

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Podiplomski program Gradbeništvo
Prometna smer

Kandidatka:

Jožica Cezar

**Nova spoznanja pri dimenzioniranju voziščnih
konstrukcij in načrtovanju sanacijskih ukrepov
na obstoječih cestah**

Magistrska naloga št. 191

Mentor:
doc. dr. Alojzij Juvanc

Somentor:
prof. dr. Janez Žmavc

Ljubljana, 1. 6. 2007

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



**MAGISTRSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER**

Kandidatka:

JOŽICA CEZAR

**Nova spoznanja pri dimenzioniranju voziščnih
konstrukcij in načrtovanju sanacijskih ukrepov
na obstoječih cestah**

Magistrsko delo št.: 191

**New disclosures at pavement and maintenance
treatment design on existent roads**

Master of Science Thesis No.: 191

Mentor:

doc. dr. Alojzij Juvanc

Predsednik komisije:

doc. dr. Marijan Žura

Somentor:

prof. dr. Janez Žmavc

Član komisije:

prof. dr. Bojan Majes

Ljubljana, 1.6.2007

Cezar, J. 2006. Nova spoznanja pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij in načrtovanju sanacijskih ukrepov na obstoječih cestah.

Magistrsko delo. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer.

POPRAVKI

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **JOŽICA CEZAR** izjavljam, da sem avtorica magistrske naloge z naslovom:
**»NOVA SPOZNANJA PRI DIMENZIONIRANJU VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ IN
NAČRTOVANJU SANACIJSKIH UKREPOV NA OBSTOJEČIH CESTAH«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z magistrsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 18. maj 2007

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji prometne smeri:

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.7/.8:656.1:691.16(043.3)
Avtor:	Jožica Cezar
Mentor:	doc. dr. Alojzij Juvanc
Somentor:	prof. dr. Janez Žmavc
Naslov:	Nova spoznanja pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij in načrtovanju sanacijskih ukrepov na obstoječih cestah
Obseg in oprema:	153 str., 18 pregl., 23 graf., 31 sl., 32 en., 1 pril.
Ključne besede:	dimenzioniranje, asfaltna voziščna konstrukcija, nosilnost, lastnosti voznih površin, meritve, asfalt, sanacijski ukrep, novogradnja, ojačitev, utrujanje

Izvleček

Na področju dimenzioniranja voziščnih konstrukcij in načrtovanja sanacijskih ukrepov na obstoječih cestah v Sloveniji je bil v zadnjih letih dosežen pomemben napredek. Z meritvami kontinuirano spremljamo stanje voznih površin in voziščnih konstrukcij in na cestah s primerljivimi stanjem poškodovanosti (utrujanjem voziščnih konstrukcij) načrtujemo podobne sanacijske ukrepe. Bistvena spoznanja, ki izhajajo iz večletnih izkušenj na področju dimenzioniranja in načrtovanja sanacijskih ukrepov, so strnjena v pričujočem delu.

Naloga je vsebinsko razdeljena na dva dela. V prvem delu so podane osnove za določanje dimenzij voziščnih konstrukcij in kriteriji za določanje posameznih lastnosti vozne površine, ki so hkrati osnova za določevanje optimalnih sanacijskih ukrepov.

V drugem delu so na osnovi določenih testnih polj in izvedenih meritev vozne površine, odvzetih asfaltnih izvrtin in izvedenih laboratorijskih preiskav za posamezne lastnosti asfaltnih zmesi analizirane povezave med utrujanjem asfaltnih plasti in stanjem poškodovanosti.

Podrobnejša obrazložitev posameznih faz dela:

- **Opredelitev in predstavitev osnov za določitev dimenzij voziščne konstrukcije:**
 - prometna obremenitev
 - nosilnost podlage - geološke razmere
 - lastnosti in kvaliteta vgrajenih materialov
 - klimatski in hidrološki pogoji.

