na razpoložljive podatke o PLDP za Slovenijo je bila posledično izbrana ustrežna metoda za določitev B, in sicer metoda na osnovi povprečnega letnega dnevnega prometa s težkimi tovornimi vozili $DTV^{(SV)}$, z upoštevanjem konstantnih faktorjev. Za izračun povprečnega števila prehodov osi tovornega prometa na dan $DTA^{(SV)}$ je bil upoštevan promet s težkimi tovornimi vozili oziroma tovorna vozila z nosilnostjo nad 3,5 t ter avtobusi iz Preglednica 56.

Preglednica 56: Povprečni letni dnevni promet merodajnih kategorij vozil po RStO 12 smernicah

Table 56: Relevant average annual daily traffic according to RStO 12

Primer	Število vozil				
	Avtobusi	Sr. tov 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
1	220	658	330	765	4.316
2	100	210	210	300	1.240
3	36	128	88	97	240
4	62	50	37	15	65
5	17	29	52	14	18
6	10	30	30	5	4
7	5	5	3	6	6

$DTV^{(SV)}$ predstavlja vsoto števil vozil vseh kategorij za posamezni primer. Vrednost $DTA^{(SV)}$ se določi s faktorjem povprečnega števila osi f_A , ki je izbran odvisnosti od kategorije ceste. Izračun $DTA^{(SV)}$ je predstavljen v Preglednica 57.

Preglednica 57: Povprečno število prehodov osi težkega prometa, izračunano po RStO 12 smernicah

Table 57: Average number of daily axle passes from heavy traffic calculated according to RStO 12 guidelines

Primer	DTV ^(SV)	f _A	DTA ^(SV)
1	6.289,0	4,5	28.300,5
2	2.060,0	4,5	9.270,0
3	589,0	4	2.356,0
4	229,0	4	916,0
5	130,0	4	520,0
6	79,0	3,3	260,7
7	25,0	3,3	82,5

Merodajna prometna obremenitev B, za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije je določena na osnovi DTA^(SV), dodatnih vplivov značilnosti ceste ter trajanja in letne stopnje rasti prometa. Rezultati so predstavljeni v naslednji preglednici. Merodajna prometna obremenitev je izražena s številom prehodov NOO 100 kN.

Preglednica 58: Določitev merodajne prometne obremenitve za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije po metodi iz RStO 12 smernicah

Table 58: Relevant design traffic expected in 30-year design life of pavement structure determined according to RStO 12 guidelines

Primer	N	DTA ^(SV)	q _{Bm}	f ₁	f ₂	f ₃	f _z	dni	B
1	30	28.300,5	0,33	0,45	1,00	1,00	1,586	365	7,30E+07
2	30	9.270,0	0,33	0,45	1,00	1,00	1,586	365	2,39E+07
3	30	2.356,0	0,25	0,5	1,10	1,00	1,586	365	5,63E+06
4	30	916,0	0,25	0,5	1,10	1,00	1,586	365	2,19E+06
5	30	520,0	0,25	0,5	1,10	1,00	1,586	365	1,24E+06
6	30	260,7	0,23	0,5	1,40	1,00	1,586	365	7,29E+05
7	30	82,5	0,23	0,5	1,40	1,00	1,586	365	2,31E+05

Preglednica 59: Uvrstitev s skupino prometne obremenitve v odvisnosti od merodajne prometne obremenitve po RStO 12 smernicah

Table 59: Load class assignment for relevant design traffic according to RStO 12 guidelines

Primer	B	Skupina prometne obremenitve
1	7,30E+07	Bk100
2	2,39E+07	Bk32
3	5,63E+06	Bk10
4	2,19E+06	Bk3.2
5	1,24E+06	Bk1.8
6	7,29E+05	Bk1.0
7	2,31E+05	Bk0.3

Izračunane merodajne prometne obremenitve B so razvrščene v vseh 7 skupin prometne obremenitve, ki jih določajo smernice RStO 12.

6.1.4.3 Določitev merodajne prometne obremenitve ESAL₃₀ v ZDA

Postopek za določitev merodajne prometne obremenitve v ZDA je podrobno opisan v poglavju 5.5. Glede na razpoložljive podatke štetja prometa v Sloveniji, vrednost PLDP (ADT₀ – average daily traffic at the start of the design period), se bo merodajna prometna obremenitev ESAL₃₀ določila s pomočjo povprečne vrednosti faktorja ekvivalentnosti za tovorna vozila T_f. Za izračun ekvivalentne dnevne prometne obremenitve ESAL₀ so bile upoštevane kategorije tovornih vozil predstavljene v Preglednica 60.

Preglednica 60: : Povprečni letni dnevni promet merodajnih kategorij vozil po AASHTO priročniku

Table 60: Relevant average annual daily traffic according to AASHTO Guide

Primer	Število vozil					
	Avtobusi	Lah. tov < 3,5t	Sr. tov 3,5-7t	Tež. tov. nad 7t	Tov. s prik.	Vlačilci
1	220	4.075	658	330	765	4.316
2	100	1.800	210	210	300	1.240
3	36	781	128	88	97	240
4	62	561	50	37	15	65
5	17	193	29	52	14	18
6	10	75	30	30	5	4
7	5	62	5	3	6	6

Za pretvorbo mešanega prometa v ekvivalentno dnevno prometno obremenitev, izraženo s številom prehodov NOO (ESAL₀), se je vrednost ADT₀ pomnožila s povprečnim faktorjem tovornih vozil T_f, kot prikazuje

Preglednica 61. V magistrski nalogi je privzeta vrednost povprečnega faktorja ekvivalentnosti T_f = 1,28; ki velja za zvezno državo Washington – Washington State (Pavement interactive, 2017).

Preglednica 61: Ekvivalentna dnevna prometna obremenitev izračunana po AASHTO priročniku

Table 61: Average number of daily axle passes from heavy traffic calculated according to AASHTO guide

Primer	ADT ₀	T _f	ESAL ₀
1	10.364	1,028	10.654,2
2	3.860	1,028	3.968,1
3	1.370	1,028	1.408,4
4	790	1,028	812,1
5	323	1,028	332,0
6	154	1,028	158,3
7	87	1,028	89,4

Merodajna prometna obremenitev $ESAL_{30}$, za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije, je določena na osnovi $ESAL_0$, dodatnih vplivov značilnosti ceste ter trajanja in letne stopnje rasti prometa. Rezultati so predstavljeni v naslednji preglednici.

Preglednica 62: Določitev merodajne prometne obremenitve za načrtovano 30-letno dobo trajanja voziščne konstrukcije po metodi iz AASHTO priročnika

Table 62: Relevant design traffic expected in 30-year design life of pavement structure determined according to AASHTO Guide

Primer	$ESAL_0$	G	D	L	dni	$ESAL_{30}$
1	10.654,2	47,58	0,5	0,9	365	8,33E+07
2	3.968,1	47,58	0,5	0,9	365	3,10E+07
3	1.408,4	47,58	0,5	1	365	1,22E+07
4	812,1	47,58	0,5	1	365	7,05E+06
5	332,0	47,58	0,5	1	365	2,88E+06
6	158,3	47,58	0,5	1	365	1,37E+06
7	89,4	47,58	0,5	1	365	7,77E+05

Merodajna prometna obremenitev je v ZDA izražena s številom prehodov NOO 80 kN.

6.2 Dimenzioniranje voziščne konstrukcije

6.2.1 Slovenija

Postopek dimenzioniranja voziščne konstrukcije po TSC 06.520 je podrobno definiran v poglavjih od 3.4 do 3.8.

Eden izmed osnovnih pogojev za določitev dimenzij oziroma načrtovanje voziščne konstrukcije po TSC 06.520 (2009) je zagotovljena ustrezna nosilnost podlage pod voziščno konstrukcijo. Temeljna tla obravnavanega primera (GC) izkazujejo nosilnost, izraženo z vrednostjo $CBR = 7 \%$, ki je v TSC definirana kot mejna, še sprejemljiva nosilnost. Z namenom povečanja nosilnosti se pod voziščno konstrukcijo vgradi posteljica, iz ustreznega kamnitega materiala, v višini 20 cm. Z vgraditvijo posteljice, debeline 20 cm, je po Diagramu za določitev izboljšane nosilnosti podlage v odvisnosti od debeline vgrajene posteljice dosežena izboljšana nosilnost, izražena z vrednostjo $CBR = 11,5 \%$. Zaradi boljše primerljivosti rezultatov se bo izvedla tudi varianta voziščne konstrukcije brez vgraditve posteljice, zasnovana na podlagi z mejno nosilnostjo $CBR = 7 \%$.

Ob upoštevanju vhodnih parametrov in izračunanih prometnih obremenitev v Preglednica 54 se na osnovi Diagrama za določitev dimenzij osnovnih plasti (TSC 06.520, 2009) ter ob upoštevanju omejitev materialov predstavljenih v poglavju 3.7, določi dimenzije nove voziščne konstrukcije.

Potrebno računsko debelino asfaltne krovne plasti d_{rk} se glede na izračunano skupno število prehodov nominalne osne obremenitve odčita iz diagrama na Slika 12. Računsko debelino nevezane nosilne plasti d_m , ki je poleg prometne obremenitve odvisna tudi od vrednosti CBR, se odčita iz diagrama na Slika 14. Ob upoštevanju količnikov ekvivalentnosti za asfaltno krovno plast in nevezano nosilno plast se izračuna potrebni indeks krovne plasti D_{rk} , potrebni indeks nevezane nosilne plasti D_m skupni potrebni debelinski indeks D_{potr} . TSC 06.512 (2009) navaja uporabo naslednjih vrednosti količnikov ekvivalentnosti:

- $a_{rk} = 0,38$
- $a_m = 0,14$.

Postopek dimenzioniranja debelin in materialov plasti voziščne konstrukcije obravnavanih primerov je predstavljen v naslednjih podpoglavjih. Poglavje 6.2.1.1 prikazuje dimenzioniranje voziščne konstrukcije na podlagi iz posteljice, poglavje 6.2.1.2 pa voziščno konstrukcijo, izvedeno na temeljnih tleh s prvotno nosilnostjo.

6.2.1.1 $CBR = 11,5 \%$

Preglednica 63 prikazuje računske debeline ter vrednosti debelinskih indeksov za krovno in nevezano nosilno plast ter vrednosti skupnega potrebnega debelinskega indeksa. Za primere, prikazane v spodnji preglednici, je bila upoštevana nosilnost temeljnih tal izražena z vrednostjo $CBR = 11,5 \%$. Od izkazane nosilnosti je odvisna debelina spodnje nevezane nosilne plasti drobljenca, ki je za vrednosti $CBR > 15$ najmanj 20 cm oziroma 25 cm, za nižje vrednosti CBR pa jo je potrebno odčitati iz Diagrama za določitev debeline nevezane nosilne plasti. Ker omenjeni diagram ne ponuja neposredne korelacije med debelino in vrednostjo $CBR = 11,5 \%$, se računsko debelina nevezane nosilne plasti izračuna z interpolacijo odčitanih vrednosti debelin v primeru $CBR = 10\%$ in $CBR = 15\%$.

Preglednica 63: Računske debeline in debelinski indeksi osnovnih plasti (CBR = 11,5 %)

Table 63: Basic pavement layers required thicknesses and thickness-indexes (CBR = 11,5 %)

Primer	Skupina prometne obremenitve	Prometna obremenitev T_{30}	d_{rk} [cm]	D_{rk}	d_{rn} [cm]	D_{rn}	D_{potr}
1	izredno težka	7,90E+07	35	13,30	32	4,48	17,78
2	zelo težka	2,51E+07	27	10,26	32	4,48	14,74
3	težka	7,02E+06	20	7,60	31	4,28	11,88
4	srednja	2,60E+06	16	6,08	29	4,09	10,17
5	srednja	1,35E+06	14	5,32	28	3,86	9,18
6	lahka	8,40E+05	13	4,94	26	3,63	8,57
7	zelo lahka	3,32E+05	10	3,80	24	3,39	7,19

Ob upoštevanju izračunanih debelinskih indeksov, omejitev materialov ter količnikov ekvivalentnosti za posamezno plast voziščne konstrukcije so določene dimenzije ter debelinski indeksi plasti načrtovanih voziščnih konstrukcij. Izračunana je tudi vrednost skupnega debelinskega indeksa D ter višina celotne voziščne konstrukcije h , ki zagotavlja ustrezno nosilnost na voznem pasu za vse obravnavane primere prometne obremenitve. Rezultati izračuna so prikazani v Preglednica 64.

Preglednica 64: Debeline in debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 11,5%)

Table 64: Pavement layers thicknesses and thickness-indexes (CBR = 11,5 %)

Plast	Dimenzije in debelinski indeksi plasti						
	Primer						
	1	2	3	4	5	6	7
Obrabna	$a_1 = 0,42$						
d_1	5	4	4	4	4	4	4
D_1	2,1	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
Vezna	$a_2 = 0,35$						
d_2	9	7	7	0	0	0	0
D_2	3,15	2,45	2,45	0	0	0	0
Asf. nosilna	$a_3 = 0,35$						
d_3	24	18	10	13	11	10	7
D_3	8,4	6,3	3,5	4,55	3,85	3,5	2,45
Stabilizirana	$a_4 = 0,35$						
d_4	0	0	0	0	0	0	0
D_4	0	0	0	0	0	0	0
Nev. nosilna	$a_5 = 0,14$						
d_5	35	35	35	30	30	30	25
D_5	4,9	4,9	4,9	4,2	4,2	4,2	3,5
D	18,55	15,33	12,53	10,43	9,73	9,38	7,63
D_{potr}	17,78	14,74	11,88	10,17	9,18	8,57	7,19
h [cm]	73	64	56	47	45	44	36

Računske in dejanske vrednosti debelinskih indeksov krovnih in nevezanih nosilnih plasti so predstavljene v Preglednica 65. V vseh dimenzioniranih primerih je zadoščeno tako pogoju vrednosti skupnega debelinskega indeksa, izpolnjena pa sta tudi pogoja minimalne/računske vrednosti debelinskega indeksa za asfaltno krovno plast ter nevezano nosilno plast. Dejanske vrednosti debelinskih indeksov D_k in D_n so tako v vseh primerih večje od računskih vrednosti D_{rk} in D_{rn} .

Preglednica 65: Računski in dejanski debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 11,5%)

Table 65: Required and actual pavement layers thickness-indexes (CBR = 11,5 %)

Primer	D_{rk}	D_k	D_{rn}	D_n
1	13,30	13,65	4,48	4,90
2	10,26	10,43	4,48	4,90
3	7,60	7,63	4,28	4,90
4	6,08	6,23	4,09	4,20
5	5,32	5,53	3,86	4,20
6	4,94	5,18	3,63	4,20
7	3,80	4,13	3,39	3,50

V postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije je potrebno zagotoviti tudi, da bodo načrtovane voziščne konstrukcije zagotavljale odpornost proti škodljivim učinkom zmrzovanja.

$$h_{skupno} = h + h_{posteljice} \geq h_{min} = 63 \text{ cm} \quad (46)$$

Izračunana končna debelina voziščne konstrukcije h ter debelina zmrzlinško odporne posteljice $h_{posteljice}$ predstavljata skupno višino voziščne konstrukcije odporne na zmrzovanje h_{skupno} , ki mora biti višja ali vsaj enaka minimalni potrebni debelini zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije. Rezultati preverjanja klimatskih in hidroloških pogojev so prikazani v naslednji preglednici.

Preglednica 66: Višina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije

Table 66: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure

Višina zmrzlinško odporne konstrukcije [cm]						
Primer	h	$h_{posteljice}$	h_{skupno}	Pogoj	h_{min}	✓ X
1	73	20	93	$\geq$	64	✓
2	64	20	84	$\geq$	64	✓
3	56	20	76	$\geq$	64	✓
4	47	20	67	$\geq$	64	✓
5	45	20	65	$\geq$	64	✓
6	44	20	64	$\geq$	64	✓
7	36	20	56	$\geq$	64	X

Iz Preglednica 66 je razvidno, da je za primere od 1 do 6 predvidena debelina zmrzlinško odpornih materialov h_{skupno} ustrezna in bo zagotavljala primerno zaščito proti učinkom zmrzovanja. V primeru 7 (zelo lahka prometna obremenitev) skupna debelina ne ustreza pogoju, zato se ustrezno poveča debelina zmrzlinško odporne posteljice za 10 cm (skupno 30 cm).

6.2.1.2 CBR = 7 %

Postopek dimenzioniranja voziščne konstrukcije opisan v poglavju 6.2.1.1 se izvede po enakih korakih tudi za konstrukcijo temeljeno na tleh z izkazano nosilnostjo CBR = 7 %. Potrebno debelino nevezane nosilne plasti v tem primeru ni potrebno interpolirati, saj Diagram za določitev debeline nevezane nosilne plasti ponuja neposredno korelacijo med nosilnostjo podlage CBR = 7% in debelino nevezane nosilne plasti. V Preglednica 67 so prikazane računske debeline ter vrednosti debelinskih indeksov za krovno plast, nevezano nosilno plast ter vrednosti skupnega potrebnega debelinskega indeksa.

Preglednica 67: Računske debeline in debelinski indeksi osnovnih plasti (CBR = 7 %)

Table 67: Basic pavement layers required thicknesses and thickness-indexes (CBR = 7 %)

Primer	Skupina prometne obremenitve	Prometna obremenitev T_{30}	d_{rk} [cm]	D_{rk}	d_{rn} [cm]	D_{rn}	D_{potr}
1	izredno težka	7,90E+07	35	13,30	44	6,16	19,46
2	zelo težka	2,51E+07	27	10,26	44	6,16	16,42
3	težka	7,02E+06	20	7,60	42	5,88	13,48
4	srednja	2,60E+06	16	6,08	39	5,46	11,54
5	srednja	1,35E+06	14	5,32	37	5,18	10,50
6	lahka	8,40E+05	13	4,94	35	4,90	9,84
7	zelo lahka	3,32E+05	10	3,80	32	4,48	8,28

Vrednosti računskega debelinskega indeksa krovne plasti so za vse primere enake tistim iz prejšnjega poglavja, saj je ta odvisen le od prometne obremenitve, ki pa je v obeh primerih enaka. Spremembe se odražajo v vrednostih računskega debelinskega indeksa za nevezane nosilne plasti, kjer se dodatno upošteva tudi nosilnost podlage, kar se posledično odraža v skupni potrebni vrednosti debelinskega indeksa.

Ob upoštevanju izračunanih debelinskih indeksov, omejitev materialov ter količnikov ekvivalentnosti za posamezno plast voziščne konstrukcije, so določene dimenzije ter dejanske vrednosti debelinskih indeksov plasti za načrtovane voziščne konstrukcije. Izračunane debeline posameznih plasti ter celotne voziščne konstrukcije so predstavljene v Preglednica 68.