- Za določitev primerne sanacijskega ukrepa so pomembni podatki o lastnostih vozne površine, kot je:
 - poškodovanost vozišča,
 - podajnost,
 - prečna ravnost,
 - vzdolžna ravnost in
 - torna sposobnost.
- Navedene lastnosti ugotavljamo z meritvami vozni površin in ocenjujemo po kriterijih, ki so za posamezno lastnost vozne površine v odvisnosti od prometa določeni v obstoječi tehnični regulativi (TSC, Tehničnih specifikacijah za javne ceste). Poškodbe vozne površine za zagotavljanje ustrezne varnosti in prevoznosti lahko hitro saniramo z uveljavljenimi ukrepi rednega vzdrževanja.
- Pri večjih sanacijskih ukrepih, uveljavljenih v sklopu investicijskega vzdrževanja, lahko predvsem z meritvami nosilnosti voziških konstrukcij s FWD (Falling Weight Deflectometer) poleg podajnosti voziščne konstrukcije pridobimo koristen podatek o nosilnosti temeljnih tal, ki ga lahko privzamemo za določitev potrebne debeline ojačitve na obstoječih cestah.
- Postopki določitev dimenzij voziščne konstrukcije so različni za novogradnje in za obstoječe voziščne konstrukcije. Pri obstoječih voziščih je potrebno na osnovi izvedenih meritev lastnosti vozni površin oceniti stanje obstoječega vozišča in redukcijske faktorje za količnike ekvivalentnosti vgrajenih materialov. Iz tega izhaja cilj in praktični namen magistrske naloge, da se na osnovi odvzetih vzorcev iz asfaltnih vrtn na različno poškodovanih testnih odsekih (glede na meritve vozni površin - stanje obstoječega vozišča) analizirajo povezave med faktorji ekvivalentnosti in stanjem voziščne konstrukcije.
- V ta namen so bila določena testna polja, na katerih so bili pridobljeni podatki o lastnostih pred 18 do 20 leti v voziščne konstrukcije vgrajenih asfaltnih zmesi. Ti odseki so obremenjeni z različnimi prometnimi obremenitvami in imajo danes različno stanje poškodovanosti oziroma utrujenosti vozišča in/ali voziščne konstrukcije. Na odvzetih vzorcih asfaltnih zmesi (bitumenskih betonih in bituminiziranih drobljencih) iz vrtn (14 vzorcev) na teh istih odsekih so bile - glede na trenutno stanje in starost - ponovno preverjene lastnosti asfaltnih zmesi, kot so stabilnost, delež bitumna, votlavost, zapolnjenost z bitumnom idr. za ugotovitev utrujenosti. Z utrujenostjo v odnosu novo/trenutno stanje je bilo mogoče določiti oziroma primerjati količnike poškodovanosti in podati nekatere ugotovitve.
- Rezultat dimenzioniranja je predlog ukrepov. Najpogosteje uporabljeni sanacijski ukrepi, ki se izvajajo v sklopu del investicijskega vzdrževanja, so za posamezne primere in v odvisnosti od zgoraj navedenih osnov, lastnosti vozne površine in lokalnih pogojev, podrobno predstavljeni.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 625.7/.8:656.1:691.16(043.3)
- Author:** Jožica Cezar
- Supervisor:** doc. dr. Alojzij Juvanc
- Co-Supervisor:** prof. dr. Janez Žmavc
- Title:** New disclosures at pavement and maintenance treatment design on existent roads
- Notes:** 153 p., 18 tab., 23 graph., 31 fig., 32 eq., 1 ann.
- Key words:** pavement design, asphalt pavement, bearing capacity, pavement properties, measurement, asphalt, maintenance treatment, new construction, strengthening, fatigue

Abstract

In the field of pavement design and maintenance treatment design on existent roads a significant progress was achieved in Slovenia in recent years. Condition of pavement surfaces and structures is continuously monitored and on roads with comparable deterioration (fatigue) similar maintenance treatments are designed. Essential knowledge, arising from years of experience in the field of pavement design and maintenance treatment design, are brought together in this work.

The work is divided in two parts. In the first part basic elements for pavement design are presented and criteria for pavement properties determination, which are the base for optimum maintenance treatment design, are defined.

In the second part the relationship between fatigue and pavement deterioration, which are determined on the base of specific test fields, pavement properties measurement, asphalt bores and laboratory tests for different properties of asphalt mixes, is analysed.

Detailed explanation of individual phases of this work:

- Definition and presentation of pavement design elements:
 - traffic loading
 - bearing capacity of sub-base – geological condition
 - properties and quality of built in materials
 - climatic and hydrologic conditions.

- For determination of adequate maintenance treatment the next pavement properties are important:
 - pavement deterioration,
 - deflection,
 - transverse evenness,
 - longitudinal evenness and
 - skid resistance.
- Listed properties are determined with measurements and surveys, taking into account criteria, defined in existent technical regulation (TSC, Technical specification for public roads) in dependence of traffic for individual pavement property. Pavement defects can easily be improved with well established routine maintenance treatments for assurance of road safety.
- At major maintenance treatments, well established among investment maintenance treatments, valuable information about deflections and bearing capacity of sub-base can be assessed with FWD (Falling Weight Deflectometer) bearing capacity measurements, which can be used for needed thickness of reinforcement determination on existent roads.
- Pavement design procedures are different for new constructions and for existent roads. For existent roads the condition of pavement and corresponding reduction factors of equivalent material coefficients must be assessed, taking into account measured pavement properties. From these the aim and practical purpose of this master thesis arose, which are analysis of relationship between equivalent factors and pavement structure condition, examined on asphalt bore samples on distinctly deteriorated test fields (established with pavement measurements – pavement condition).
- For this purpose several test fields were chosen, on which pavement properties data of built in asphalt mixes from before 18 to 20 years were gathered. Those test fields are loaded with different traffic loadings and are differently deteriorated/fatigued today. On samples of asphalt mixes (surface and base asphalt concretes) from bores (14 samples), taken on those same test fields, properties of asphalt mixes were checked once again for stability, bitumen content, voids, voids, filled with bitumen etc. for fatigue determination, according to actual condition and age. With fatigue relationship between new/actual condition quotients of deterioration could be determined or compared and some findings could be reached.
- The result of pavement design is the treatment suggestion. The most used treatments among investment maintenance treatments are presented in detail for individual cases in dependence of earlier stated basis, pavement properties and local conditions.

*Zakoni so kot pajčevina;
mušice se zapletejo vanjo in poginejo,
velike muhe pa jo raztrgajo.*

Anaharsis

ZAHVALA

Za številne konzultacije, pomoč, nasvete in usmerjanje pri nastajanju naloge se iskreno zahvaljujem prof. dr. Janezu Žmavcu. Brez njegovega vztrajanja in vzpodbujanja tega dela ne bi bilo. Hvala za vse kritike in pohvale.

Zahvala tudi mentorju dr. Juvancu za njegove koristne napotke in predloge v času nastajanja magistrske naloge.

Zahvaljujem se Zvonetu Britovšku, ki mi je za praktični del naloge omogočil odvzem vzorcev, meritve in laboratorijske preiskave in mi tudi drugače pomagal z nasveti.

Hvala kolegici in sodelavki Jani Jamnik za vse strokovne prevode, prijateljici Barbari pa za končni pregled.

Zahvaljujem se mojim sodelavcem in družbi DDC svetovanje, inženiring, ki mi je omogočila delo na zanimivih projektih, kjer sem lahko širila svoje strokovno znanje.

Posebna hvala Borisu in mojim najdražjim za vse vzpodbude, potrpežljivost in zaupanje.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	V
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION.....	VII
KAZALO VSEBINE.....	X
KAZALO PREGLEDNIC.....	XIV
KAZALO GRAFIKONOV.....	XVI
KAZALO SLIK.....	XVIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	XXI

1 UVOD.....	1
2 OSNOVE ZA DOLOČITEV DIMENZIJ VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ.....	3
2.1 Prometne obremenitve	6
2.2 Lastnosti v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov	9
2.3 Nosilnost podlage voziščnih konstrukcij (geološke razmere).....	14
2.4 Vplivi klime in hidroloških pogojev	21
3 LASTNOSTI VOZNIH POVRŠIN	23
3.1 Poškodbe vozne površine.....	23
3.1.1 Opis	23
3.1.2 Meritve	24
3.1.3 Vrednotenje poškodovanosti vozne površine	27
3.2 Podajnost voziščne konstrukcije	28
3.2.1 Opis	28
3.2.2 Meritve	28
3.2.2.1 Meritve podajnosti z deflektografom Lacroix	29
3.2.2.2 Meritve podajnosti z deflektometrom FWD	34
3.2.3 Vrednotenje podajnosti	37
3.3 Prečna ravnost	38
3.3.1 Opis	38
3.3.1.1 Vplivi neravnin na varnost vožnje	40
3.3.1.2 Vplivi neravnin na udobnost vožnje	40
3.3.2 Meritve	41

3.3.2.1	Merilna letev	42
3.3.2.2	Profilograf	43
3.3.3	Vrednotenje prečne ravnosti	44
3.3.4	Ukrepi za zagotovitev ustrezne prečne ravnosti	45
3.4	Vzdolžna ravnost	48
3.4.1	Opis	48
3.4.2	Meritve	48
3.4.3	Vrednotenje vzdolžne ravnosti	51
3.5	Torna sposobnost	51
3.5.1	Opis	51
3.5.2	Meritve	52
3.5.3	Vrednotenje torne sposobnosti	55
3.5.4	Ukrepi za zagotovitev ustrezne torne sposobnosti	56
3.5.5	Hidroplaning	57
3.6	Hrupnost	59
3.6.1	Opis	59
3.6.1.1	Hrapavost	59
3.6.1.2	Votlavost	59
3.6.1.3	Obrabne plasti za zmanjšanje hrupa	61
3.6.2	Meritve	61
3.6.3	Vrednotenje hrupnosti	62
4	POSTOPKI ZA DOLOČITEV DIMENZIJ VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ	63
4.1	Določitev dimenzij novih asfaltnih voziščnih konstrukcij	63
4.1.1	Splošno	63
4.1.2	Postopek določanja	64
4.1.3	Osnovne vrste asfaltnih voziščnih konstrukcij	66
4.1.3.1	Asfaltna krovna plast	67
4.1.3.2	Spodnja vezana nosilna plast	67
4.1.3.3	Spodnja nevezana nosilna plast	68
4.1.4	Postopna izgradnja	69
4.2	Določitev ojačitev obstoječih voziščnih konstrukcij	69
4.2.1	Splošno	69
4.2.2	Postopki za dimenzioniranje ojačitev	70
4.2.2.1	Določitev na osnovi ocene stanja	70
4.2.2.2.1	Stanje voziščne konstrukcije	71
4.2.2.2.2	Preostala uporabna vrednost materiala - količniki poškodovanosti	71