Preglednica 68: Debeline in debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 7 %)

Table 68: Pavement layers thicknesses and thickness-indexes (CBR = 7 %)

Plast	Dimenzije in debelinski indeksi plasti						
	Primer						
	1	2	3	4	5	6	7
Obrabna	$a_1 = 0,42$						
d_1	5	4	4	4	4	4	4
D_1	2,1	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
Vezna	$a_2 = 0,35$						
d_2	9	7	7	0	0	0	0
D_2	3,15	2,45	2,45	0	0	0	0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 68

Asf. nosilna	$a_3 = 0,35$						
d₃	24	18	10	13	11	10	7
D₃	8,4	6,3	3,5	4,55	3,85	3,5	2,45
Stabilizirana	$a_4 = 0,35$						
d₄	20	20	20	0	0	0	0
D₄	4	4	4	0	0	0	0
Nev. nosilna	$a_5 = 0,14$						
d₅	25	25	25	40	40	35	35
D₅	3,5	3,5	3,5	5,6	5,6	4,9	4,9
D	21,15	17,93	15,13	11,83	11,13	10,08	9,03
D_{potr}	19,46	16,42	13,48	11,54	10,50	9,84	8,28
h [cm]	83	74	66	57	55	49	46

Skupna vrednost debelinskega indeksa je ustrezna v vseh sedmih primerih načrtovane voziščne konstrukcije. Prav tako so dosežene tudi vrednosti potrebnih debelinskih indeksov za asfaltne krovne plasti ter nevezane nosilne plasti, kar je razvidno iz Preglednica 69.

Preglednica 69: Računski in dejanski debelinski indeksi plasti voziščne konstrukcije (CBR = 7 %)

Table 69: Required and actual pavement layers thickness-indexes (CBR = 7 %)

Primer	D_{rk}	D_k	D_{rn}	D_n
1	13,30	13,65	6,16	7,5
2	10,26	10,43	6,16	7,5
3	7,60	7,63	5,88	7,5
4	6,08	6,23	5,46	5,6
5	5,32	5,53	5,18	5,6
6	4,94	5,18	4,90	4,9
7	3,80	4,13	4,48	4,9

V postopku dimenzioniranja se je tudi za voziščne konstrukcije, zgrajene neposredno na temeljnih tleh, preverila odpornost proti škodljivim učinkom zmrzovanja. Ker za načrtovane voziščne konstrukcije ni bila predvidena vgraditev posteljice, je po pričakovanjih pogoju minimalne debeline zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije ustrezalo manj voziščnih konstrukcij.

Preglednica 70: Višina zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije

Table 70: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure

Višina zmrzlinško odporne konstrukcije [cm]						
Primer	h	h_{posteljice}	h_{skupno}	Pogoj	h_{min}	✓ X
1	83		83	≥	64	✓
2	74		74	≥	64	✓
3	66		66	≥	64	✓
4	57		57	≥	64	X

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 70

5	55		55	$\geq$	64	X
6	49		49	$\geq$	64	X
7	46		46	$\geq$	64	X

Predvidena debelina zmrzlinso odpornih materialov h_{skupno} je ustrezna samo v primerih 1, 2 in 3, kjer je debelina voziščne konstrukcije zaradi večjih prometnih obremenitev posledično večja. V preostalih primerih voziščna konstrukcija ne bo zagotavljala primerne zaščite proti učinkom zmrzovanja in bo potrebna vgraditev zmrzlinso odporne posteljice. Ob upoštevanju najmanjše debeline zgoščene plasti dkamnite posteljice po TSC 06.100 se v primerih 4, 5 in 6 vgradi posteljica, debeline 15 cm, v primeru 7 pa bo potrebna posteljica, debeline 20 cm.

6.2.1.3 Izbrani materiali

Dimenzije in sestava posameznih plasti voziščnih konstrukcij je bila določena ob upoštevanju omejitev uporabe posameznih zmesi materialov ter mejnih projektnih debelin plasti. Tako za voziščne konstrukcije, izvedene na podlagi iz posteljice, kot tiste, izvedene na temeljnih tleh, je predvidena enaka izbira materialov, predstavljena v naslednjih preglednicah.

Preglednica 71: Izbrane vrste bituminiziranih zmesi za asfaltne krovne plasti

Table 71: Bituminous mixtures used for asphalt surface layers

Primer	Vrsta bituminizirane zmesi		
	obrabna plast	vezna plast	zgornja nosilna plast
1	AC 11 surf	AC 22 bin	AC 32 base
2	AC 11 surf	AC 22 bin	AC 32 base
3	AC 11 surf	AC 22 bin	AC 32 base
4	AC 11 surf		AC 32 base
5	AC 11 surf		AC 22 base
6	AC 11 surf		AC 22 base
7	AC 8 surf		AC 16 base

Preglednica 72: Izbrani tipi bitumenskega veziva za izbrane vrste bituminizirane zmesi

Table 72: Types of bitumen applied in bituminous mixtures used for asphalt surface layers

Primer	Tip bitumenskega veziva		
	obrabna plast	vezna plast	zgornja nosilna plast
1	PmB 45/80-65 A1	PmB 45/80-65 A1	B 50/70 A1
2	PmB 45/80-65 A2	PmB 45/80-65 A2	B 50/70 A2
3	PmB 45/80-65 A2	PmB 45/80-65 A2	B 50/70 A2
4	B 50/70 A3		B 50/70 A3
5	B 50/70 A3		B 50/70 A3
6	B 70/100 A4		B 50/70 A4
7	B 70/100 A4		B 50/70 A4

Preglednica 73: Izbrane zmesi kamnitih zrn za spodnje vezane ter nevezane nosilne plasti

Table 73: Mineral aggregates used for stabilized base and unbound base layers

Primer	Zmes kamnitih zrn		
	spodnja vezana plast	nevezana nosilna plast	posteljica
1	CS 32	TD 0/32	D 0/63
2	CS 32	TD 0/32	D 0/63
3	CS 32	TD 0/32	D 0/63
4		TD 0/32	D 0/63
5		TD 0/32	D 0/63
6		TD 0/32	D 0/63
7		TD 0/32	D 0/63

6.2.2 Nemčija

Standardizirani postopek dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij po RStO 12 je podrobno predstavljen v poglavjih od 4.5 do 4.9.

Za določitev dimenzij in sestave voziščne konstrukcije je potrebno definirati prometno obremenitev, zagotoviti ustrezno nosilnost temeljnih tal oziroma podlage ter določiti minimalno višino zmrzlinško odporne voziščne konstrukcije. Vhodni parametri določajo izbiro ustrezne voziščne konstrukcije iz Preglednice standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij.

V postopku dimenzioniranja se je najprej določilo merodajno prometno obremenitev predvidenih voziščnih konstrukcij. Merodajne prometne obremenitve po RStO 12 so izračunane v poglavju 6.1.4.2 ter prikazane v Preglednica 58. Razvrščene so v vseh sedem skupin prometne obremenitve, kar pomeni, da se bo iz Preglednice standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij izbiralo voziščne konstrukcije v vsakem izmed sedmih pripadajočih stolpcev.

Potrebna nosilnost temeljnih tal po RStO 12 je izražena z vrednostjo $E_{v2} = 45$ MPa, kar je doseženo z izbiro materiala GC, uvrščenega v razred občutljivosti na mraz F2.

Poleg prometne obremenitve in nosilnosti podlage je za izbiro ustrezne voziščne konstrukcije ključnega pomena tudi minimalna debelina voziščne konstrukcije, odporne na učinke zmrzovanja h_{min} . Pri določitvi h_{min} je potrebno upoštevati lokalne izkušnje oziroma študije in podatke, ki so na voljo za posamezno območje. Za potrebe magistrske naloge je predvidena globina prodiranja mraza $h_m = 80$ cm in ob upoštevanju ostalih predvidenih pogojev po TSC 06.520 določena vrednost h_{min} . V postopku dimenzioniranja po RStO 12 bo vrednost h_{min} upoštevana kot minimalna debelina voziščne konstrukcije, pridobljena iz lokalnih izkušenj ob upoštevanju lokalnih pogojev. S tem bo zagotovljeno, da bo voziščna konstrukcija zagotavljala odpornost proti učinkom zmrzovanja in odtajanja na lokaciji, kjer je predvidena izgradnja.

Za dodatno primerjavo je izračunana tudi minimalna potrebna debelina voziščne konstrukcije po postopku, definiranem v RStO 12 (h_{min}^*), ki velja za primere, kadar lokalni podatki oziroma izkušnje niso na voljo. Upoštevanje debeline h_{min}^* ne bo spremenilo same sestave voziščne konstrukcije za obravnavano skupino prometne obremenitve, ampak se bo odražalo samo v povečanju debeline

najnižje plasti (zmrzlinso odporne plasti). Debelino voziščne konstrukcije, odporno na zmrzovanje, se po RStO 12 izračuna z naslednjo enačbo:

$$h_{min}^* = h_{izh} + A + B + C + D + E \quad (47)$$

Izhodiščne vrednosti minimalne debeline zmrzlinso odporne voziščne konstrukcije so se izbrale v odvisnosti od skupine prometne obremenitve in razreda občutljivosti materiala F2.

Preglednica 74: Izhodiščne vrednosti za določitev minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne na učinke zmrzovanja

Table 74: Initial values for determination of the minimum thickness of the frost resistant pavement structure

Izhodiščna debelina zmrzlinso odporne voziščne konstrukcije h_{izh} [cm]		
Skupina prometne obremenitve		
Bk 100 do Bk10	Bk3.2 do Bk1.0	Bk0.3
55	50	40

Kot dodatne oziroma reducirane debeline se pri obravnavanju primeru upošteva vrednosti A in E, ostali lokalni pogoji pa se predvidoma ne odražajo v debelini voziščne konstrukcije. Upoštene vrednosti dodatnih/reduciranih debelin so navedene v naslednji Preglednici.

Preglednica 75: Vpliv dodatnih pogojev na debelino voziščne konstrukcije, izražen z dodatnimi oziroma reduciranimi debelinami

Table 75: Additional or reduced thicknesses due to local conditions

Dodatne/reducirane debeline [cm]				
A	B	C	D	E
15	0	0	0	-5

Vrednost A se izbere glede na umestitev ceste v določeno območno cono, definirano glede na učinke zmrzovanja. Cone od I do III zajemajo samo območje Nemčije, ampak se bo glede na globino prodiranja mraza, ki je dokaj globoka, predpostavilo, da je predvidena cesta v najbolj neugodni coni (Cona III) in s tem povečalo izhodiščno debelino za 15 cm. Vrednost E je opredeljena z načinom odvodnjavanja, ki je za obravnavane primere voziščne konstrukcije upoštevano kot dobro z uporabo kanalov ter bo prispevalo k zmanjšanju minimalne debeline zmrzlinso odporne voziščne konstrukcije.

Preglednica 76 prikazuje minimalne debeline voziščne konstrukcije, odporne na zmrzovanje, ki bodo upoštene v postopku dimenzioniranja. Minimalna debelina h_{min} , določena s postopkom po TSC 06.520, bo enaka v vseh primerih prometnih obremenitev, debelina h_{min*1} bo upoštevana za skupine prometne obremenitve od Bk10 do Bk100, h_{min*2} za skupine od Bk3.2 do Bk1.0 ter h_{min*3} za skupino Bk0.3.

Preglednica 76: Debelina odporne zmrzlinško voziščne konstrukcije po RStO 12 smernicah

Table 76: Minimum thickness of the frost resistant pavement structure according to RStO 12 guidelines

Debelina voziščne konstrukcije [cm]			
h_{min}	h_{min*1}	h_{min*2}	h_{min*3}
63	65	60	50

Debelina h_{min} , določena po TSC, je enaka za vseh sedem obravnavanih primerov, medtem ko se debelina, določena po RStO 12, spreminja glede na skupino prometne obremenitve. V Nemčiji je torej minimalna debelina voziščne konstrukcije, odporne proti učinkom zmrzovanja in odtajanja, med drugim odvisna tudi od prometne obremenitve obravnavane ceste. Za bolj obremenjene ceste so smiselno predvidene večje debeline h_{min*} .

Naslednji korak v metodi dimenzioniranja po RStO 12 je izbira voziščne konstrukcije iz Preglednice standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij prikazane na Slika 32. **Preglednica** se uporablja na naslednji način:

- Skupina prometne obremenitve (Load class) določa izbiro stolpca.
- Plasti oziroma sestava voziščne konstrukcije se izbere z vrstico (Line).
- Potrebna nosilnost dosežena na posamezni plasti je definirana za vsako sestavo voziščne konstrukcije.
- Minimalna debelina voziščne konstrukcije h_{min} oziroma h_{min*} (Thickness of frost resistant pavement structure) določa dimenzijo najnižje zmrzlinško odporne plasti v voziščni konstrukciji (Thickness of frost blanket course ali Thickness of layer of non-frost-susceptible material). V primeru vmesnih vrednosti h_{min} se debelino najnižje plasti v voziščni konstrukciji ustrezno prilagodi.

Glede na izračunane merodajne prometne obremenitve po RStO 12 in zasnovo voziščnih konstrukcij v Sloveniji, so ustrezno izbrane standardizirane sestave voziščne konstrukcije iz vrstic 2.2 in 3. Za bolj obremenjene ceste se izbrane voziščne konstrukcije za vmesno stabilizirano plastjo, za ceste v nižjih skupinah prometne obremenitve pa klasične voziščne konstrukcije, sestavljene iz asfaltne krovne plasti ter nevezane nosilne plasti.

Slika 32 ne prikazuje Preglednice standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij v celoti, ampak prikazuje le vrstice, merodajne za načrtovanje obravnavnih voziščnih konstrukcij v magistrski nalogi.

Line	Load class	BK100				BK32				BK10				BK3.2				BK1.8				BK1.0				BK0.3						
	B [million of ESALs]	> 32				> 10 – 32				> 3.2 – 10				> 1.8 – 3.2				> 1.0 – 1.8				> 0.3 – 1.0				≤ 0.3						
	Thickness of frost resistant pavement structure ¹⁾	55	65	75	85	55	65	75	85	55	65	75	85	45	55	65	75	45	55	65	75	45	55	65	75	35	45	55	65			
1	Asphalt base course on frost blanket course																															
	Asphalt surface course																															
	Asphalt base course																															
	Frost blanket course																															
	Thickness of frost blanket course	–	31 ²⁾	41	51	25 ³⁾	35	45	55	29 ³⁾	39	49	59	–	33 ²⁾	43	53	25 ³⁾	35	45	55	27	37	47	57	21	31	41	51			
2.1	Asphalt base course and base course with hydraulic binders on frost blanket course or layer of non-frost-susceptible material																															
	Asphalt surface course																															
	Asphalt base course																															
	Cement stabilized base course (HBB)																															
	Thickness of frost blanket course	–	–	34 ²⁾	44	–	28 ³⁾	38	48	–	30 ²⁾	40	50																			
2.2	Asphalt surface course																															
	Asphalt base course																															
	Stabilized granular material																															
	Layer of non-frost-susceptible material – widely or gap-graded in line with DIN 18196																															
	Thickness of layer of non-frost-susceptible material	10 ⁴⁾	20 ⁴⁾	30	40	14 ⁴⁾	24	34	44	18 ⁴⁾	28	38	48	10 ⁴⁾	20	30	40	14 ⁴⁾	24	34	44	16 ⁴⁾	26	36	46	6 ⁴⁾	16 ⁴⁾	26	36			
2.3	Asphalt surface course																															
	Asphalt base course																															
	Stabilized granular material																															
	Layer of non-frost-susceptible material – narrowly graded in line with DIN 18196																															
	Thickness of layer of non-frost-susceptible material	5 ⁴⁾	15 ⁴⁾	25	35	9 ⁴⁾	19 ⁴⁾	29	39	13 ⁴⁾	23	33	43	5 ⁴⁾	15 ⁴⁾	25	35	14 ⁴⁾	24	34	44	16 ⁴⁾	26	36	46	6 ⁴⁾	16 ⁴⁾	26	36			
3	Asphalt base course and crushed rock base course on frost blanket course																															
	Asphalt surface course																															
	Asphalt base course																															
	Crushed rock base course ⁷⁾ E _{v2} ≥ 150(120)																															
	Thickness of frost blanket course	–	–	30 ²⁾	40	–	–	34 ²⁾	44	–	28 ³⁾	38	48	–	–	30 ²⁾	40	–	24 ³⁾	34	44	16 ³⁾	26	36	46	–	18 ³⁾	28	38			

Slika 32: Izbrane voziščne konstrukcije iz preglednice standardiziranih voziščnih konstrukcij (RStO 12, 2012, str. 19)

Figure 32: Used pavement structures according to a design procedure in RStO 12 guidelines (RStO 12, 2012, p. 19)

Minimalne debeline zmrzlinso odporne voziščne konstrukcije in izbrane pripadajoče debeline zmrzlinso odpornih plasti so predstavljene v Preglednica 77 in Preglednica 78.

V Preglednica 77 so prikazane debeline $h_{\min}$, določene z upoštevanjem lokalnih izkušenj in pogojev (določitev $h_{\min}$ po TSC 06.520).

Preglednica 77: Debeline zmrzlinso odporne plasti TSC 06.520

Table 77: Thicknesses of frost blanket course according to TSC 06.520

Skupina prometne obremenitve	$h_{\min}$ [cm]	Zmrzlinso odporna plast [cm]
Bk100	63	18
Bk32	63	22
Bk10	63	26
Bk3.2	63	28
Bk1.8	63	32
Bk1.0	63	34
Bk0.3	63	36

Minimalne debeline $h_{\min}^*$ v naslednji preglednici so določene na osnovi upoštevanja priporočil iz RStO 12.

Preglednica 78: Debeline zmrzlinso odporne plasti po RStO 12

Table 78: Thicknesses of frost blanket course according to RStO 12

Skupina prometne obremenitve	$h_{\min}^*$ [cm]	Zmrzlinso odporna plast [cm]
Bk100	65	20
Bk32	65	24
Bk10	65	28
Bk3.2	60	30
Bk1.8	60	29
Bk1.0	60	31
Bk0.3	50	23

6.2.3 ZDA

Postopek dimenzioniranja voziščne konstrukcije po metodi iz AASHTO priročnika je podrobno definiran v poglavjih od 5.3 do 5.10.

6.2.3.1 PavExpress

Pri dimenzioniranju po metodi po AASHTO priročniku se je zaradi bolj natančnih izračunov uporabila spletna aplikacija PavExpress. PavExpress je orodje za dimenzioniranje voziščne konstrukcije, ki je v pomoč inženirjem in glavnim akterjem iz prometne stroke pri analizi ter dimenzioniranju cest v ZDA. Aplikacija je bila razvita s strani Pavia Systems, Inc. podjetja, ki razvija programsko opremo in je specializirano za industrijo prometne infrastrukture. Aplikacijo, ki je zasnovana na AASHTO metodi dimenzioniranja voziščnih konstrukcij so razvili s pomočjo nacionalnega združenja za asfalt (National Asphalt Pavement Association – NAPA), Združenja za asfalt (Asphalt Pavement Alliance) ter Konzorcija državnih združenj za asfalt (State Asphalt pavement Associations – SAPA). Podjetje Pavia Systems, Inc. že leta sodeluje z ministrstvi za infrastrukturo v več zveznih državah ZDA. Eden izmed rezultatov podjetja je tudi razvoj spletne platforme Pavement Interactive pri kateri je z raziskavami in tehničnim znanjem sodelovalo 9 zveznih držav. Danes platformo uporabljajo strokovnjaki iz prometne stroke z vsega sveta, vzdrževana pa je s strani podjetja Pavia Systems kot vir in storitev za prometno industrijo (PavExpress, 2017).

Aplikacija PavExpress ponuja več možnosti:

- določitev strukture voziščne konstrukcije,
- analizo voziščne konstrukcije,
- izračun stroškov investicije,
- izračun stroškov vzdrževanja.

Za potrebe magistrske naloge se je aplikacija uporabila za določitev strukture fleksibilne voziščne konstrukcije, postopek pa je sestavljen iz naslednjih korakov:

1. Vnos informacij o projektu
2. Definiranje vhodnih parametrov
3. Določitev prometne obtežbe
4. Določitev strukture voziščne konstrukcije (asfaltna plast)
5. Določitev strukture voziščne konstrukcije (ostale plasti)
6. Izračun in usmeritve glede dimenzionirane voziščne konstrukcije.

V prvem koraku se poimenuje in opiše projekt; izbere se država, kjer bo voziščna konstrukcija dimenzionirana (v primeru magistrske naloge: izven ZDA); določi se leto zaključka projekta; izbere kategorija ceste ter tip projekta. Naslednji korak predvideva določitev naslednjih vhodnih parametrov: načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije, raven zanesljivosti, standardizirana normalna porazdelitev, indeks začetne uporabnosti, indeks končne uporabnosti ter izguba uporabnosti voziščne konstrukcije. Tretji korak predvideva izračun ali vnos izračunane merodajne prometne obremenitve. V naslednjem koraku se definira količnik ekvivalentnosti asfaltna krovne plasti ter minimalno debelino asfaltna plasti. V predzadnjem koraku se izberejo preostale plasti ter definirajo debeline in lastnosti posameznih plasti, vnese pa se tudi podatke o nosilnosti temeljnih tal. Zadnji korak prikaže dimenzionirano voziščno konstrukcijo ter prikaže izračunane debeline izbranih plasti. Izračunana je

tudi vrednost potrebnega strukturnega števila SN_R in strukturno število, doseženo z izbrano voziščno konstrukcijo. Pregleda pa se lahko tudi podrobnosti postopka izračuna ter priporočila glede izračunane voziščne konstrukcije. Naslednji sliki prikazujeta drugi in zadnji korak pri izračunu voziščne konstrukcije, s pomočjo aplikacije Pavexpress.

Slika 33: Vnos vhodnih parametrov v aplikacijo Pavexpress (Pavexpress, 2017)

Figure 33: Input of the design parameters in the Pavexpress application (Pavexpress, 2017)

Slika 34: Rezultat dimenzioniranja z aplikacijo Pavexpress (Pavexpress, 2017)

Figure 34: The result of a pavement design procedure with the Pavexpress application (Pavexpress, 2017)

Fleksibilne voziščne konstrukcije so v ZDA v osnovi sestavljene iz asfaltne krovne plasti, nevezane nosilne plasti ter spodnje nevezane nosilne plasti, kar se je upoštevalo v postopku dimenzioniranja z aplikacijo Pavexpress. Osnovni ter dodatni vhodni parametri, ki jih je za razliko od preostalih dveh metod v metodi dimenzioniranja po AASHTO priročniku potrebno upoštevati, so določene v skladu s

priporočili aplikacije in omejitvami postopka. V nadaljevanju so predstavljeni koraki dimenzioniranja in upoštevane vrednosti različnih parametrov.

V prvem koraku se je za vse obravnavane primere se je kot tip projekta izbrala nova asfaltna voziščna konstrukcija. Kategorije cest v Sloveniji, so bile v aplikaciji smiselno upoštevane in zamenjane s tistimi po AASHTO metodi, kot prikazuje naslednja preglednica.

Preglednica 79: Upoštevane kategorije cest pri dimenzioniranju z aplikacijo PaveXpress

Table 79: Road classification applied in pavement design with the PaveXpress application

Kategorija ceste (TSC)	Kategorija ceste (AASHTO)
AC	Interstate
AC	Interstate
G1	Arterial
G1	Arterial
G2	Arterial
R1	Residential/Collector
R2	Residential/Collector

Doba trajanja voziščne konstrukcije je v ZDA pogojena s kategorijo ceste, ampak je zaradi boljše primerljivosti rezultatov za vse obravnavane primere izbrana vrednost 30 let.

V naslednjem koraku so se definirali vhodni parametri, ki so predstavljeni v Preglednica 80. Vhodne parametre se je izbralo na osnovi dognanj o postopku dimenzioniranja po AASHTO priročniku, kot tudi ob upoštevanju priporočil v aplikaciji.

Preglednica 80: Upoštevani vhodni parametri pri dimenzioniranju z aplikacijo PaveXpress

Table 80: Design parameters applied in pavement design with the PaveXpress application

Primer	R	Z _R	S ₀	p _i	p ₀	ΔPSI
1	95	-1.645	0,5	4,2	2,5	1,7
2	95	-1.645	0,5	4,2	2,5	1,7
3	85	-1.037	0,5	4,2	2,5	1,7
4	85	-1.037	0,5	4,2	2,5	1,7
5	85	-1.037	0,5	4,2	2,5	1,7
6	85	-1.037	0,5	4,2	2,0	2,2
7	85	-1.037	0,5	4,2	2,0	2,2

V nadaljevanju so se vnesle izračunane merodajne prometne obremenitve iz Preglednica 62 ter definirale minimalne debeline asfaltna krovne plasti. Minimalna debelina priporočena v aplikaciji (povzeto po AASHTO priročniku) je 10, 16 cm za obremenitve pod 500.000 ESAL-ov oziroma 15,24 cm za ceste obremenjene z več kot 500.000 ESAL-ov. V predzadnjem koraku so se definirale izbrane še preostale plasti ter definirale minimalne debeline le-teh. Izbrani količniki ekvivalentnosti materialov ter količniki odvodnjavanja, uporabljeni v postopku dimenzioniranja, so predstavljeni v naslednji preglednici.

Preglednica 81: Upoštevane vrednosti količnikov ekvivalentnosti in odvodnjavanja pri dimenzioniranju z aplikacijo PaveXpress

Table 81: Structural layer coefficients and drainage coefficients applied in pavement design with the PaveXpress application

Plast	Količnik	
	a_i	m_i
Krovna plast	0,44	1,00
Stabilizirana plast	0,23	1,00
Nevezana nosilna plast	0,14	1,00
Spodnja nevezana nosilna plast	0,11	1,00

Nosilnost temeljnih tal se definira z modulom elastičnosti M_R , ki se v aplikaciji lahko izrazi tudi z vrednostjo CBR (CBR = 7 %) in izračuna po naslednji enačbi: (PaveXpress, 2017)

$$M_R = 2.555 \times CBR^{0,64} \quad (48)$$

$$M_R = 12.200 \text{ psi} \quad (49)$$

Rezultati postopka dimenzioniranja oziroma izračunane dimenzije voziščnih konstrukcij z aplikacijo PaveXpress za vse obravnavane primere so predstavljene v naslednjih preglednicah. Tudi z metodo dimenzioniranja po AASHTO priročniku sta se izvedli dve varianti voziščne konstrukcije. Najprej se je dimenzioniralo voziščno konstrukcijo, ki je sestavljena iz tipičnih osnovnih plasti po AASHTO priročniku (krovna plast, nevezana nosilna plast, spodnja nevezana nosilna plast). Kot druga varianta voziščne konstrukcije je zaradi boljše primerljivosti rezultatov dimenzionirana še voziščna konstrukcija, izvedena z enakimi plastmi, kot so uporabljene v postopku dimenzioniranja po TSC 06.520. Preglednica 82 prikazuje dimenzionirano voziščno konstrukcijo, sestavljeno iz tipičnih plasti po priročniku AASHTO. V preglednici so poleg dimenzij plasti navedene tudi zahtevane in dosežene vrednosti strukturnih števil za posamezne primere.

Preglednica 82: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije z aplikacijo PaveXpress (tipične plasti po AASHTO priročniku)

Table 82: Calculated pavement layers thicknesses with the PaveXpress application (typical pavement structure layers layers according to AASHTO Guide)

Plast	Primer						
	1	2	3	4	5	6	7
	Dimenzije plasti [in]						
Krovna plast	10	9,5	9,5	7	6	5	5
Nevezana nosilna plast	8	7	6	6	6	6	6
Spodnja nevezana nosilna plast	11	7	6	6	6	6	6
	Dimenzije plasti [cm]						
Krovna plast	25,40	24,13	24,13	17,78	15,24	12,70	12,70
Nevezana nosilna plast	20,32	17,78	15,24	15,24	15,24	15,24	15,24
Spodnja nevezana nosilna plast	27,94	17,78	15,24	15,24	15,24	15,24	15,24

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 82

	Strukturno število						
SN	6,73	5,93	5,68	4,58	4,14	3,70	3,70
SN_R	6,70	5,85	4,70	4,30	3,90	3,30	3,05

Iz preglednice je razvidno, da je izračunano strukturno število SN v vseh primerih večje od zahtevane vrednosti SN_R, kar pomeni da so dimenzije obravnavanih voziščnih konstrukcij ustrezne.

Aplikacija PaveXpress podaja debeline posameznih plasti v inčih, zato je bilo potrebno dobljene dimenzije preračunati v centimetre. Preračunane dimenzije se je ob upoštevanju doseženih in potrebnih vrednosti strukturnih števil smiselno zaokrožilo kot je prikazano v Preglednica 83.

Preglednica 83: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije (tipične plasti po AASHTO priročniku) [cm]

Table 83: Calculated pavement layers thicknesses (typical pavement structure layers according to AASHTO Guide) [cm]

Plast	Debelina plasti [cm]						
	Primer						
	1	2	3	4	5	6	7
Krovna plast	26	25	24	18	16	13	13
Nevezana nosilna plast	21	18	15	15	15	15	15
Spodnja nevezana nosilna plast	28	18	15	15	15	15	15
Skupna debelina h	75	61	54	48	46	43	43

Koraki v postopku dimenzioniranja druge variante voziščne konstrukcije s sestavo plasti po TSC so enaki kot predhodno, razlika je le v predzadnjem koraku, kjer se definira nosilne plasti. V tem primeru se je v odvisnosti od prometne obremenitve dodatno uporabila stabilizirana plast (Primer 1, 2 in 3).

Preglednica 84 prikazuje dimenzionirano varianto voziščne konstrukcije sestavljeno iz tipičnih plasti po TSC. V preglednici so poleg dimenzij plasti navedene tudi zahtevane in dosežene vrednosti strukturnih števil za posamezne primere.

Preglednica 84: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije z aplikacijo PaveXpress (tipične plasti po TSC 06.520) [cm]

Table 84: Calculated pavement layers thicknesses with the PaveXpress application (typical pavement structure layers according to TSC 06.520) [cm]

Plast	Dimenzije plasti [in]						
	Primer						
	1	2	3	4	5	6	7
Krovna plast	11	9,5	7,5	7	6	6	5
Stabilizirana s cementom	6	6	6	0	0	0	0
Spodnja nevezana nosilna plast	6	6	6	9,5	8	6	6
Plast	Dimenzije plasti [cm]						
	1	2	3	4	5	6	7
Krovna plast	27,94	24,13	19,05	17,78	15,24	15,24	12,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 84

Stabilizirana s cementom	15,24	15,24	15,24	0	0	0	0
Nevezana nosilna plast	15,24	15,24	15,24	24,13	20,32	15,24	15,24
Strukturno število							
SN	7,06	6,40	5,52	4,41	3,76	3,48	3,04
SN_R	6,70	5,85	4,70	4,4	3,75	3,30	3,00

Kot je že bilo omenjeno, aplikacija PaveXpress podaja debeline posameznih plasti v inčih, zato je potrebno dobljene dimenzije preračunati v centimetre. Preračunane dimenzije se je ob upoštevanju doseženih in potrebnih vrednosti strukturnih števil smiselno zaokrožilo kot je prikazano v naslednji preglednici.

Preglednica 85: Izračunane debeline plasti voziščne konstrukcije (tipične plasti po TSC 06.520) [cm]

Table 85: Calculated pavement layers thicknesses (typical pavement structure layers according to TSC 06.520) [cm]

Plast	Debelina plasti [cm]						
	Primer						
	1	2	3	4	5	6	7
Krovna plast	28	25	19	18	16	16	13
Cementna stabilizacija	15	15	15	0	0	0	0
Nevezana nosilna plast	15	15	15	25	21	16	16
Skupna debelina h	58	55	49	43	37	32	29

V zadnjem koraku dimenzioniranja, kjer so prikazane izračunane dimenzije plasti voziščne konstrukcije ter zahtevano in doseženo strukturno število SN_R in SN, se lahko preverijo tudi podrobnosti izračuna kot je prikazano na Slika 35.

Calculation Details	
Step 1: Surface	
Calculate SN from 1993 empirical equation using the M _R of the Aggregate Base layer. This determines the amount of support the surface asphalt layer needs to provide in order for the Aggregate Base layer to perform adequately.	
M _R of Aggregate Base	= 14000 PSI
SN	= 3.75
Carried SN from higher layers	= 0.00
SN _{layer0}	= 3.75
D* (rounded to the nearest 1/2")	= 3.75/0.44 = 9.00 inches
SN _{layer0} /a _{layer0}	= 3.75/0.44 = 9.00 inches
Minimum specified depth (D _{min})	= 6.00 inches
The greater of D* and D _{min} = D _{surf}	= 9.00 inches
SN contribution of D _{surf} = D _{surf} * a ₁	= 3.96
SN _{surf}	= 3.96
Calculated Surface Depth	= 9.00 inches
Step 2: Aggregate Base	
Step 3: Aggregate Subbase	
*The Design SN exceeds the Required SN due to the layer protection check. A base layer thickness can be reduced; however, the reduction may create issues with construction. Therefore, care must be taken before adjusting the fixed or minimum thickness.	

Slika 35: Predstavitev izračuna plasti in dimenzij voziščne konstrukcij z aplikacijo PaveXpress (PaveXpress, 2017)

Figure 35: Calculation details with the PaveXpress application (PaveXpress, 2017)

Klimatski in hidrološki pogoji so po AASHTO priročniku upoštevani z indeksom uporabnosti kot tudi z uporabo količnikov odvodnjavanja. V postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije se je kljub temu vedno potrebno zanašati na lokalne izkušnje in upoštevati dosedanje prakso dimenzioniranja. Veliko držav v ZDA ob upoštevanju lokalnih klimatskih razmer ocenjuje, da mora debelina voziščne konstrukcije znašati vsaj polovico globine prodiranja mraza (Pavement interactive, 2017). V WSDOT Pavement policy (2015) je za zmrzljivo občutljive materiale v temeljnih tleh prav tako definiran pogoj upoštevanja vsaj polovice globine prodiranja mraza, kar se je upoštevalo tudi za primere dimenzionirane v magistrski nalogi. V primeru dimenzioniranja voziščne konstrukcije s tipičnimi plastmi po AASHTO priročniku je debelina voziščne konstrukcije v vseh obravnavanih primerih ustrezna, glede na postavljeni pogoj minimalne debeline zmrzljivo odporne voziščne konstrukcije. Rezultati so predstavljeni v Preglednica 86.

Preglednica 86: Višina zmrzljivo odporne voziščne konstrukcije (tipične plasti po AASHTO priročniku)

Table 86: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure (typical pavement structure layers according to AASHTO Guide)

Višina zmrzljivo odporne konstrukcije [cm]				
Primer	h	Pogoj	h_{min}	✓ X
1	75	$\geq$	40	✓
2	61	$\geq$	40	✓
3	54	$\geq$	40	✓
4	48	$\geq$	40	✓
5	46	$\geq$	40	✓
6	43	$\geq$	40	✓
7	43	$\geq$	40	✓

V postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije, ki je sestavljena iz tipičnih plasti po TSC je pogoj minimalne debeline zmrzljivo odporne voziščne konstrukcije zadoščeno v primerih 1,2,3 in 4. Rezultati so predstavljeni v naslednji preglednici.

Preglednica 87: Višina zmrzljivo odporne voziščne konstrukcije (tipične plasti po TSC 06.520)

Table 87: Actual and required minimum thicknesses of frost resistant pavement structure (typical pavement structure layers according to TSC 06.520)

Višina zmrzljivo odporne voziščne konstrukcije [cm]				
Primer	h	Pogoj	h_{min}	✓ X
1	58	$\geq$	40	✓
2	55	$\geq$	40	✓
3	49	$\geq$	40	✓
4	43	$\geq$	40	✓
5	37	$\geq$	40	X
6	32	$\geq$	40	X
7	29	$\geq$	40	X

V primeru 5, 6 in 7 skupna debelina voziščne konstrukcije ne ustreza pogoju, zato se vgradi zmrzlinško odporno posteljico ali poveča nevezano nosilno plast. Debelina zmrzlinško odpornih materialov se za primera 5 in 6 poveča za 10 cm, v primeru 7 pa za 15 cm.

7 PRIMERJAVA METOD TER REZULTATOV DIMENZIONIRANJA

7.1 Primerjava teoretičnih osnov

Na osnovi preučevanja vseh obravnavanih metod in dognanj glede postopka dimenzioniranja se je izvedla primerjava teoretičnih osnov. Razdeljena je na več podpoglavij, ki zajemajo primerjavo posameznih vhodnih parametrov v obravnavanih metodah, kot tudi primerjavo samega postopka.