4.2.2.2	<i>Določitev na osnovi podajnosti</i>	73
4.2.2.1.1	<i>Določitev na osnovi diagrama</i>	75
4.2.2.1.2	<i>Numerična določitev</i>	76
4.2.2.3	<i>Analitični postopki</i>	77
5	VRSTE IN LASTNOSTI VGRAJENIH ASFALTNIH ZMESI	78
5.1	Splošno	78
5.2	Plasti v asfaltni voziščni konstrukciji	78
5.2.1	Vezane zgornje nosilne in nosilnoobrabne plasti	79
5.2.2	Vezane spodnje nosilne plasti	80
5.2.3	Nevezane nosilne plasti	81
6	VRSTE SANACIJSKIH UKREPOV	83
6.1	Redno vzdrževanje	83
6.1.1	Zalivanje razpok	84
6.1.2	Krpanje udarnih jam in poškodb na asfaltnih voziščih	84
6.1.3	Popravilo izrazitih neravnin in kolesnic	85
6.1.4	Vzdrževanje betonskih vozišč	87
6.2	Gradbeno vzdrževanje	87
6.2.1	Preplastitev in ojačitev	87
6.2.2	Lokalne sanacije	89
6.2.3	Postopek "sendvič"	89
6.2.4	Recikliranje	90
6.2.5	Obnova	91
6.2.6	Rezkanje	95
7	PRAKTIČNI PRIMERI UTRUJANJA MATERIALOV NA POSAMEZNIH TESTNIH ODSEKIH	97
7.1	Osnovne preiskave asfaltnih zmesi in bitumnov	98
7.2	Lokacije in opisi testnih odsekov	101
7.2.1	Odsek R2-430/0278 Tepanje - Slovenske Konjice	103
7.2.2	Odsek R2-447/0290 Šentrupert - Ločica	107
7.2.3	Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice- Žiče	110
7.2.4	Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče	113
7.2.5	Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče	116
7.2.6	Odsek R2-431/1350 Zgornji Dolič - Stranice	119
7.2.7	Odsek R2-431/1350 Zgornji Dolič - Stranice	122
7.2.8	Odsek G2-107/1274 Celje - Šentjur	126
7.2.9	Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje	130
7.2.10	Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje	134

7.3	Analiza rezultatov	137
7.3.1	Bitumenski betoni	137
7.3.1.1	<i>Lastnosti bitumna</i>	137
7.3.1.2	<i>Lastnosti asfaltne zmesi</i>	139
7.3.1.3	<i>Lastnosti vozne površine</i>	141
7.3.2	Bituminizirani drobljenci	143
7.3.2.1	<i>Lastnosti bitumna</i>	143
7.3.2.2	<i>Lastnosti asfaltne zmesi</i>	145
8	ZAKLJUČKI	147
8.1	Izkušnje iz praktičnih primerov	147
8.1.1	Splošno	147
8.1.2	Preiskave bitumnov in asfaltnih zmesi	148
8.1.3	Značilnosti vozni površin	148
8.2	Usmeritve za nadaljnje delo	149
VIRI	150
PRILOGA	154

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Izmerjene vrednosti deformacijskih modulov in količnikov CBR po posameznih testnih odsekih <i>Measured values of deformation modulus and CBR values for individual test sections</i>	18
Preglednica 2:	Povprečne vrednosti modulov elastičnosti za posamezne plasti v voziščni konstrukciji <i>Average values of elastic modulus for individual pavement layers</i>	37
Preglednica 3:	Testni odseki za preverjanje utrujanja bitumenskih betonov <i>Test sections for fatigue checks on Asphalt Concrete – surface (AC_{surf})</i>	101
Preglednica 4:	Testni odseki za preverjanje utrujanja bituminiziranih drobljencev <i>Test sections for fatigue checks on Asphalt Concrete – base (AC_{base})</i>	102
Preglednica 5:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 1 <i>AC_{surf} properties on test section 1</i>	105
Preglednica 6:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 1 <i>AC_{base} properties on test section 1</i>	106
Preglednica 7:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 2 <i>AC_{surf} properties on test section 2</i>	109
Preglednica 8:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 3 <i>AC_{surf} properties on test section 3</i>	112
Preglednica 9:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 4 <i>AC_{surf} properties on test section 4</i>	115
Preglednica 10:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 5 <i>AC_{surf} properties on test section 5</i>	118
Preglednica 11:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 6 <i>AC_{base} properties on test section 6</i>	121
Preglednica 12:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 7 <i>AC_{surf} properties on test section 7</i>	124
Preglednica 13:	Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 7 <i>AC_{base} properties on test section 7</i>	125

Preglednica 14: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 8 <i>AC_{surf} properties on test section 8</i>	128
Preglednica 15: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 8 <i>AC_{base} properties on test section 8</i>	129
Preglednica 16: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 9 <i>AC_{surf} properties on test section 9</i>	132
Preglednica 17: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 9 <i>AC_{base} properties on test section 9</i>	133
Preglednica 18: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 10 <i>AC_{surf} properties on test section 10</i>	136