7.1.1 Struktura voziščne konstrukcije

Prva in osnovna razlika v metodah je ta, da je dimenzioniranje voziščnih konstrukcij v tehničnih specifikacijah in AASHTO priročniku zasnovano na empiričnem postopku, medtem ko v Nemčiji uporabljajo standardiziran postopek. Strukture fleksibilnih voziščnih konstrukcij so si po vseh metodah dokaj podobne, in sicer so v osnovi sestavljene iz asfaltna krovne plasti ter nevezane nosilne plasti. Asfaltna krovna plast je sestavljena iz obrabne in nosilne plasti, pri večjih obremenitvah pa še iz dodatne vmesne vezne plasti. Dodatno pozornost je pri definiranju plasti potrebno nameniti poimenovanju posameznih plasti, saj v Nemčiji kot krovno plast (surface course) definirajo obrabno in vezno plast, asfaltna nosilna plast pa je opredeljena kot "samostojna" plast. V magistrski nalogi je v postopku primerjave kot asfaltna krovna plast definirana plast, v katero je všteta tudi asfaltna nosilna plast. Plast nevezane nosilne plasti se v Sloveniji izvede kot plast samostojne plasti iz drobljenca ali prodca, medtem ko nemške smernice definirajo še dodatno nevezano nosilno plast, in sicer zmrzlinško odporno plast, ki se lahko uporabi kot samostojna plast ali pa v kombinaciji z nevezano nosilno plastjo iz drobljenca ali prodca. V ZDA se lahko nevezano nosilno plast prav tako izvede v dveh plasteh, kot zgornjo in spodnjo nevezano nosilno plast, kjer je slednja zgrajena iz materiala malo slabše kakovosti kot zgornja. V Sloveniji se nevezano nosilno plast delno ali v celoti nadomesti z vezivom (cement, bitumen) stabilizirano nosilno plastjo – spodnja vezana nosilna plast, ki je ponavadi potrebna pri večjih prometnih obremenitvah. V Nemčiji in ZDA je uporaba stabilizirane plasti prav tako možna, je pa konstrukcije z največjo prometno obremenitvijo glede na teoretične osnove, možno izpeljati tudi samo z asfaltno krovno plastjo ter nevezano nosilno plastjo.

7.1.2 Nosilnost podlage

Kakovost oziroma ustreznost temeljnih tal, ki predstavljajo podlago voziščne konstrukcije, se izrazi z nosilnostjo podlage. Metoda, opredeljena v TSC 06.520, postavlja kot osnovo za dimenzioniranje voziščne konstrukcije podlago, ki izkazuje mejno nosilnost $CBR = 7 \%$ ali izraženo z deformacijskim modulom $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$. V kolikor temeljna tla ne izkazujejo ustrezne nosilnosti, jih je potrebno izboljšati, utrditi ali stabilizirati. Nemške smernice prav tako predpisujejo, da se mora vse definirane voziščne konstrukcije zgraditi na podlagi, ki izkazuje nosilnost, izraženo z vrednostjo deformacijskega modula $E_{v2} = 45 \text{ MPa}$. Če temeljna tla oziroma podlaga ni ustrežna, se uporabi postopke za izboljšanje nosilnosti. Omenjeni postopki za izboljšanje temeljnih tal niso del obravnavanih metod, ampak se jih upošteva v za to predpisanih, ustreznih smernicah. V ZDA je za nosilnost podlage merodajna vrednost modula elastičnosti M_R , ki se ga določi s postopkom, opredeljenim v AASHTO priročniku. Modul elastičnosti ni določen kot enolična vrednost, ampak se upoštevajo sezonske vrednosti modula elastičnosti, ki se jih izraža z relativno škodo u_f . Na podlagi končne povprečne vrednosti u_f se določi pripadajočo povprečno vrednost modula elastičnosti podlage M_R . Modul elastičnosti je možno tudi izraziti z vrednostjo CBR oziroma različni avtorji navajajo več korelacij z različnimi parametri. Minimalna potrebna vrednost M_R v AASHTO priročniku ni definirana, ima pa nosilnost podlage

neposreden vpliv na višino in ceno voziščne konstrukcije. Neustrezna temeljna tla se lahko z namenom izboljšanja nosilnosti, trdnosti ali togosti tudi stabilizira ali izboljša.

Pri določitvi nosilnosti podlage je pri vseh treh metodah potrebno upoštevati za to predpisane postopke, ki so v skladu z uveljavljeno regulativo.

7.1.3 Načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije

Voziščne konstrukcije morajo ne glede na metodo dimenzioniranja izkazovati ustrezno uporabnost vozne površine v obdobju za katerega so načrtovane. Načrtovana doba trajanja voziščne konstrukcije je po vseh treh metodah različna:

- Slovenija: 20 let (lahko tudi krajša, vendar nikoli manj kot 5 let)
- Nemčija: 30 let
- ZDA: 10 do 50 let.

V Sloveniji in Nemčiji je načrtovana doba trajanja predpisana na določeno število let in se jo lahko izjemoma in iz utemeljenih razlogov skrajša, medtem ko je v ZDA načrtovana doba odvisna od obremenjenosti in funkcije ceste.

7.1.4 Prometna obremenitev

Prometna obremenitev predstavlja enega izmed ključnih parametrov v postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije. Vse tri obravnavane metode predpisujejo postopek, s katerim se podatke o prometnih obremenitvah pretvori v ekvivalentno dnevno osno prometno obremenitev, izraženo s številom prehodov NOO oziroma v merodajno prometno obremenitev v načrtovani dobi trajanja voziščne konstrukcije, prav tako izraženo s številom prehodov NOO. V Sloveniji in Nemčiji znaša NOO 100 kN, v ZDA 18 kip (18.000 lb) oziroma 80 kN.

Ekvivalentno dnevno prometno obremenitev se po TSC 06.511 glede na razpoložljivost podatkov štetja prometa običajno določi na podlagi PLDP ter povprečnih vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za reprezentativna vozila, ki so v razdeljena v 6 kategorij (osebna vozila, avtobusi ter 4 skupine tovornih vozil).

V Nemčiji se za razliko od metode v Sloveniji pri določitvi prometnih obremenitev upošteva le promet s težkimi tovornimi vozili (tovorna vozila z nosilnostjo nad 3,5 t in avtobusi), ki pa niso razdeljena v posamezne kategorije. Obremenitev se lahko v odvisnosti od razpoložljivih podatkov (PLDP ali tehtane osne obremenitve) določi z dvema različnima metodama. Z obema metodama je ekvivalentno in merodajno prometno obremenitev možno določiti na dva načina, in sicer s konstantnimi ali spremenljivimi faktorji. Smernice RStO 12 za pretvorbo PLDP v ekvivalentno dnevno obremenitev ne predpisujejo povprečnih faktorjev ekvivalentnosti za reprezentativna vozila, ampak se uporabi faktor povprečnega števila osi ter kvocient upoštevanja povprečne porazdelitve obremenitve na osi. Oba faktorja se določi v odvisnosti od kategorije ceste.

AASHTO priročnik za iz vrednotenje prometnih obremenitev v ekvivalentno dnevno obremenitev, tako kot TSC, narekuje uporabo faktorjev ekvivalentnosti. Faktorje ekvivalentnosti se običajno določi glede na število in težo posameznih osi v odvisnosti od predvidenega strukturnega števila SN ter končnega indeksa uporabnosti p_t . Za tako natančno določitev faktorjev ekvivalentnosti je seveda potrebno imeti na voljo ustrezne podatke analize prometa (WIM). Mešani promet je v ekvivalentno

prometno obremenitev možno pretvoriti tudi s povprečnimi vrednostmi faktorjev ekvivalentnosti v odvisnosti od kategorije vozila (FHWA definira 13 kategorij vozil) ali pa s povprečno vrednostjo faktorja tovornih vozil. V postopku dimenzioniranja se prve vpliv kategorij 1, 2 in 3 večinoma zanemari.

V postopku dimenzioniranja voziščne konstrukcije, je po vseh treh metodah potrebno določiti merodajno prometno obremenitev T_n . Postopek za izračun le-te je zelo podoben za vse obravnavane metode, in sicer se upošteva:

- ekvivalentno dnevno prometno obremenitev,
- faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v načrtovani dobi trajanja
- dodatne vplive, izražene s faktorji vplivov.

Faktor povečanja prometne obremenitve je odvisen od rasti prometa v načrtovani dobi trajanja voziščne konstrukcije in se v Sloveniji izračuna po nekoliko različni enačbi kot v Nemčiji in ZDA. Kot dodatne vplive se po vseh metodah upoštevata faktor prečnega prereza vozišča, ki je povsem primerljiv po vseh metodah, edina razlika je v tem, da je po AASHTO priročniku sestavljen iz dveh faktorjev: faktorja vpliva razdelitve prometnih obremenitev glede na smer vožnje in faktorja vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove (posamezna smer). Kot dodatna vpliv se v Sloveniji in Nemčiji upošteva še širino vozišča ter vzdolžni nagib nivelete. Po TSC 06.511 je za razliko od ostalih dveh metod potrebno pri določitvi T_n upoštevati tudi vpliv dodatnih dinamičnih vplivov, ki je bodisi ugoden bodisi neugoden. V Sloveniji in Nemčiji se glede na število prehodov NOO prometne obremenitve še dodatno razvrstijo v skupine prometne obremenitve, ki jih je po TSC šest, po RStO 12 pa sedem.

7.1.5 Klimatski in hidrološki pogoji

Lokalne klimatske in hidrološke razmere ter posledice le-teh imajo značajan vpliv na spremembe v cestnem telesu, zato predstavljajo v vseh metodah enega izmed bolj pomembnih vplivov na postopek dimenzioniranja. Vzporednice na tem področju je možno potegniti med vsemi obravnavanimi metodami, saj so parametri, ki jih je potrebno upoštevati z vidika klimatskih in hidroloških razmer, dokaj podobni. Način, kako se te parametre upošteva, je v TSC in smernicah RStO 12 podoben, medtem ko se postopek po AASHTO priročniku precej razlikuje.

V Sloveniji imajo na dimenzioniranje vpliv naslednji lokalni klimatski in hidrološki vplivi: vrednost regionalnega faktorja; globina prodiranja mraza, ki se jo odčita iz Karte globin prodiranja mraza v Sloveniji; hidrološki pogoji, ki se jih razvrsti v ugodne ali neugodne ter občutljivost materialov na zmrzovanje (razredi občutljivosti F1 do F3). Neposredno je v postopek dimenzioniranja vključen samo regionalni faktor, na osnovi ostalih naštetih pogojev pa se določi minimalno debelino voziščne konstrukcije, odporne na zmrzovanje, ki znaša od 60 % do 80 % globine prodiranja mraza. Debelina konstrukcije se preveri na koncu postopka dimenzioniranja in v kolikor ni dosežena, se ustrezno poveča debelina nevezane nosilne plasti ali posteljice pod voziščno konstrukcijo.

V Nemčiji se občutljivost materialov na zmrzovanje izraža z enakimi pogoji in se materiale prav tako uvršča v razrede F1 do F3. Na tej točki pa se pojavi prva razlika v postopku, in sicer se lahko na temeljna tla, sestavljena iz materialov razreda F1, ob upoštevanju določenih pogojev, vgradi voziščno konstrukcijo brez zmrzlinosko neobčutljive plasti. Minimalna debelina voziščne konstrukcije, odporne

na zmrzovanje h_{min} , je eden izmed vplivov, ki ga je tako kot v Sloveniji potrebno upoštevati tudi v Nemčiji. Razlika v vplivu je ta, da se po RStO 12 minimalno debelino določi že med samim postopkom dimenzioniranja, saj h_{min} predstavlja enega izmed kriterijev za izbiro voziščne konstrukcije iz Preglednice standardiziranih asfaltnih voziščnih konstrukcij in neposredno vpliva na dimenzijo celotne voziščne konstrukcije oziroma utrditve. Če za določitev h_{min} ni na voljo informacij glede na lokalne izkušnje, se jo določi na podlagi izhodiščne debeline, ki je odvisna tako od občutljivosti temeljnih tal na zmrzovanje kot tudi od prometne obremenitve. Izhodiščno debelino se naknadno poveča ali reducira z različnimi lokalnimi vplivi, ki so izraženi s petimi faktorji (A – D). Večina vplivov oziroma faktorjev je primerljivih s hidrološkimi pogoji, definiranimi po TSC 06.51, največja razlika v tej fazi dimenzioniranja pa je, da se različne hidrološke pogoje v Sloveniji razvrsti samo kot ugodne oziroma neugodne, v Nemčiji pa se lahko vsak pogoj obravnava kot individualen in se oceni njegov vpliv na minimalno potrebno debelino voziščne konstrukcije, ki bo zagotavljala odpornost proti učinkom zmrzovanja.

AASHTO priročnik klimatske in hidrološke razmere uvršča in upošteva s tremi kategorijami: količniki odvodnjavanja nevezanih plasti, parametri zmrzovanja in odtajanja ter občutljivosti materialov na zmrzovanje. Količnike odvodnjavanja se v odvisnosti od pogojev odvodnjavanja ter izpostavljenosti vlagi upošteva v enačbi za določitev dimenzij ter strukturnih števil posameznih plasti. Ostale parametre, ki so primerljivi s tistimi v metodi v Sloveniji in Nemčiji, se upošteva na nekoliko drugačen način, in sicer s predvideno zmanjšano uporabnostjo voziščne konstrukcije, ki se jo izrazi s spremembo indeksa uporabnosti ΔPSI . ΔPSI poleg izgube uporabnosti, zaradi prometnih obremenitev, predvideva še izgubo uporabnosti zaradi zmrzovanja in odtajanja ΔPSI_{sw} ter zaradi občutljivosti materialov na zmrzovanje ΔPSI_{FH} . Globina prodiranja mraza je sicer upoštevana pri določitvi ΔPSI_{FH} , še vedno pa je v postopku dimenzioniranja potrebna racionalno presoditi in upoštevati lokalne klimatske razmere. Posamezne zvezne države s tem namenom definirajo minimalno potrebno debelino voziščne konstrukcije, odporne na zmrzovanje, ki je ocenjena na približno 50 % debeline globine prodiranja mraza.

Iz primerjave je razvidno, da se po vseh metodah upošteva podobne klimatske in hidrološke razmere, se pa vpliv le-teh zajema in upošteva na različne načine. Ena izmed bolj očitnih razlik je vsekakor ta, da tako metoda po RStO 12, kot tudi metoda po AASHTO priročniku, lokalne in klimatske razmere upošteva že med samim postopkom dimenzioniranja in imajo neposreden vpliv na debelino voziščne konstrukcije. V Sloveniji temu ni tako, saj se klimatske in hidrološke pogoje, z izjemo regionalnega faktorja, upošteva samo pri preverjanju ustreznosti končne debeline voziščne konstrukcije. Vsem trem metodam je skupno to, da minimalna potrebna debelina voziščne konstrukcije ni enaka globini prodiranja mraza, ampak praviloma zadostuje že manjša skupna debelina plasti. Po vseh metodah je potrebno zagotoviti, da bo voziščna konstrukcija kos omenjenim vplivom, ki jim bo izpostavljena, je pa seveda potrebno racionalno presoditi pri upoštevanju le-teh in vzeti v obzir lokalne izkušnje.

7.1.6 Postopek dimenzioniranja

Metode dimenzioniranja voziščnih konstrukcij, ki so bile obravnavane v magistrski nalogi, predpisujejo tri postopke dimenzioniranja, ki se med seboj bistveno razlikujejo. V Sloveniji je debelina in sestava voziščne konstrukcije določena na podlagi diagramov za določitev debeline osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij. Dimenzija asfaltne krovne plasti je odvisna od merodajne prometne obremenitve, debelina nevezane nosilne plasti pa še dodatno od nosilnosti podlage, izražene z vrednostjo CBR. Odčitane debeline se s pomočjo količnikov ekvivalentnosti za materiale pretvori v potrebne vrednosti debelinskih indeksov, ki predstavljajo podlago za določitev

sestave in dimenzij posameznih plasti, ob upoštevanju omejitev uporabe materialov. Zaključni korak dimenzioniranja je preveritev vpliva zmrzovanja.

V Nemčiji, kjer je metoda dimenzioniranja standardizirana, je postopek povsem drugačen. Vhodni parametri so sicer podobni tistim iz TSC, vendar se novo asfaltno voziščno konstrukcijo izbere iz preglednice standardiziranih sestav voziščnih konstrukcij, kjer je na voljo 6 različnih sestav fleksibilnih voziščnih konstrukcij. Izbira ustreznih dimenzij in sestave je odvisna od skupine prometne obremenitve ter minimalne potrebne debeline voziščne konstrukcije, odporne na učinke zmrzovanja. V Nemčiji so sestava in dimenzije zgornjih plasti za določeno skupino prometne obremenitve enake, ne glede na število prehodov NOO v tej skupini. Minimalna potrebna debelina voziščne konstrukcije se znotraj posamezne skupine regulira le z dimenzijo najnižje zmrzlinško odporne plasti iz nevezanega kamnitega materiala in ne vpliva na sestavo in dimenzije zgornjih plasti voziščne konstrukcij.

V AASHTO priročniku je definiran pristop dimenzioniranja novih asfaltnih voziščnih konstrukcij, ki je povsem različen od postopka v Sloveniji in Nemčiji. V ZDA je vpeljan pojem tako imenovanega strukturnega števila SN, ki je del empiričnega izraza oziroma osnovne enačbe fleksibilnih voziščnih konstrukcij, v kateri so zajeti vsi vhodni parametri, merodajni za dimenzioniranje in se rešuje iteracijsko. AASHTO priročnik z enačbo upošteva tudi dodatne vhodne parametre, kot sta zanesljivost in uporabnost voziščne konstrukcije, ki se v ostalih metodah ne pojavljata. Na podlagi določene vrednosti skupnega strukturnega števila se določi dimenzije in tipe posameznih plasti. Pri določitvi dimenzij se upošteva količnike odvodnjavanja in količnike ekvivalentnosti materialov. Slednji so primerljivi s tistimi v Sloveniji. Pri metodi dimenzioniranja po AASHTO priročniku je potrebno omeniti še to, da rešitev enačbe za določanje dimenzij plasti voziščne konstrukcije ni enolična, ampak obstaja več rešitev, saj se lahko potrebna vrednost SN doseže z različnimi variantami in sestavami voziščnih konstrukcij, najbolj ustrezna pa se izbere z racionalno inženirsko presojo ustreznosti konstrukcije ter ob upoštevanju končne cene investicije.

V tem poglavju so opisane le ključne ugotovitve in razlike v metodah dimenzioniranja. Obravnavane metode so bolj podrobno predstavljene v poglavjih 2, 3 in 4.

7.2 Primerjava rezultatov računskega postopka

V nadaljevanju je predstavljena primerjava rezultatov računskega postopka dimenzioniranja voziščnih konstrukcij. Primerjava je razdeljena po poglavjih glede na skupino prometne obremenitve, ki jim bodo načrtovane voziščne konstrukcije izpostavljene. Skupine prometne obremenitve so privzete po TSC 06.511.

Za vsako prometno obremenitev je dimenzionirana voziščna konstrukcija po treh obravnavanih metodah ter naknadno ob upoštevanju določenih parametrov izvedena v dveh variantah za vsako metodo, in sicer:

- SLO₁: metoda po TSC 06.520 (vgraditev posteljice, debeline 20 cm, ter dosežena izboljšana nosilnost podlage CBR = 11,5 %)
- SLO₂: metoda po TSC 06.520 (brez vgraditve posteljice, podlaga z mejno vrednostjo nosilnosti CBR = 7 %)
- NEM₁: metoda po RStO 12 (minimalna debelina voziščne konstrukcije, odporne na zmrzovanje h_{min} določena ob upoštevanju lokalnih pogojev in izkušenj – TSC)

- NEM₂: metoda po RStO 12 (minimalna debelina voziščne konstrukcije, odporne na zmrzovanje $h_{\min}^*$ določena na podlagi RStO 12)
- ZDA₁: metoda po AAASHTO priročniku (tipična sestava asfaltne voziščne konstrukcije v Združenih državah Amerike)
- ZDA₂: metoda po AAASHTO priročniku (tipična sestava asfaltne voziščne konstrukcije v Sloveniji).

Primerjava rezultatov je za vsako skupino prometne obremenitve bolj podrobno predstavljena v naslednjih poglavjih. Rezultati dimenzioniranja so za izbrano prometno obremenitev prikazani v posamezni preglednici, dodatno pa je zaradi boljše preglednosti vključen še izris dimenzioniranih plasti voziščnih konstrukcij in celotnih utrditev. Skupna primerjava rezultatov je predstavljena v samostojnem poglavju.

7.2.1 Primer 1 – Voziščna konstrukcija za primer izredno težke prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer izredno težke obremenitve.

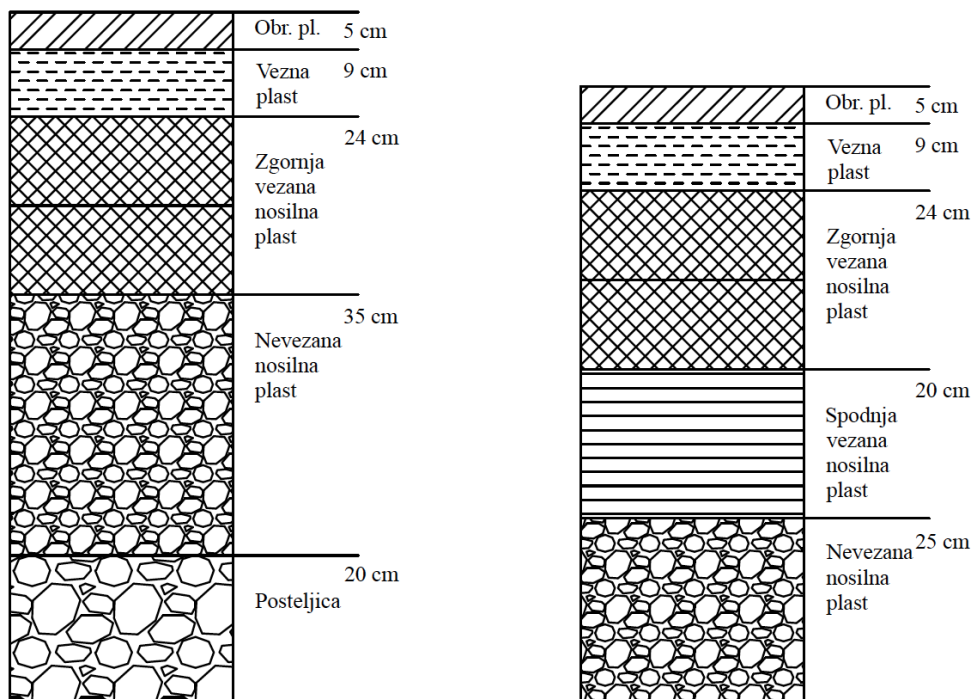
Preglednica 88: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 1

Table 88: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 1

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	5	5	12	12	26	28
Vezna plast	9	9				
Asfaltna nos.pl.	24	24	18	18	21	15
Sp. vezana. nos. pl.		20	15	15		
Nevezana nos. pl.	35	25			28	
Zmrzl. odp. plast**			19	20		
Posteljica	20					
Utrditev	93	83	64	65	75	58

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

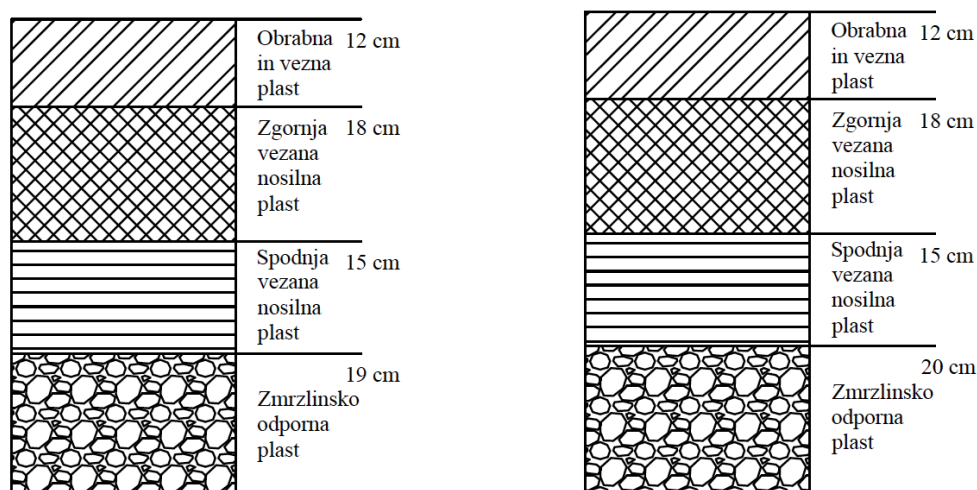
Slika 36 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer izredno težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂. Zgornja vezana nosilna plast je izvedena v dveh plasteh.



Slika 36: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer izredno težke prometne obremenitve (Slovenija)

Figure 36: Designed pavement structure subjected to the extremely heavy traffic loading (Slovenia)

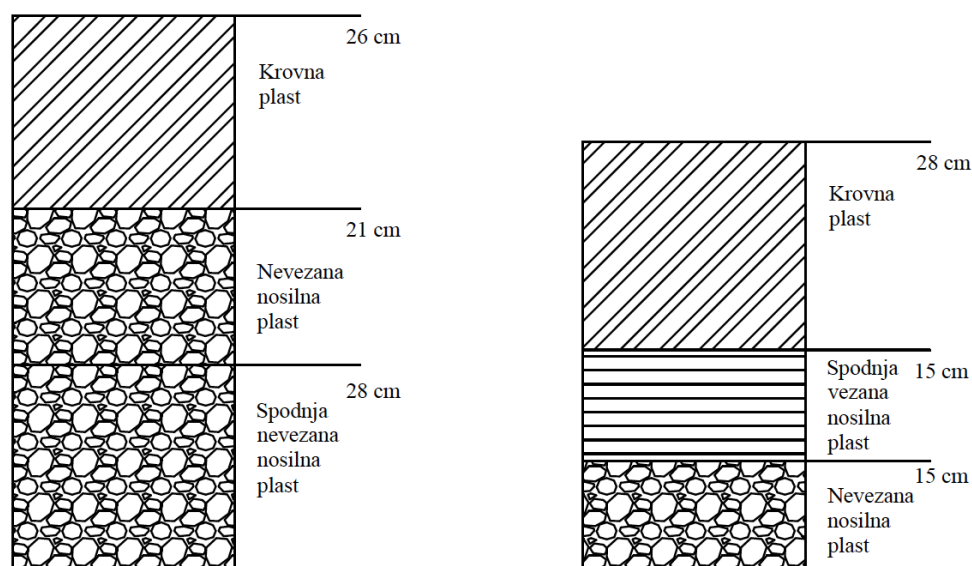
Slika 37 prikazuje sestavo in dimenzije voziščne konstrukcije/utrditve za primer izredno težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po smernicah RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 37: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer izredno težke prometne obremenitve (Nemčija)

Figure 37: Designed pavement structure/formation subjected to the extremely heavy traffic loading (Germany)

Slika 38 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer izredno težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 38: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer izredno težke prometne obremenitve (ZDA)

Figure 38: Designed pavement structure/formation subjected to the extremely heavy traffic loading (U.S.)

7.2.2 Primer 2 – Voziščna konstrukcija za primer zelo težke prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer zelo težke prometne obremenitve.

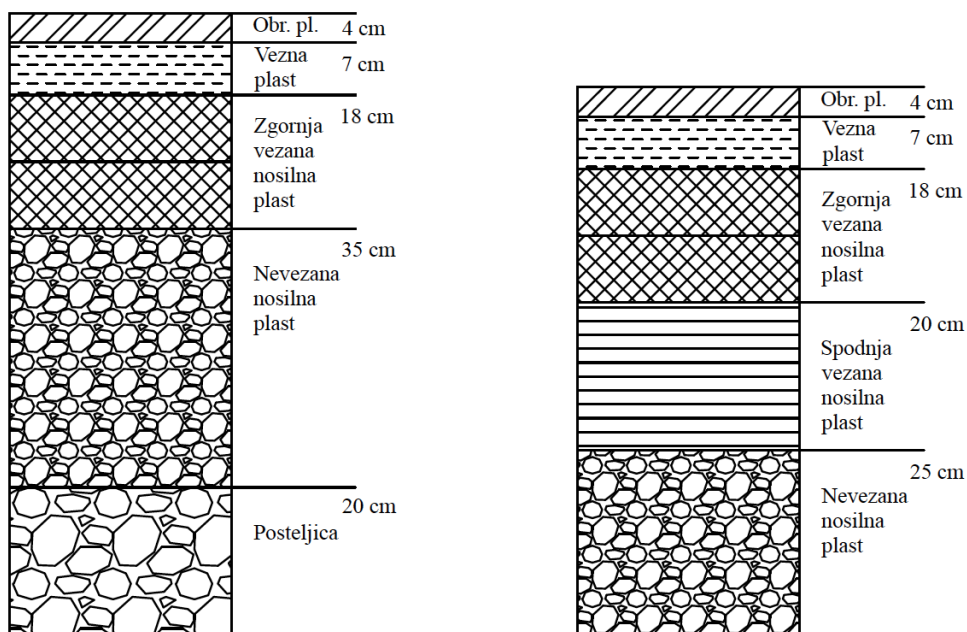
Preglednica 89: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 2

Table 89: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 2

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	4	4	12	12	24	25
Vezna plast	7	7				
Asfaltna nos.pl.	18	18	14	14	18	15
Sp. vezana. nos. pl.		20	15	15		
Nevezana nos. pl.	35	25			18	15
Zmrzl. odp. plast**			23	24	18	
Posteljica	20					
Utrditve	84	74	64	65	60	55

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

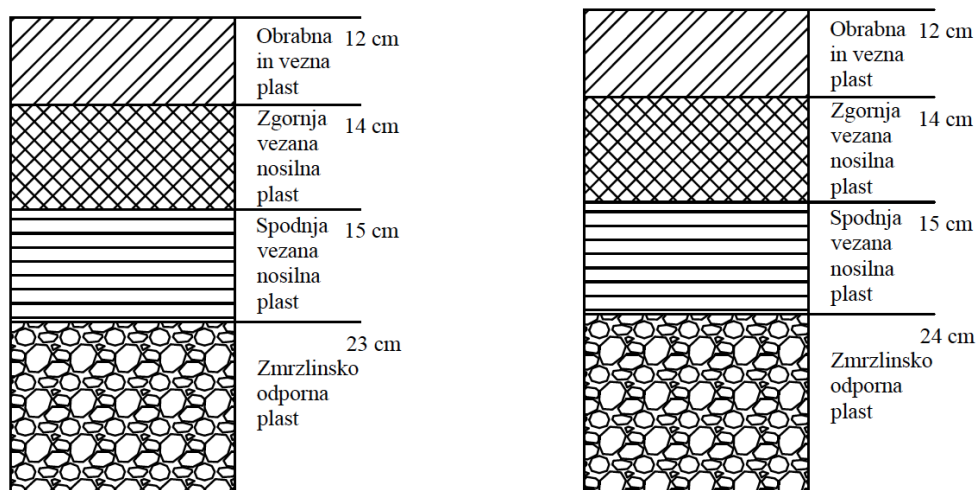
Slika 39 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer zelo težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂. Zgornja vezana nosilna plast je izvedena v dveh plasteh.



Slika 39: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo težke prometne obremenitve (Slovenija)

Figure 39: Designed pavement structure subjected to the very heavy traffic loading (Slovenia)

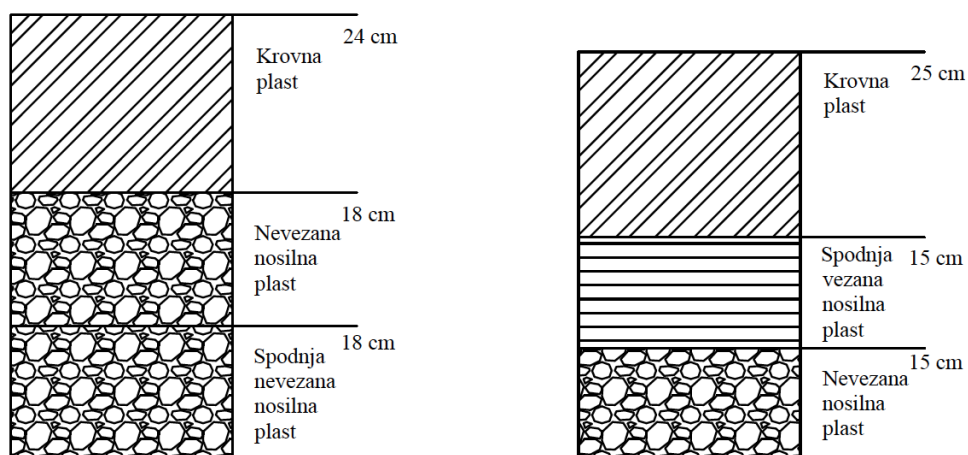
Slika 40 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer zelo težke obremenitve, dimenzionirano z metodo po RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 40: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo težke prometne obremenitve (Nemčija)

Figure 40: Designed pavement structure/formation subjected to the very heavy traffic loading (Germany)

Slika 41 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer zelo težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 41: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo težke prometne obremenitve (ZDA)

Figure 41: Designed pavement structure/formation subjected to the very heavy traffic loading (U.S.)

7.2.3 Primer 3 – Voziščna konstrukcija za primer težke prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer težke prometne obremenitve.

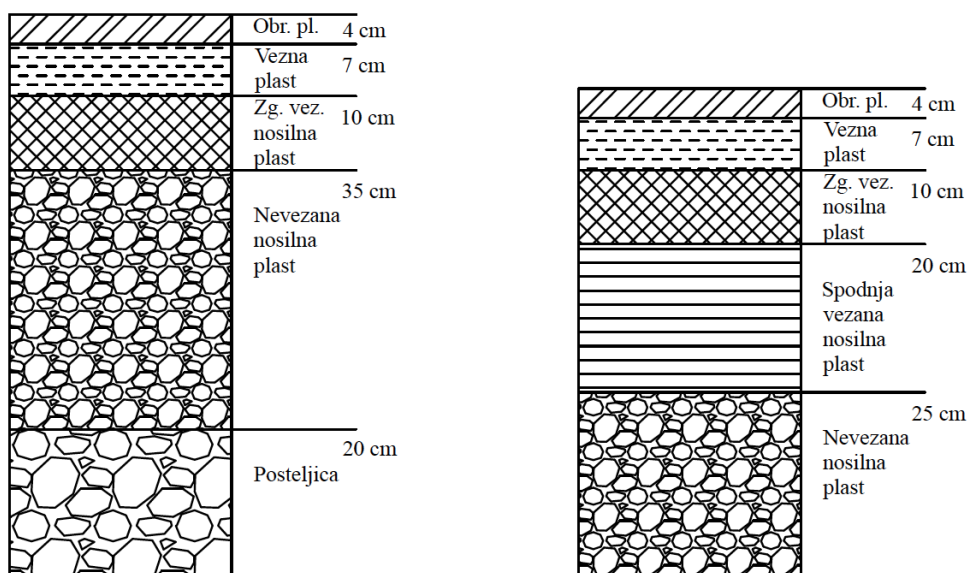
Preglednica 90: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 3

Table 90: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 3

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	4	4	12	12	24	19
Vezna plast	7	7				
Asfaltna nos.pl.	10	10	10	10	15	15
Sp. vezana. nos. pl.		20	15	15		
Nevezana nos. pl.	35	25			15	15
Zmrzl. odp. plast**			27	28	15	
Posteljica	20					
Utrditiv	76	66	64	65	54	49

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

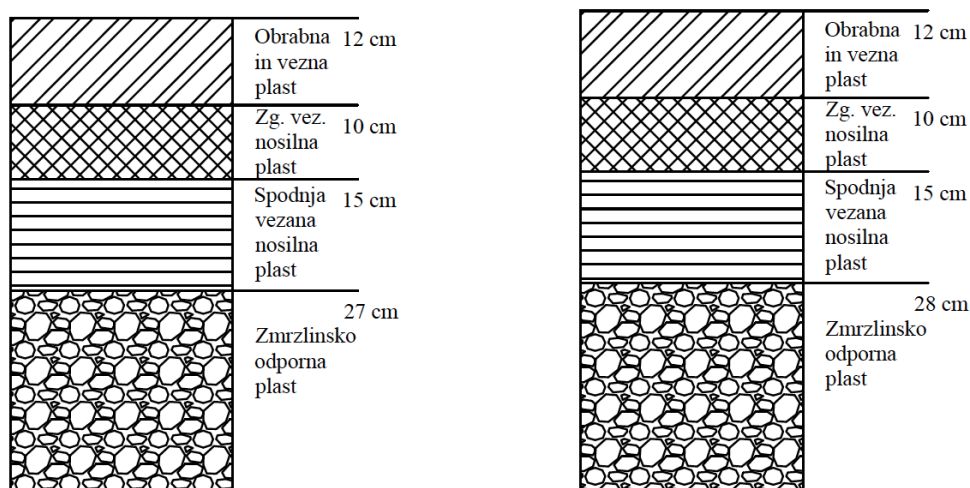
Slika 42 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂.