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Povezave med elastičnimi moduli in količnikom CBR (na osnovi podatkov iz preglednice 1) <i>Correlations between Elastic Modulus and CBR value (basing on data from Table 1)</i>	20
Grafikon 2:	Ugotovljena povezava med količnikom CBR in modulom $E_{3(FWD)}$ <i>Determined correlation between CBR value and $E_{3(FWD)}$ modulus</i>	20
Grafikon 3:	Vrednosti emisij hrupa za različne obrabne plasti pri različnih hitrostih vožnje <i>Noise emission values for different wearing courses at various driving speeds</i>	62
Grafikon 4:	Vrednosti penetracije bitumenskih betonov na posameznih vzorcih <i>Penetration values of asphalt concretes for individual samples</i>	137
Grafikon 5:	Vrednosti zmečičišča bitumenskih betonov na posameznih vzorcih <i>Softening point values of asphalt concretes for individual samples</i>	137
Grafikon 6:	Vrednosti pretrgališča bitumenskih betonov na posameznih vzorcih <i>Fraas breaking points of asphalt concretes for individual samples</i>	138
Grafikon 7:	Deleži bitumna v bitumenskih betonih na posameznih vzorcih <i>Bitumen contents in asphalt concretes for individual samples</i>	138
Grafikon 8:	Debeline plasti bitumenskih betonov na posameznih vzorcih <i>Layer thicknesses of asphalt concretes for individual samples</i>	140
Grafikon 9:	Vsebnosti votlin v asfaltni zmesi bitumenskega betona na posameznih vzorcih <i>Voids contents in asphalt concretes for individual samples</i>	140
Grafikon 10:	Zapolnjenosti votlin v kamenu zmesi z bitumnom v bitumenskih betonih na posameznih vzorcih <i>Voids filled with bitumen in mineral aggregate in asphalt concretes for individual samples</i>	140
Grafikon 11:	Vsebnosti votlin v vgrajeni asfaltni plasti bitumenskih betonov na posameznih vzorcih <i>Voids contents in asphalt concretes layer for individual samples</i>	141

Grafikon 12:	Stopnje zgostitev bitumenskih betonov na posameznih vzorcih <i>Rate of compaction of asphalt concretes for individual samples</i>	141
Grafikon 13:	Vrednosti količnikov SN (torne sposobnosti) na posameznih testnih poljih <i>Skid resistance coefficients SN for individual test fields</i>	142
Grafikon 14:	Vrednosti podajnosti na posameznih testnih poljih <i>Deflections for individual test fields</i>	142
Grafikon 15:	Vrednosti penetracije bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih <i>Penetration values of base asphalt concretes for individual samples</i>	143
Grafikon 16:	Vrednosti zmečičišča bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih <i>Softening point values of base asphalt concretes for individual samples</i>	143
Grafikon 17:	Vrednosti pretrgališča bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih <i>Fraas breaking points of base asphalt concretes for individual samples</i>	144
Grafikon 18:	Deleži bitumna v bituminiziranih drobljencih na posameznih vzorcih <i>Bitumen contents in base asphalt concretes for individual samples</i>	144
Grafikon 19:	Debeline vgrajenih plasti bituminiziranih drobljencev <i>Layer thicknesses of base asphalt concretes</i>	145
Grafikon 20:	Vsebnosti votlin v zmesih bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih <i>Voids contents in base asphalt concretes for individual samples</i>	145
Grafikon 21:	Zapoljenosti votlin v kameni zmesi z bitumnom v bituminiziranih drobljencih na posameznih vzorcih <i>Voids filled with bitumen in mineral aggregate in base asphalt concretes for individual samples</i>	146
Grafikon 22:	Vsebnosti votlin v vgrajenih asfaltnih plasteh bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih <i>Voids contents in base asphalt concrete layers for individual samples</i>	146
Grafikon 23:	Stopnje zgostitve v zmesi bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih <i>Rates of compaction of base asphalt concretes for individual samples</i>	146

KAZALO SLIK

Slika 1:	Izvedba meritev nosilnosti podlage z dinamično ploščo <i>Bearing capacity measurements on sub-base with Dynamic plate</i>	14
Slika 2:	Merilna oprema za določitev količnika CBR v laboratoriju <i>Measuring equipment for determination of CBR value in laboratory</i>	15
Slika 3:	Merilna oprema FWD, Deflektometer s padajočo utežjo <i>Measuring device FWD, Falling Weight Deflectometer</i>	16
Slika 4:	Primer izvajanja meritev nosilnosti z obremenitvijo na krožno ploščo z merilno opremo FWD <i>Bearing capacity measurements with FWD, circular plate loading</i>	35
Slika 5:	Sprotno izpisovanje izmerjenih vrednosti podajnosti (defleksij) na terenu <i>Measured deflections on test field</i>	36
Slika 6:	Oprema za meritve vzdolžne ravnosti vozne površine - ZAG VP Vzdolžni profilometer <i>Longitudinal evenness measuring equipment - ZAG VP Longitudinal Profilometer</i>	49
Slika 7:	Primer prikaza meritev vzdolžne ravnosti <i>Longitudinal evenness measurements</i>	50
Slika 8:	Odvzem asfaltnih jeder na testnem odseku <i>Asphalt boring on test section</i>	97
Slika 9:	Odvzeti vzorci v laboratoriju <i>Asphalt boreholes in laboratory</i>	97
Slika 10:	Marshall stiskalnica za določitev sile zlepljenosti (laboratorij CM Celje) <i>Marshall press for determination of binding force</i>	100
Slika 11:	Primer ločene asfaltne izvrtine za nadaljnje preiskave na BB in BD (po poružitvi) <i>Example of separated borehole after destruction, for further investigation on AC_{surf} and AC_{base}</i>	100
Slika 12:	Odsek R2-430/0278 Tepanje - Slovenske Konjice: testni odsek 1 <i>Section R2-430/0278 Tepanje - Slovenske Konjice: test section 1</i>	103

Slika 13:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 1 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 1</i>	104
Slika 14:	Odsek R2-447/0290 Šentrupert - Ločica: testni odsek 2 <i>Section R2-447/0290 Šentrupert - Ločica: test section 2</i>	107
Slika 15:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 2 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 2</i>	108
Slika 16:	Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: testni odsek 3 <i>Section R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: test section 3</i>	110
Slika 17:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 3 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 3</i>	111
Slika 18:	Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: testni odsek 4 <i>Section R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: test section 4</i>	113
Slika 19:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 4 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 4</i>	114
Slika 20:	Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: testni odsek 5 <i>Section R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: test section 5</i>	116
Slika 21:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 5 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 5</i>	117
Slika 22:	Odsek R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: testni odsek 6 <i>Section R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: test section 6</i>	119
Slika 23:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 6 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 6</i>	120
Slika 24:	Odsek R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: testni odsek 7 <i>Section R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: test section 7</i>	122
Slika 25:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 7 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 7</i>	123
Slika 26:	Odsek G2-107/1274 Celje - Šentjur: testni odsek 8 <i>Section G2-107/1274 Celje- Šentjur: test section 8</i>	126
Slika 27:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 8 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 8</i>	127
Slika 28:	Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje: testni odsek 9 <i>Section G1-5/0370 Medlog - Celje: test section 9</i>	130

Slika 29:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 9 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 9</i>	131
Slika 30:	Odsek G1-5/370 Medlog - Celje: testni odsek 10 <i>Section G1-5/0370 Medlog - Celje: test section 10</i>	134
Slika 31:	Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 10 <i>Pavement condition at the place of boring: test section 10</i>	135

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

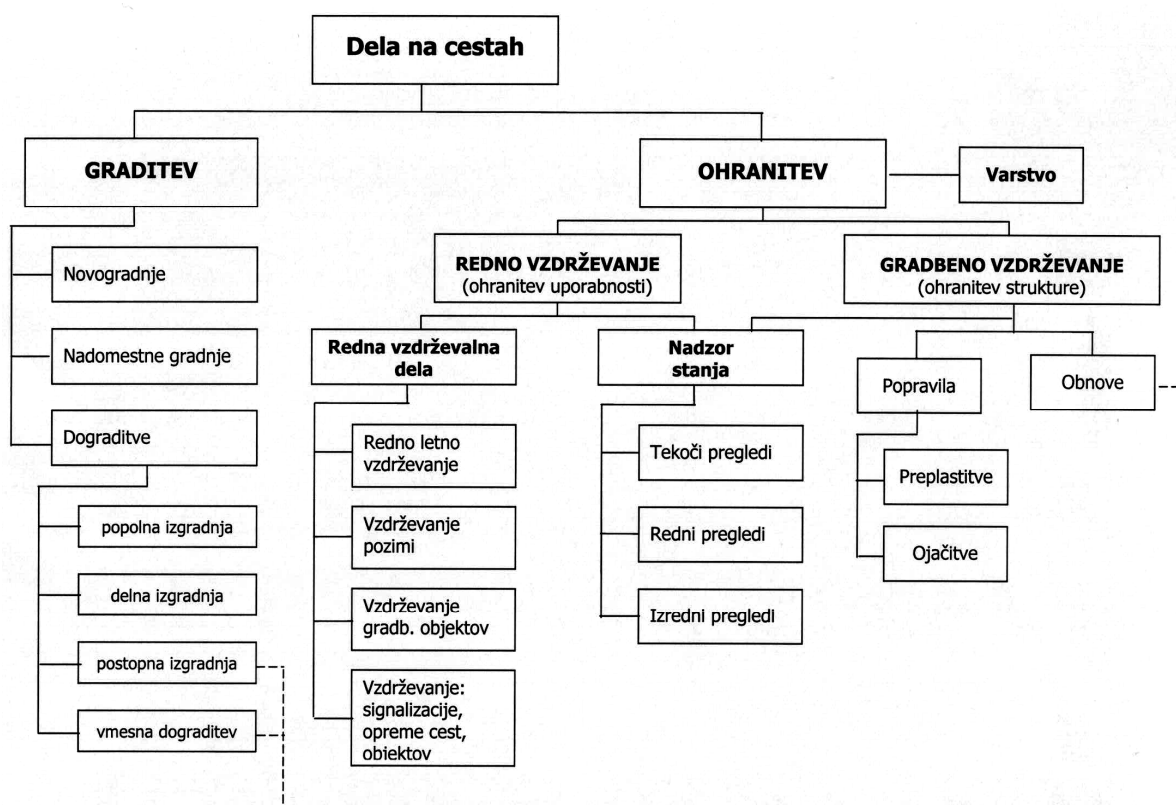
AASHO	American Association of State Highway Officials
BB	Bitumenski beton
BD	Bituminizirani drobljenec
CBR	California Bearing Ratio
DRSC	Direkcija Republike Slovenije za ceste
d_{FWD}	Izmerjena podajnost voziščne konstrukcije s FWD
FWD	Falling Weight Deflectometer
IRI	International Roughness Index
MSI	Modificirani Švicarski Indeks
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
PO	Prometna obremenitev
PŽD	Preostala življenjska doba
SN	Koeficient drsnega trenja
TSC	Tehnična specifikacija za javne ceste