Slika 42: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer težke prometne obremenitve (Slovenija)

Figure 42: Designed pavement structure/formation subjected to the heavy traffic loading (Slovenia)

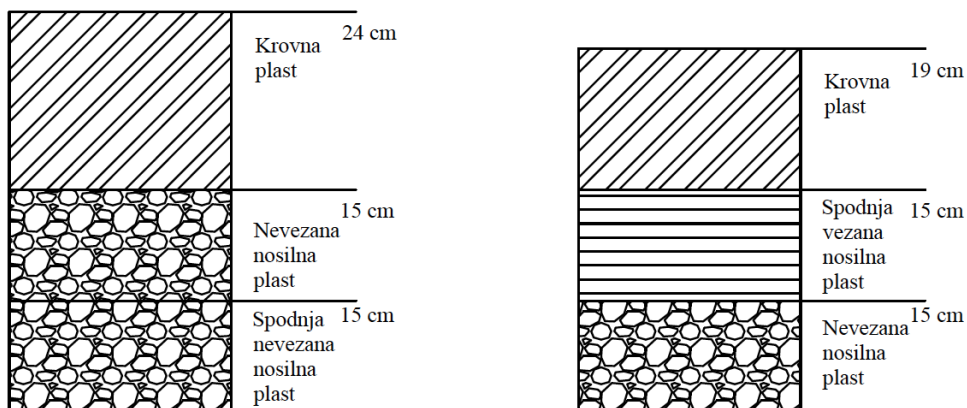
Slika 43 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer težke obremenitve, dimenzionirano z metodo po RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 43: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer težke prometne obremenitve (Nemčija)

Figure 43: Designed pavement structure/formation subjected to the heavy traffic loading (Germany)

Slika 44 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer težke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 44: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer težke prometne obremenitve (ZDA)

Figure 44: Designed pavement structure/formation subjected to the heavy traffic loading (U.S.)

7.2.4 Primer 4 – Voziščna konstrukcija za primer srednje prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer srednje prometne obremenitve.

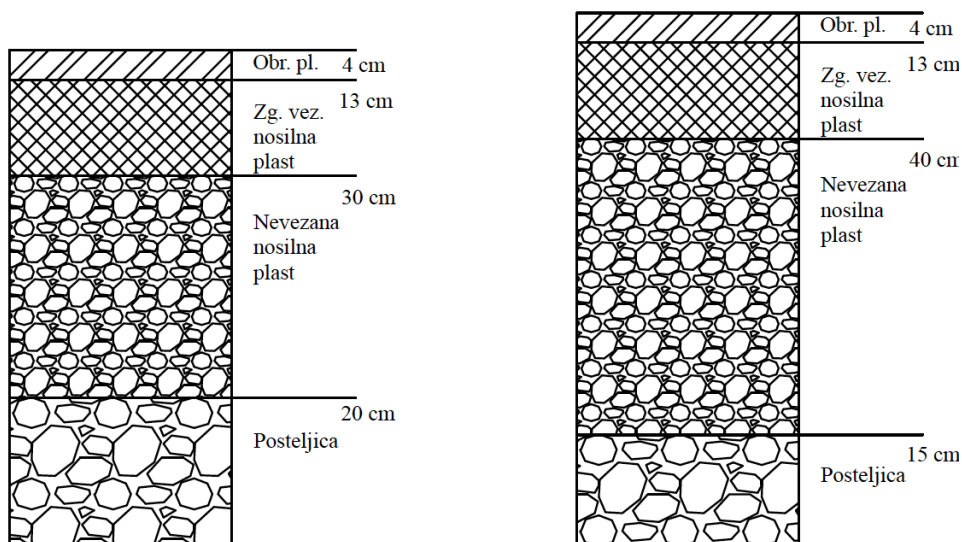
Preglednica 91: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 4

Table 91: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 4

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	4	4	10	10	18	18
Vezna plast	0	0				
Asfaltna nos.pl.	13	13				
Sp. vezana. nos. pl.			15	15		
Nevezana nos. pl.	30	40			15	25
Zmrzl. odp. plast**			29	30	15	
Posteljica	20	15				
Utrditiv	67	72	64	65	48	43

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

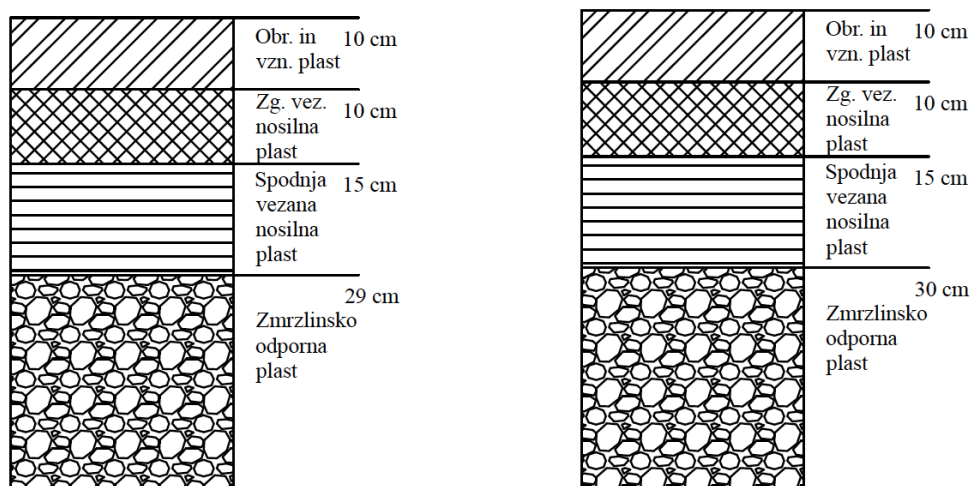
Slika 45 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer srednje prometne obremenitve (kategorija ceste: G1), dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂.



Slika 45: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G1 (Slovenija)

Figure 45: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Slovenia)

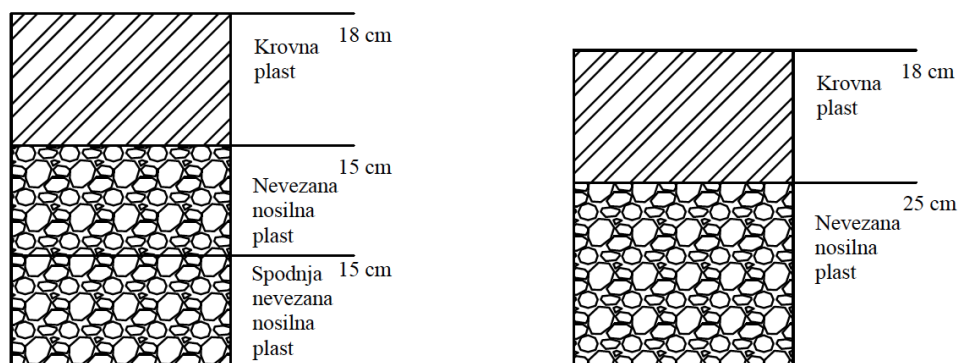
Slika 46 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer srednje prometne obremenitve (kategorija ceste: G1), dimenzionirano z metodo po RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 46: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G1 (Nemčija)

Figure 46: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Germany)

Slika 47 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer srednje prometne obremenitve (kategorija ceste: G1), dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 47: Voziščna konstrukcija za primer srednje prometne obremenitve na G1 (ZDA)

Figure 47: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (U.S.)

7.2.5 Primer 5 – Voziščna konstrukcija za primer srednje prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer srednje prometne obremenitve.

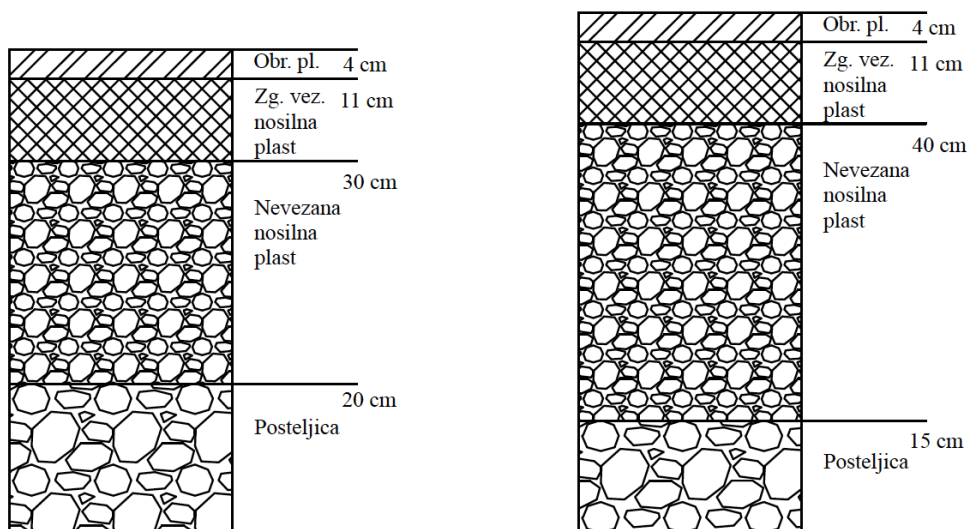
Preglednica 92: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 5

Table 92: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 5

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	4	4	4	4	16	16
Vezna plast		0				
Asfaltna nos.pl.	11	11	12	12		
Sp. vezana. nos. pl.						
Nevezana nos. pl.	30	40	15	15	15	21
Zmrzl. odp. plast**			33	29	15	
Posteljica	20	15				10
Utrditev	65	70	64	60	46	47

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

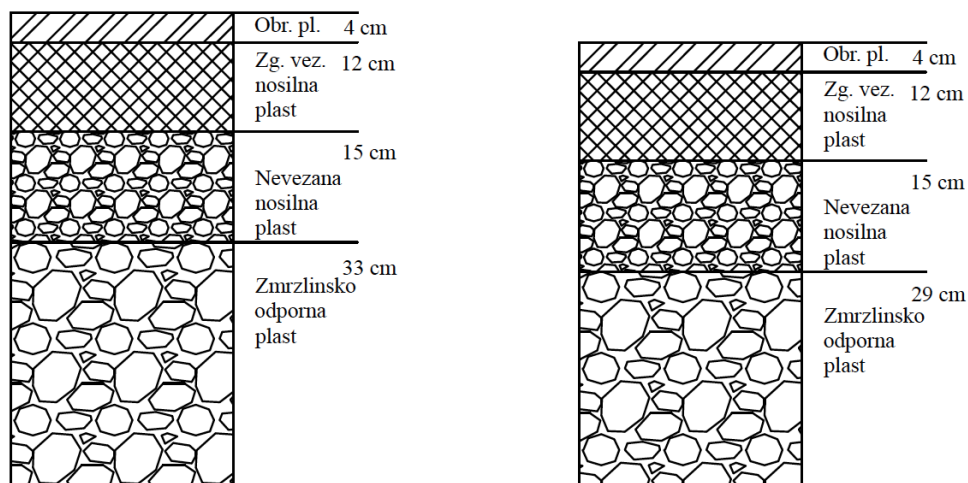
Slika 48 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer srednje prometne obremenitve (kategorija ceste: G2), dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂.



Slika 48: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G2 (Slovenija)

Figure 48: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Slovenia)

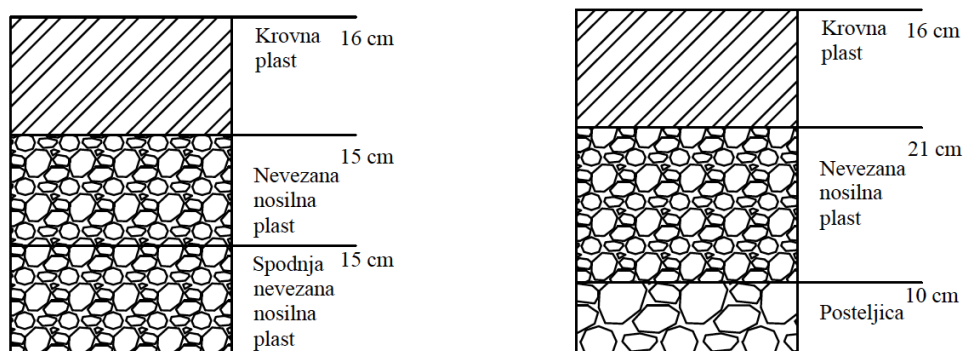
Slika 49 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer srednje prometne obremenitve (kategorija ceste: G2), dimenzionirano z metodo po RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 49: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G2 (Nemčija)

Figure 49: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (Germany)

Slika 50 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer srednje prometne obremenitve (kategorija ceste: G2), dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 50: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer srednje prometne obremenitve na G2 (ZDA)

Figure 50: Designed pavement structure/formation subjected to the medium traffic loading (U.S.)

7.2.6 Primer 6 – Voziščna konstrukcija za primer lahke prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer lahke prometne obremenitve.

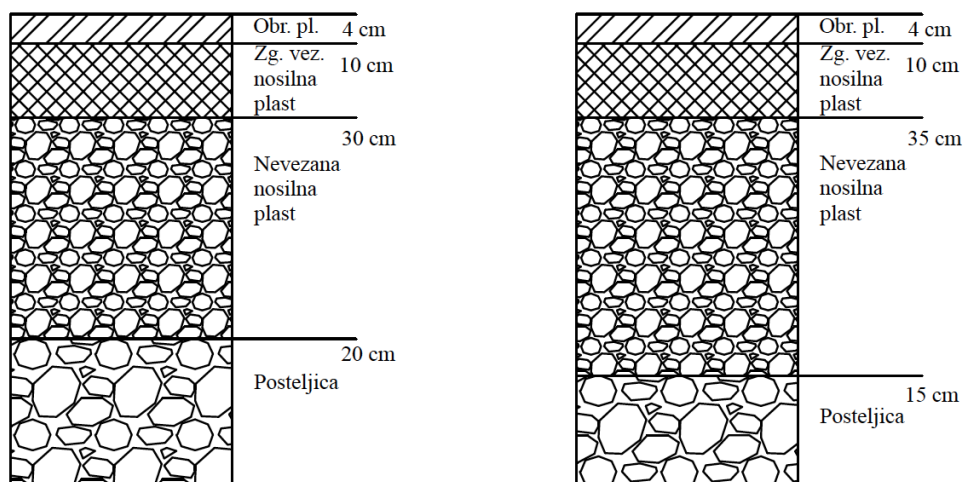
Preglednica 93: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 6

Table 93: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 6

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	4	4	4	4	13	16
Vezna plast	0	0	0	0		
Asfaltna nos.pl.	10	10	10	10		
Sp. vezana. nos. pl.						
Nevezana nos. pl.	30	35	15	15	15	16
Zmrzl. odp. plast**			35	31	15	
Posteljica	20	15				10
Utrditve	64	64	64	60	43	42

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

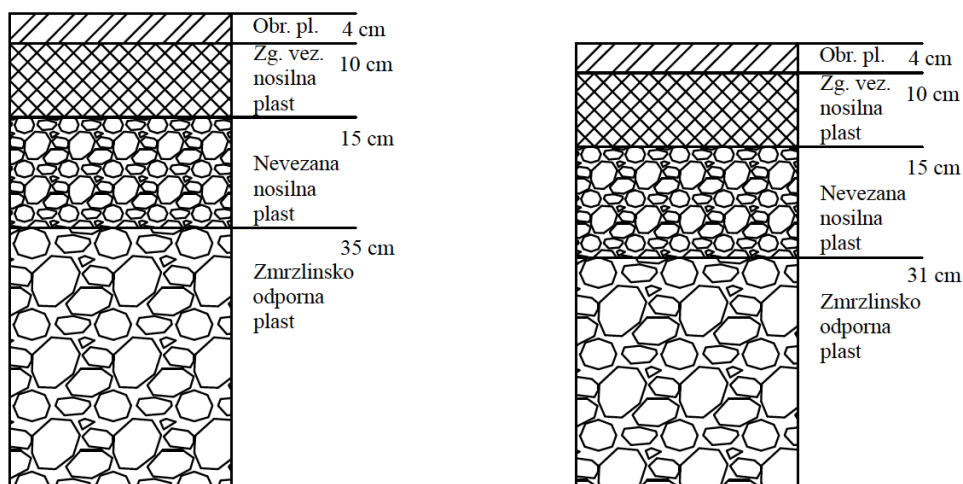
Slika 51 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer lahke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂.



Slika 51: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer lahke prometne obremenitve (Slovenija)

Figure 51: Designed pavement structure/formation subjected to the light traffic loading (Slovenia)

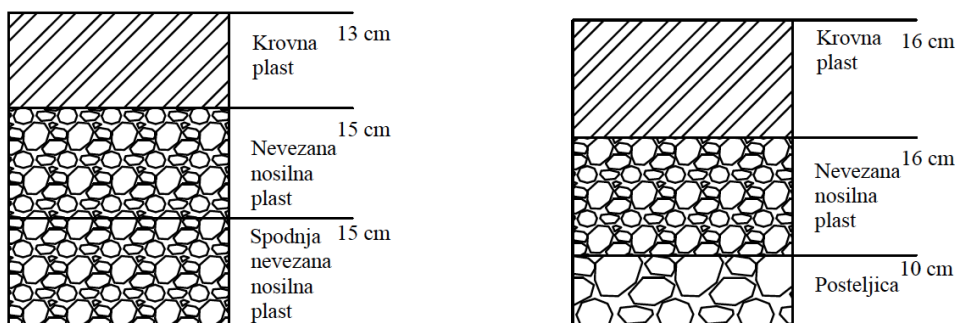
Slika 52 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer lahke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 52: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer lahke prometne obremenitve (Nemčija)

Figure 52: Designed pavement structure/formation subjected to the light traffic loading (Germany)

Slika 53 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer lahke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 53 Voziščna konstrukcija/utrditev za primer lahke prometne obremenitve (ZDA)

Figure 53: Designed pavement structure/formation subjected to the light traffic loading (U.S.)

7.2.7 Primer 7 – Voziščna konstrukcija za primer zelo lahke prometne obremenitve

V naslednji preglednici so prikazane debeline plasti voziščne konstrukcije in utrditve za primer zelo lahke prometne obremenitve.