1 UVOD

Opredelitev področja in opis problematike

Za zagotovitev z zakonom pogojenih značilnosti cest je treba vse vplive nanje ustrezno upoštevati tako pri novogradnjah kot tudi pri delih za ohranitev že zgrajenih cest - sanacijskih ukrepih. Z vidika strokovnosti bodo doseženi optimalni rezultati, če bomo v podobnih pogojih načrtovali podobne ukrepe. Glede na številne različne vplive je takšne ukrepe mogoče zagotoviti z določitvijo ustreznih novih voziščnih konstrukcij in ukrepov za popravilo oziroma ohranitev obstoječih. Osnovne vrste ukrepov v sklopu gradbenega vzdrževanja na cestah lahko opredelimo kot preplastitev oziroma ojačitev, lokalne sanacije, postopek »sendvič«, recikliranje, obnovitev in rezkanje.

V sklop rednega vzdrževanja pa sodijo predvsem ukrepi na voznih površinah, kot so zalivanje razpok, krpanje udarnih jam in poškodb, popravilo izrazitih neravnin in kolesnic idr.



Razvrstitev del na cestah (Povzeto po: DRSC, TSC 08.311/1, 2003, str. 39)

Osnova za izbiro ukrepa je dimenzioniranje, pri katerem je potrebno poleg prometnih zahtev v prihodnosti upoštevati tudi kvaliteto materialov v posteljici in podlagi, lastnosti in kvaliteto vgrajenih materialov ter klimatske in hidrološke vplive.

Postopki za določitev potrebnih dimenzij voziščnih konstrukcij so zasnovani na metodi AASHO testa in podrobno opredeljeni v veljavni tehnični regulativi TSC, tehničnih specifikacija za javne ceste, pri čemer je za dobro načrtovanje potrebno čimboljše poznavanje vseh potrebnih parametrov - dejanskih razmer.

Namen in cilj naloge

Postopki določitev dimenzij voziščne konstrukcije so različni za novogradnje in za obstoječe voziščne konstrukcije. Pri obstoječih voziščih je potrebno na osnovi izvedenih meritev lastnosti voznih površin oceniti stanje obstoječega vozišča in podati redukcijske faktorje za količnike ekvivalentnosti vgrajenih materialov.

Iz tega izhaja cilj oziroma empirični del magistrske naloge, da se na osnovi odvzetih vzorcev iz asfaltnih vrtin na različno poškodovanih testnih odsekih (glede na meritve voznih površin) in pridobljenih podatkov o lastnostih materialov v vgrajenih asfaltnih zmesih ugotovi stopnja utrujanja po projektirani dobi trajanja. Ta pomeni razmerje po vgraditvi (novo stanje) in sedaj med lastnostmi bitumna in vgrajenih asfaltnih zmesi.

V ta namen so bila določena testna polja, na katerih so bili pridobljeni podatki o lastnostih pred 18 do 20 leti v voziščne konstrukcije vgrajenih asfaltnih zmesi. Ti odseki so obremenjeni z različnimi prometnimi obremenitvami in imajo danes različno stanje poškodovanosti oziroma utrujenosti vozišča in/ali voziščne konstrukcije. Na odvzetih vzorcih asfaltnih zmesi (bitumenskih betonih in bituminiziranih drobljencih) iz vrtin (14 vzorcev) na teh istih odsekih so bile - glede na trenutno stanje in starost - ponovno preverjene lastnosti asfaltnih zmesi, kot so stabilnost, delež bitumna, votlavost, zapolnjenost z bitumnom idr. za ugotovitev utrujenosti. Z utrujenostjo v odnosu novo/trenutno stanje je bilo mogoče določiti oziroma primerjati količnike poškodovanosti in podati nekatere ugotovitve in zaključke.

Raziskovalne hipoteze in zaključki

Glede na raziskovalno področje sem v začetku naloge hipotetično predpostavila, da sedanja tehnična regulativa zajema vsa strokovna spoznanja na področju dimenzioniranja, da so posamezne zahteve za kakovost asfaltnih zmesi in bitumnov primerne ter da veljavna tehnična regulativa zajema postopke meritev posameznih lastnosti voznih površin in ustrezno vrednotenje le-teh.

Rezultati izvedene raziskave so v splošnem potrdili prvo, drugo in tretjo hipotezo.