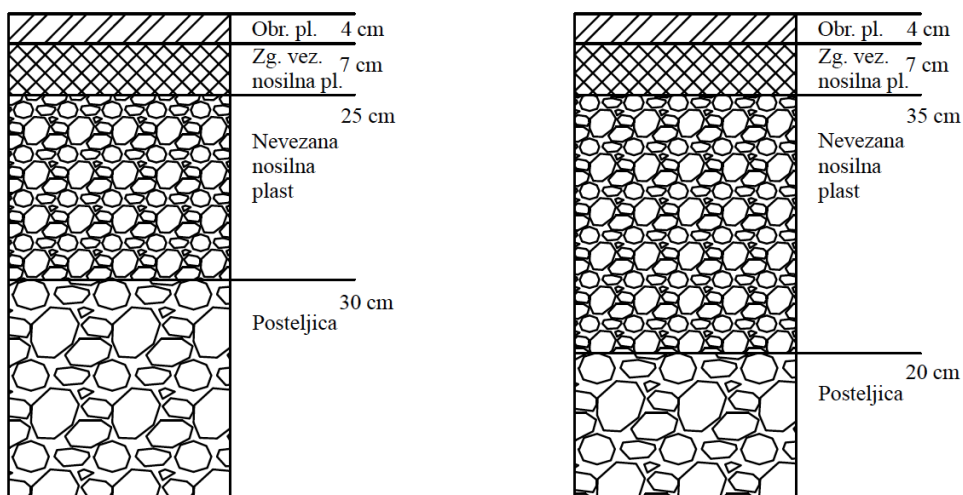
Preglednica 94: Debeline plasti voziščne konstrukcije/utrditve – Primer 7

Table 94: Layer thicknesses of pavement structure/formation – Example 7

Debeline plasti voziščne konstrukcije [cm]						
Plast	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
Obrabna plast	4	4	4	4	13	13
Vezna plast	0	0	0	0		
Asfaltna nos.pl.	7	7	8	8		
Sp. vezana. nos. pl.						
Nevezana nos. pl.	25	35	15	15	15	16
Zmrzl. odp. plast**			37	23	15	
Posteljica	30	20				15
Utrditve	66	66	64	50	43	44

Opombe: **spodnja nevezana nosilna plast za ZDA₁ in ZDA₂

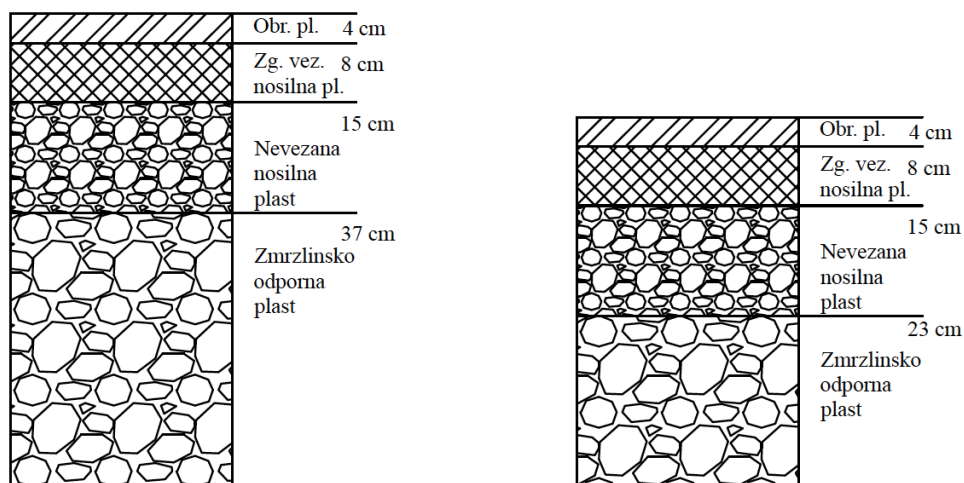
Slika 54 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer zelo lahke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po TSC 06.520. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer SLO₁, desna pa SLO₂.



Slika 54: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo lahke prometne obremenitve (Slovenija)

Figure 54: Designed pavement structure/formation subjected to the very light traffic loading (Slovenia)

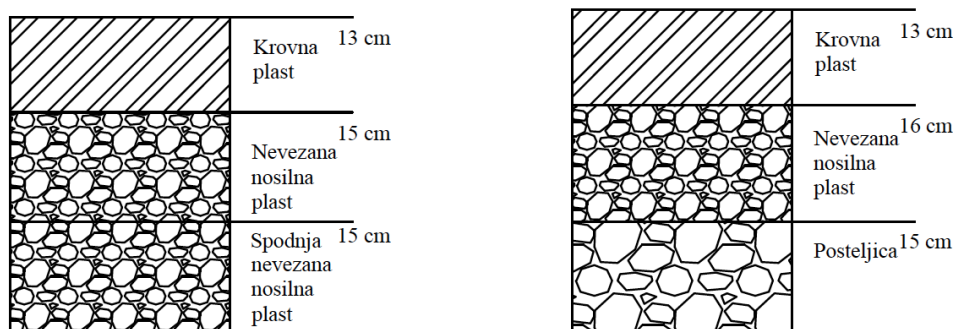
Slika 55 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer zelo lahke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po RStO 12. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer NEM₁, desna pa NEM₂.



Slika 55: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo lahke prometne obremenitve (Nemčija)

Figure 55: Designed pavement structure/formation subjected to the very light traffic loading (Germany)

Slika 56 prikazuje sestavo voziščne konstrukcije/utrditve za primer zelo lahke prometne obremenitve, dimenzionirano z metodo po AASHTO priročniku. Leva sestava voziščne konstrukcije prikazuje primer ZDA₁, desna pa ZDA₂.



Slika 56: Voziščna konstrukcija/utrditev za primer zelo lahke prometne obremenitve (ZDA)

Figure 56: Designed pavement structure/formation subjected to the very light traffic loading (U.S.)

7.2.8 Skupna primerjava

Pri skupni primerjavi rezultatov se je potrebno zavedati, da so izračuni zasnovani izključno na teoretičnih osnovah in ne odražajo nujno realnega stanja v praksi. Posebno pozornost je potrebno nameniti plastem, ki se jih po nekaterih metodah prišteva k voziščni konstrukciji, npr. zmrzlinško odporna plast po RStO 12 in spodnja nevezana plast po AASTO metodi, v Sloveniji pa se debelino posteljice, katero se lahko uporabi tudi samo za zagotovitev zmrzlinške odpornosti, ne prišteva k skupni debelini voziščne konstrukcije. Skupno poimenovanje voziščne konstrukcije je zaradi naštetih

razlogov težko definirati, kar je potrebno pri primerjavi, predvsem skupnih debelin voziščnih konstrukcij, smiselno upoštevati.

V Preglednica 95 so prikazane debeline dimenzioniranih asfaltnih krovnih plasti po posameznih metodah. V skupno debelino asfaltne krovne plasti so vštete debelina obrabne plasti, vezane nosilne plasti in v primerih s težjimi prometnimi obremenitvami tudi vezne plasti.

Preglednica 95: Debeline asfaltne krovne plasti

Table 95: Asphalt surface layer thicknesses

Debelina asfaltne krovne plasti [cm]						
Primer	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR = 7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
1	38	38	30	30	26	28
2	29	29	26	26	24	25
3	21	21	22	22	24	19
4	17	17	20	20	18	18
5	15	15	16	16	16	16
6	14	14	14	14	13	16
7	11	11	12	12	13	13

Največje odstopanje debelin asfaltnih krovnih plasti je možno opaziti pri večjih prometnih obremenitvah, predvsem za izredno težko in zelo težko prometno obremenitev. V primeru izredno težke obremenitve je krovna plast, dimenzionirana po TSC, 8 cm višja od tiste po RStO 12 ter 10 cm višja od asfaltne krovne plasti po AASHTO metodi, kjer so uporabljene enake plasti kot po TSC. V primeru 2 – zelo težka prometna obremenitev, so odstopanja manjša, in sicer od 3 do 5 cm. V primerih od 3 do 6 so dimenzije krovnih plasti za vse države dokaj podobne, v Sloveniji kar enake ali nižje od plasti po ostalih metodah.

Za primere težjih prometnih obremenitev se je v primerih, kjer je to bilo potrebno, vgradila tudi spodnja vezana nosilna plast. Stabilizirana plast se je vgradila v primerih od 1 do 3 (SLO₂), v Nemčiji pa je vgradnja predvidena tudi za večje srednje prometne obremenitve, primer 4. V postopku dimenzioniranja po AASHTO priročniku je plast vgrajena samo za bolj obremenjene voziščne konstrukcije za primer ZDA₂.

Preglednica 96: Debeline stabilizirane plasti

Table 96: Stabilized layer thicknesses

Debelina spodnje vezane nosilne plasti (stabilizirana plast) [cm]		
SLO	NEM	ZDA
20	15	15

Iz Preglednica 96 je razvidno, da je debelina uporabljene spodnje vezane nosilne plasti najvišja po metodi iz TSC. Debelina stabilizirane plasti je po metodi iz TSC 06.520 določena v postopku izračuna potrebnih debelin in debelinskih indeksov, metoda po RStO 12 predvideva vgradnjo stabiliziranih plasti, maksimalne debeline 15 cm, medtem ko je debelina po AASHTO metodi določena na osnovi potrebnih vrednosti strukturnih števil.

Poleg asfaltne krovne plasti, je ena izmed osnovnih plasti vsake fleksibilne voziščne konstrukcije tudi nevezana nosilna plast. Izračunane debeline nevezanih nosilnih plasti po obravnavanih metodah so predstavljene v Preglednica 97. Pri primerjavi rezultatov je potrebno upoštevati, da debelina nevezane nosilne plasti za NEM₁ in NEM₂ predstavlja v primerih od 1-4 debelino zmrzlinško odporne nevezane plasti, v primerih 5, 6 in 7 pa je debelina vsota debeline nevezane nosilne plasti drobljenca ter zmrzlinško odporne plasti. V primeru voziščne konstrukcije s tipično sestavo po priročniku AASHTO (ZDA₁) je predstavljena debelina enaka vsoti debeline spodnje in zgornje nevezane nosilne plasti in ni merodajna za primerjavo z ostalimi debelinami, saj je povečana debelina plasti odraz sestave voziščne konstrukcije, ki nima vgrajene stabilizirane plasti.

Preglednica 97: Debeline spodnje nevezane plasti

Table 97: Unbound granular layer thicknesses

Primer	Debelina nevezane nosilne plasti [cm]					
	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
1	35	25	19	20	49	15
2	35	25	23	24	36	15
3	35	25	27	28	30	15
4	30	40	29	30	30	25
5	30	40	48 (15)*	44 (15)*	30	21
6	30	35	50 (15)*	46 (15)*	30	16
7	25	35	52 (15)*	38 (15)*	30	16

Opomba: *debeline nevezane nosilne plasti iz drobljenca

Debeline nevezane nosilne plasti, vgrajene v voziščne konstrukcije z izredno težkimi in težkimi prometnimi obremenitvami (Primer 1 in 2), so po metodi dimenzioniranja v Sloveniji večje od dimenzij po ostalih dveh metodah. Do odstopanja prihaja samo v primeru ZDA₁, kjer je nevezana nosilna plast izvedena v dveh plasteh, stabilizirana plast pa ni predvidena, kar se odraža v večjih debelinah nevezanih plasti. V primerjavi nevezanih nosilnih plasti po AASHTO metodi z uporabo enakih plasti kot v TSC (ZDA₂), so v Sloveniji ne glede na skupino prometne obremenitve predvidene večje debeline, z razlikami v debelini od 9 do 20 cm. V primeru dimenzioniranja po TSC, kjer temeljna tla niso izboljšana, se upošteva enako nosilnost podlage kot z metodo po smernicah RStO 12. Primerjava rezultatov za SLO₂ z NEM₁ in NEM₂ pokaže, da je v primerih 1, 2 in 4 nevezana nosilna plast po TSC večjih dimenzij, le v primeru 3 pa je za 2 do 3 cm nižja. Za primere 5, 6 in 7 primerjava ni tako trivialna, saj je nevezana nosilna plast po smernicah RStO 12 dimenzionirana tako, da zagotovi ustrezno zmrzlinško odpornost, kar se posledično odraža v večjih debelinah kot za Slovenijo. Na tej točki je potrebno v obzir vzeti dejstvo, da se v primerih dimenzioniranih po TSC (SLO₂) 4, 5, 6 in 7 zmrzlinško odpornost voziščne konstrukcije naknadno poveča z vgraditvijo posteljice, ki pa se ne prišteva k debelini voziščne konstrukcije. Po TSC 06.520 (2009) bi se namesto posteljice lahko v enaki debelini povečala tudi nevezana nosilna plast, kar pripelje do zaključka, da so v tem primeru debeline nevezanih plasti po TSC (SLO₂) prav tako v vseh primerih večja od tistih po smernicah RStO 12.

Debeline voziščnih konstrukcij, dimenzioniranih po vseh treh obravnavanih metodah, so predstavljene v Preglednica 98 in Preglednica 99.

Preglednica 98: Debelina voziščne konstrukcije

Table 98: Pavement structure dimension

Voziščna konstrukcija [cm]						
Primer	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
1	73	83	64	65	75	58
2	64	74	64	65	60	55
3	56	66	64	65	54	49
4	47	57	64	65	48	43
5	45	55	64 (31)*	60 (31)*	46	37
6	44	49	64 (29)*	60 (29)*	43	32
7	36	46	64 (27)*	50 (27)*	43	29

Opomba: *dimenzija plasti voziščne konstrukcije brez zmrzlinso odporne plasti

Izboljšanje nosilnosti podlage z vgraditvijo posteljice po metodi predpisani v TSC, se v končnih dimenzijah voziščne konstrukcije odraža pri vseh primerih prometne obremenitve, in sicer s 5 do 10 cm manjšo skupno debelino voziščne konstrukcije za primere z izboljšano nosilnostjo. Iz Preglednica 98 je razvidno, da je predimenzioniranje voziščnih konstrukcij v Sloveniji, glede na Nemčijo in ZDA, najbolj očitno v primerih z izredno težko ter zelo težko prometno obremenitvijo (za primer voziščne konstrukcije na temeljnih tleh z izkazano prvotno nosilnostjo). Voziščne konstrukcije zgrajene na posteljici (SLO₁) so po dimenzijah dokaj podobne voziščnim konstrukcijam po ostalih metodah, je pa potrebno upoštevati dejstvo, da se po ostalih metodah temeljna tla niso izboljšala.

Iz tega razloga so najbolj primerljivi in merodajni rezultati dimenzioniranih voziščnih konstrukcij, z vidika nosilnosti podlage (upoštevana prvotna nosilnost) ter sestave voziščne konstrukcije, izbrani in predstavljeni v naslednji preglednici.

Preglednica 99: Debelina voziščne konstrukcije za primere SLO₂, NEM₁ in ZDA₂

Table 99: Pavement structure dimension for SLO₂, NEM₁ and ZDA₂ examples

Voziščna konstrukcija [cm]			
Primer	SLO ₂ CBR=7 %	NEM ₁ h _{min}	ZDA ₂ TSC
1	83	64	58
2	74	64	55
3	66	64	49
4	57	64	43
5	55	64 (31)*	37
6	49	64 (29)*	32
7	46	64 (27)*	29

Opomba: *dimenzija plasti voziščne konstrukcije brez zmrzlinso odporne plasti

Dimenzionirana debelina voziščne konstrukcije v Sloveniji je v veliki večini primerov večja od voziščnih konstrukcij v Nemčiji in ZDA. Za primere 5, 6 in 7 je načeloma voziščna konstrukcija v Sloveniji nižja od tiste v Nemčiji, je pa v tej debelini po smernicah RStO 12 poleg nevezane nosilne

plasti drobljenca upoštevana tudi debelina zmrzlinško odporne plasti. V omenjenih primerih se je z namenom zagotavljanja zmrzlinške odpornosti, voziščno konstrukcijo, izračunano po metodi v TSC moralo ustrezno povečati z vgraditvijo posteljice. Omenjeni ukrep bi se lahko izvedel tudi s povečanjem nevezane nosilne plasti, kar pripelje do zaključka, da bi bila voziščna konstrukcija v Sloveniji tudi za omenjene primere višja kakor v Nemčiji. Debelina voziščne konstrukcije v Sloveniji je izjemoma manjša samo v primeru 4, in sicer samo od voziščne konstrukcije po metodi v RStO 12, kjer je za predvideno prometno obremenitev še vedno potrebno uporabiti spodnjo vezano oziroma stabilizirano plast, v metodi po TSC pa se jo je izpustilo.

Preglednica 100, v kateri so predstavljene dimenzije celotne utrditve, prikazuje skupno debelino vseh plasti, ki se po posameznih metodah uporabi v postopku dimenzioniranja fleksibilne voziščne konstrukcije.

Preglednica 100: Višina utrditve po obravnavanih metodah

Table 100: Formation according to different methods

Primer	Utrditev [cm]					
	SLO ₁ posteljica	SLO ₂ CBR = 7 %	NEM ₁ h _{min}	NEM ₂ h _{min} *	ZDA ₁ AASHTO	ZDA ₂ TSC
1	93	83	64	65	75	58
2	84	74	64	65	60	55
3	76	66	64	65	54	49
4	67	72	64	65	48	43
5	65	70	64	60	46	47
6	64	64	64	60	43	42
7	66	66	64	50	43	44

Zgornja preglednica najbolje prikazuje primerjavo rezultatov dimenzioniranja, saj je izračunana debelina voziščne konstrukcije v Nemčiji in ZDA v veliki večini primerov enaka višini utrditve in obsega vse uporabljene plasti, medtem ko se v Sloveniji v voziščno konstrukcijo ne prišteva debeline posteljice, čeprav se jo lahko uporabi tudi samo z namenom zagotovitve ustrezne zmrzlinške odpornosti voziščne konstrukcije. V najbolj primerljivih izvedbah voziščnih konstrukcij, primeri SLO₂, NEM₁ in ZDA₂ je največje odstopanje dimenzije utrditve v Sloveniji od utrditve v Nemčiji, 19 cm, od utrditve v ZDA pa kar za 29 cm. Odstopanja so največja v primerih z težjimi prometnimi obremenitvami. Debelina utrditve v Sloveniji se s prometno obremenitvijo niža in je v primerih z lažjo in srednjo prometno obremenitvijo dokaj podobna oziroma kar enaka debelini v Nemčiji. Dimenzije utrditve v ZDA so v vseh primerih nižje tako od tistih v Sloveniji, kot tudi v Nemčiji. Načrtovana utrditev v Sloveniji je tako za primer z vgrajeno posteljico, z namenom izboljšanja nosilnosti podlage kot tudi v primeru voziščne konstrukcije, izvedene na prvotnih temeljnih tleh, ne glede na skupino prometne obremenitve, višja ali enaka od vseh ostalih predvidenih utrditev izračunanih po metodah, uporabljenih v Nemčiji in ZDA.

8 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

V magistrskem delu se je izbralo in preučilo tri osnovne metode dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij v Sloveniji, Nemčiji ter ZDA. Podroben pregled metod je služil kot podlaga za izvedbo računskega postopka, kjer se je po vsaki izmed metod dimenzioniralo voziščne konstrukcije, izpostavljene različnim prometnim obremenitvam. Empirični postopek, ki je definiran v TSC in je v uporabi v Sloveniji, se je primerjalo s standardizirano metodo po RStO 12 v Nemčiji ter empiričnim postopkom, definiranim v AASHTO priročniku iz ZDA. Slednji še vedno predstavlja podlago izdanim pripomočkom oziroma smernicam in specifikacijam za postopek dimenzioniranja v veliko državah, med drugim tudi v Sloveniji.

V začetku naloge je bil zastavljen cilj odgovoriti na vprašanje, ali je metoda dimenzioniranja fleksibilnih voziščnih konstrukcij ustrezna oziroma najbolj optimalna z vidika dimenzij voziščnih konstrukcij. Po izvedeni primerjavi rezultatov računskega postopka se je izkazalo, da dimenzije voziščnih konstrukcij in utrditev v Sloveniji, v primerjavi s tistimi v Nemčiji in ZDA, niso najbolj optimalne. Voziščne konstrukcije kot tudi celotne utrditve v Sloveniji se lahko na podlagi dognanj iz prejšnjih poglavij oceni kot predimenzionirane, zato bi bilo vsekakor ustrezno razmisliti o spremembi oziroma vsaj o dopolnitvi obstoječih tehničnih specifikacij. V nasprotju z debelino voziščne konstrukcije, se je za večino primerov dimenzioniranih po TSC debelina asfaltnih krovnih plasti izkazala za nižjo, od tistih dimenzioniranih po smernicah RStO 12 in AASHTO priročniku, kar bi bilo potrebno ob dopolnitvah metode upoštevati na ustrezen način.

V postopku primerjave je v obzir sicer potrebno vzeti tudi dejstvo, da so izračuni zasnovani izključno na teoretičnih osnovah in ne odražajo nujno enakega stanja kot je v praksi. Prav tako se je potrebno zavedati, da je tako v Nemčiji kot v ZDA v uporabi več različnih metod dimenzioniranja voziščnih konstrukcij. Glede na slabše stanje cest v Sloveniji in dejstvo, da se voziščne konstrukcije niso izkazale za poddimenzionirane, je na tej točki vsekakor smiselno razmisliti tudi o ustreznosti postopka izvedbe voziščnih konstrukcij ter vsekakor o ustreznosti vzdrževanja cest.

Ob pregledu in uporabi postopka dimenzioniranja v Sloveniji se lahko izpostavi nekaj osnovnih predlogov dopolnitve obstoječih tehničnih specifikacij (predlagane spremembe so informativne narave):

- Tehnične specifikacije za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij bi bilo smiselno po zgledu ostalih držav zasnovati kot enoten dokument z bolj podrobnim opisom postopka dimenzioniranja, kjer bi bili bolj natančno opisani in definirani merodajni vhodni parametri. S tem bi se doseglo boljšo preglednost samega postopka ter odpravilo nedoslednosti med specifikacijami, kot je npr. Preglednica najmanjše potrebne debeline voziščnih konstrukcij v TSC 06.520: 2009, ki se razlikuje od tiste v TSC 06.512: 2003.
- Načrtovana doba trajanja asfaltnih voziščnih konstrukcij mora biti po TSC 06.520: 2009 praviloma 20 let. Nemške smernice voziščne konstrukcije dimenzionirajo za 30-letno dobo, v ZDA pa je doba trajanja voziščne konstrukcij odvisna od pogojev ceste in je v urbanih območjih predvidena doba 30 - 50 let. Po zgledu ostalih držav bi bilo smiselno razmisliti o višji načrtovani dobi trajanja voziščne konstrukcije tudi v Sloveniji.
- Vrednosti faktorjev povečanja prometnih obremenitev v odvisnosti od načrtovane letne stopnje rasti prometa in načrtovanega trajanja so v TSC 06.511: 2009 podane s preglednico in ni na voljo enačbe, ki bi omogočala preračun faktorja za načrtovano dobo trajanja več kot 20 let. Če se vrednosti faktorjev primerja z vrednostmi, ki so določene po enačbah v nemških in

ameriških smernicah, vrednosti po TSC nekoliko odstopajo. Iz omenjenih razlogov bi bilo smiselno preveriti enačbo za določitev omenjenih faktorjev ter jo vključiti v TSC.

- Glede na podnebne spremembe, ki smo jim priča v zadnjih letih, bi bilo smiselno posodobiti Karto globin zmrzovanja, od katere je v največji meri odvisna minimalna višina zmrzlinško odporne konstrukcije.
- Klimatske in hidrološke razmere bi se lahko bolj neposredno vključilo v postopek dimenzioniranja voziščne konstrukcije, saj so sedaj upoštevane samo z vrednostjo regionalnega faktorja.
- Dimenzije voziščne konstrukcije se določijo na osnovi Diagrama za določitev dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij. Tehnične specifikacije ne navajajo podrobnosti oziroma osnov, na katerih je diagram zasnovan, ampak se potrebni debelini določi z odčitavanjem vrednosti iz diagrama. Glede na to, da je omenjeni diagram ključen za določitev končnih dimenzij plasti, bi bilo vsekakor potrebno v tehničnih specifikacijah bolj natančno definirati osnove, na katerih je diagram zasnovan oziroma glede na rezultate računskega postopka razmisliti o spremembi postopka dimenzioniranja plasti. Razmisliti bi bilo potrebno tudi o ustreznosti debelin asfaltnih krovnih plasti, ki bi se lahko izvedle v večjih dimenzijah.
- Tehnične specifikacije bi lahko po zgledu ostalih smernic vključevale priloge, v katerih bi bili vsebovani praktični primeri postopka dimenzioniranja voziščne konstrukcije.
- Razvila bi se lahko računalniška aplikacija, ki bi bila zasnovana na obstoječi metodi dimenzioniranja in bi rezultirala v bolj točnem izračunu voziščnih konstrukcij.

Glede na to, da so v cestogradbeni praksi prisotna tudi mnjenja, da bi se lahko z značilnimi standardiziranimi voziščnimi konstrukcijami poenostavilo dimenzioniranje, je za Slovenijo ena izmed možnosti tudi vpeljava standardiziranih smernic. Načrtovanje voziščnih konstrukcij se s takšnim postopkom bistveno poenostavi in je hitrejša ter cenejša, obenem pa je tudi manj prostora za napake. Obravnavana standardizirana metoda RStO 12 v magistrski nalogi se je v postopku izračuna izkazala za zelo učinkovito in z vidika rezultatov bolj ustrezno kot uporabljana metoda v Sloveniji. Vsekakor pa standardizirani postopki nimajo samo pozitivne strani, ampak je potrebno omeniti še dejstvo, da se z vpeljavo takšnih postopkov oziroma s takšnim načinom dela velikokrat zavira raziskave in razvoj tehnik.

Tako kot na vseh ostalih področjih, prihajajo tudi na področju dimenzioniranja cest vse bolj v ospredje različna programska orodja za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij. Potrebne vhodne podatke, s katerimi je omogočen izračun napetosti in deformacij, ki v voziščnih konstrukcijah nastopijo kot posledica prometne obremenitve, je potrebno dokaj podrobno definirati ter težko napovedati. V državah, kot so Nemčija in ZDA, že veliko let delujejo v tej smeri in neprestano izboljšujejo obstoječe metode ter poskušajo z vpeljavo novih, bolj natančnih metod, ki bodo rezultirale v čim bolj optimalno in ustrezno zasnovanih voziščnih konstrukcijah. V Sloveniji se žal v tej smeri ne dogaja veliko, bi pa bilo v prihodnje smiselno za zgled vzeti države, ki v tej smeri neprestano napredujejo.

Razvitost prometne infrastrukture ter ustrezno zasnovane ceste predstavljajo enega izmed temeljev napredka današnje družbe. Kot je že bilo omenjeno, je pri projektiranju in gradnji cest zato izrednega pomena posvetiti precejšnjo pozornost prav zasnovi in projektiranju voziščne konstrukcije, ki mora biti optimalno dimenzionirana. Potrebno se je zavedati, da so rezultati računskega postopka v magistrskem delu oziroma razlike v dimenzijah voziščnih konstrukcij sicer odraz uporabljenega postopka dimenzioniranja, ampak, da je ustreznost postopka v veliki meri odvisna od raziskovanja na cestogradbenem področju ter sprotne dopolnjevanju in spreminjanju obstoječih metodologij. Vsak

napredek je v veliki meri pogojen z možnostjo prilagajanja in spreminjanja, zato bi tako kot na vseh ostalih področjih, tudi na področju gradnje cest, bilo potrebno uveljavljati sprotne spremembe in stremeti k neprestanemu napredku. S tem namenom bi pristojne institucije morale vključiti strokovnjake z gradbenega področja in ustrezno ter smiselno uvesti spremembe in dopolnitve tehničnih specifikacij, ki bi se v prihodnje morale aplicirati bolj pogosto. Le na takšen način je v prihodnje možno doseči ustrezno razvito in vzdrževano cestno infrastrukturo.

VIRI

AASHTO MEPDG regional peer exchange meetings. Final technical report. 2015. Washington, D.C., U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: 429 str.

<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/dgit/hif15021.pdf> (Pridobljeno 20. 7. 2016.)

AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. 1993. Washington, D.C., American association of state highway and transportation officials: 640 str.

About AASHTO. 2016. American Association of State Highway and Transportation.

<https://www.transportation.org/#> (Pridobljeno 15. 7. 2017.)

About the Ministry. 2017. Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure.

<http://www.bmvi.de/EN/The-Ministry/Responsibilities-Structure/responsibilities-and-structure.html>

(Pridobljeno 28. 6. 2017.)

About DOT. 2015. U.S. Department Of Transportation.

<https://www.transportation.gov/mission/about-us> (Pridobljeno 15. 7. 2017.)

Our Administrations. 2017. U.S. Department Of Transportation.

<https://www.transportation.gov/administrations#FHWA> (Pridobljeno 15. 7. 2017.)

Ausschreiben von Asphaltarbeiten. 2013. Bonn, Deutscher Asphaltverband e.V.: 121 str.

https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/dav/AvA-Nachdruck-2017.pdf (Pridobljeno 4. 7. 2016.)

Bodenbehandlung Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln. 2010. Dotternhausen, Holcim Süddeutschland) GmbH: 75 str.

http://www.holcim-sued.de/fileadmin/templates/DEUB/doc/Produkte/Infoservice/Technische_Informationen/Hol_Bodenbeh_rz2_Internet4.pdf (Pridobljeno 15. 6. 2017.)

Državne ceste. 2016. Ministrstvo za infrastrukturo.

http://www.mzi.gov.si/si/delovna_podrocja/kopenski_promet/sektor_za_cest/drzavne_cest/

(Pridobljeno 26. 6. 2016.)

Christopher, B. R., Schwartz, C., Boudreau, R. 2006. Geotechnical Aspects of Pavements.

Washington, U.S. Department of transportation, Federal Highway Administration idr.: 888. str.

<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/ac.cfm> (Pridobljeno 21. 7. 2016.)

Die Technischen regelwerke. 2017. Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.

<https://www.asphalt.de/themen/technik/1-technische-regelwerke/> (Pridobljeno 10. 7. 2017.)

Equivalent single axle load. 2012. Pavia Systems Incorporation.

<http://www.pavementinteractive.org/equivalent-single-axle-load/> (Pridobljeno 21. 7. 2016.)

Guidelines for the standardization of pavement structures of traffic areas RStO 12. 2012. Edition, No. 30/2012. Cologne, Germany: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (German Road and Transportation Research Association): 51 str.

http://www.fgsv-verlag.de/catalog/_pdf-files/499_E_PDF.v.pdf (Pridobljeno 10. 7. 2016.)

Hallenbeck, M.E., Selezneva, O.I., Quinley, R. 2014. Verification, Refinement, and Applicability of Long-Term Pavement Performance Vehicle Classification. Elkridge, Maryland. Applied Research Associates, Inc.: 158 str. (Pridobljeno: 23. 6. 2017)

Martínez Díaz, M., Pérez, I. 2015. Mechanistic-empirical pavement design guide: features and distinctive elements. Journal of construction 14, 1: 32–40.

<http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v14n1/art04.pdf> (Pridobljeno 28. 7. 2016.)

Navodilo o pripravljanju in sprejemanju tehničnih specifikacij za javne ceste. 1998. Uradni list RS št. 69/1998.

<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/1998-01-3455?sop=1998-01-3455>

(Pridobljeno 28. 6. 2016.)

National transportation statistics. 2017. Washington, D.C., U.S. Department of transportation, Bureau of Transportation Statistics.

https://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov/bts/files/NTS_Entire_2017Q1.pdf (Pridobljeno 21. 7. 2017.)

O Direkciji Republike Slovenije za infrastrukturo. 2017. Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo.

http://www.di.gov.si/si/o_direkciji_rs_za_infrastrukturo/ (Pridobljeno 26. 6. 2017.)

PaveXpress. 2016. Pavia Systems Incorporation.

<http://www.pavexpressdesign.com/index.php> (Pridobljeno 1. 6. 2017.)

Pezdirc, A. 2016. Primerjava metod dimenzioniranja voziščnih konstrukcij po TSC in nemških smernicah ter izdelava kataloga voziščnih konstrukcij. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Pezdirc): 50 str.

Pravilnik o projektiranju cest. 2005. Uradni list RS št. 91/2005.

<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2005-01-3896?sop=2005-01-3896>

(Pridobljeno 26. 6. 2016.)

Present Serviceability index. 2012. Pavia Systems Incorporation.

<http://www.pavementinteractive.org/present-serviceability-index/#footnote-2> (Pridobljeno 20. 6. 2016.)

Prometne obremenitve. 2017. Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo.

http://www.di.gov.si/si/delovna_podrocja_in_podatki/ceste_in_promet/podatki_o_prometu/

(Pridobljeno 28. 5. 2017.)

Road Statistics Yearbook. 2016. Bruselj, European Union Road federation: 90 str.

<http://www.erf.be/images/Statistics/ADprint-ERFSTATS2016.pdf> (Pridobljeno 18. 6. 2017.)

Strategija razvoja prometa v Republiki Sloveniji do leta 2030. 2017. Ljubljana, Ministrstvo za infrastrukturo: 264 str.

http://www.mzi.gov.si/fileadmin/mzi.gov.si/pageuploads/DMZ/Strategija_razvoja_prometa_v_RS/Strategija_razvoja_prometa_v_RS_do_leta_2030_1.pdf (Pridobljeno 25. 8. 2017.)

Tehnične specifikacije za ceste. 2016. Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo.

http://www.di.gov.si/si/delovna_podrocja_in_podatki/ceste_in_promet/tehnice_specifikacije_za_cest_e/ (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

The BAST. 2015. Federal Highway Research Institute.

http://www.bast.de/EN/BAST/BAST_node.html (Pridobljeno 21. 7. 2017.)

The FGSV. 2016-2017. Road and Transportation Research Association (FGSV).

<http://www.fgsv.de/en/research-association.html> (Pridobljeno 21. 7. 2017.)

Traffic recorder instruction manual. 2012. Texas, Texas Department of Transportation.

<http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/tri/tri.pdf> (Pridobljeno 5. 6. 2017.)

Trucks and buses. 2012. Pavia Systems, Inc.

<http://www.pavementinteractive.org/trucks-and-buses/#refmark-2> (Pridobljeno 5. 6. 2017.)

TSC 06.100 : 2003 Kamnita posteljica in povozni plato. 2003.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_100_Kamnita_posteljica_in_povozni_plato.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

TSC 06.200 : 2003 Nevezane nosilne in obrabne plasti. 2003.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_200_Nevezane_nosilne_in_obrabne_plasti.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

TSC 06.300 / 06.410 : 2009 Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. 2009.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_300_410_2009_Smernice_in_tehnicni_pogoji_za_graditev_asfaltnih_plasti.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

TSC 06.511 : 2009 Prometne obremenitve – Določitev in razvrstitev. 2009.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_511_2009_Prometne_obremenitve_Dolocitev_in_razvrstitev.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

TSC 06.512 : 2003 Projektiranje – Klimatski in hidrološki pogoji. 2003.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_512_2003_Projektiranje_klimatski_in_hidroloski_pogoji.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

TSC 06.520: 2009 Projektiranje – Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij. 2009.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_520_2009_Projektiranje_Dimenzioniranje_novih_asfaltnih_voziscnih_konstrukcij.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

TSC 06.720 : 2003 Meritve in preiskave – Deformacijski moduli vgrajenih materialov. 2003.

http://www.di.gov.si/fileadmin/di.gov.si/pageuploads/Tehnicne_specifikacije_z_cest/TSC_06_720_2_003_Meritve_in_preiskave_Deformacijski_moduli_vgrajenih_materialov.pdf (Pridobljeno 25. 6. 2016.)

Von Quintus, H., Killingsworth, B. 1993. Design Pamphlet for the Determination of Design Subgrade in Support of the 1993 AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures. Georgetown Pike. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: 32 str.
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/97083/97083.pdf> (Pridobljeno 15. 8. 2016.)

What is Mechanistic-Empirical Design? – The MEPDG and you. 2012. Pavia Systems Incorporation.
<http://www.pavementinteractive.org/2012/10/02/what-is-mechanistic-empirical-design-the-mepdg-and-you/> (Pridobljeno 23. 7. 2016.)

WSDOT Pavement policy. 2015. Washington, Washington State Department of Transportation: 131 str.
<http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/EF9AAC9E-6323-4B09-A3D1-DD2E2C905D02/0/WSDOTPavementPolicyJune2015.pdf> (Pridobljeno 26. 7. 2016.)

Zakon o cestah (ZCes-1). 2010. Uradni list RS št. 109/2010.
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina?urlid=2010109&stevilka=5732> (Pridobljeno 26. 6. 2016.)

Zakon o Družbi za avtoceste v Republiki Sloveniji. 2010. Uradni list RS, št. 97/10 in 40/12 – ZUJF.
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2010-01-5017?sop=2010-01-5017> (Pridobljeno 26. 6. 2017.)

Zakon o javnih cestah. 2006. Uradni list RS št. 33/2006.
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2006-01-1349?sop=2006-01-1349> (Pridobljeno 26. 6. 2016.)

Zakonodaja in dokumenti. Veljavni predpisi. 2017. Ministrstvo za infrastrukturo.
http://www.mzi.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/kopenski_promet/ceste/veljavni_predpisi/ (Pridobljeno 17. 7. 2017.)

Žmavc, J. 2007. Gradnja cest: Voziščne konstrukcije, 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani in DRC, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 360 str.