Uporabljena metoda in instrumenti raziskave

Prvi - teoretični - del naloge temelji na znanstveno deskriptivni metodi raziskovanja, ki obsega študij literature, strokovnih gradiv, obstoječe tehnične regulative in standardov, ki je podrobneje navedena v poglavju »Viri«. Na podlagi metode kompilacije so v teoretičnem

delu povzete ugotovitve in stališča različnih avtorjev, ki so predhodno raziskovali to strokovno področje.

Drugi del je praktični del naloge, ki je pripravljen na podlagi empirično - eksplikativne in delno tudi kavzalne metode, s katero sem ugotavljala skladnost zahtev iz obstoječe tehnične regulative in preveritev različnih vplivnih faktorjev, ki jih upošteva dimenzioniranje voziščnih konstrukcij na praktičnih primerih (testnih poljih).

Empirični del naloge je izveden na podlagi raziskave, ki je bila izvedena v času od oktobra 2006 do maja 2007 na območju Štajerske regije in je obsegala naslednje postopke oz. korake:

- zbiranje podatkov (poročila o laboratorijskih preiskavah o vgrajenem stanju, projektna dokumentacija, terenski podatki,)
- določitev testnih polj in mest odvzema asfaltnih jeder
- izvedbo meritev nekaterih lastnosti voznih površin
- izvedbo osnovnih preiskav bitumnov, asfaltnih zmesi in asfaltnih plasti
- obdelavo in analizo vzorcev ter pripadajočih podatkov (tabelarično, grafikoni, sistematično ...) ter
- interpretacijo rezultatov in podajo zaključkov.

2 OSNOVE ZA DOLOČITEV DIMENZIJ VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ

Material, vgrajen v voziščno konstrukcijo in njeno podlago, se prične spreminjati in/ali utrujati, kakor hitro je izpostavljen zunanjim obremenitvam. Na cestah so to prometne in klimatske obremenitve. Prometna obremenitev izzove tlačno in natezno napetost v voziščni konstrukciji, predvsem v asfaltnih plasteh, kar posledično povzroča njihovo obrabo in zglajenost, pride pa lahko tudi do trajne preoblikovanosti in razpok (mrežnih, prečnih,...). Vremenske obremenitve povzročajo napetosti predvsem v mikroobsegu asfaltnih krovnih plasti, gre pa predvsem za preoblikovanja in razpoke, ki nastajajo zaradi zmrzovanja in staranja veziva.

Naloga dimenzioniranja voziščne konstrukcije je, da na podlagi podatkov o prometni obtežbi in lastnostih temeljnih tal, predvsem njihove podajnosti, določimo potrebno debelino voziščne konstrukcije. Pri dimenzioniranju voziščne konstrukcije pa lahko naletimo na nekatere teoretične in kasneje tudi praktične probleme.

Teoretični problemi nastanejo predvsem takrat, ko se geotehnične lastnosti temeljnih tal pogosto menjajo na zelo kratkih razdaljah in je pri takšni nehomogenosti včasih zelo težko te, deloma elastične in deloma plastične lastnosti analitično in tehnično prikazati in obvladati kljub uporabi teorije elastičnosti. Praktični problemi pa se pojavljajo pri izvedbi gradbenih detajlov, ker je tudi v teh primerih problematika zaradi nehomogenosti temeljnih tal lahko zelo zahtevna.

Med najbolj značilnimi spoznanji razvoja na področju cestogradnje je nedvomno načelo, da je potrebno podlago in utrditev ceste za sodobni promet načrtovati z maksimalno stabilnostjo in varnostjo. Ta zahteva je upravičena že zaradi tega, ker so tako temeljna tla kot tudi voziščna konstrukcija izpostavljeni ne samo statičnim in dinamičnim vplivom prometne obremenitve, ampak tudi neugodnemu učinkovanju podnebja in vode (klimatskim in hidrološkim pogojem).

Pri proučevanju vseh teh številnih vplivnih faktorjev se je pokazalo, da samo teoretične metode ne morejo vselej zajeti vseh dejavnikov, ki vplivajo na obstojnost voziščne konstrukcije, še posebej, če gre za upoštevanje trajnosti voziščne konstrukcije. Nekatere vplive in dejavnike namreč zelo težko izrazimo v matematični obliki. Prav zato so se vzporedno s teoretičnimi metodami načrtovanja voziških konstrukcij razvile tudi mnoge praktične metode, ki z oblikovanjem podatkov in izkušnjami, pridobljenimi na terenu, poskušajo kar v največji meri odpraviti to njihovo pomanjkljivost.

Podatki, ki jih pridobimo na terenu, morajo biti zbrani in obdelani sistematično, za vsak primer voziščne konstrukcije posebej. Najbolj pomembni so prav gotovo podatki, ki zajemajo izkušnje iz tehnologije materialov, tehnologije gradnje voziščne konstrukcije in velikosti obremenitev.

Posebej je potrebno izpostaviti podatke o materialih, ki jih imamo na razpolago in ki jih v pogledu kakovosti ne moremo natančno razvrstiti v skupine z enakimi lastnostmi niti pred niti po predelavi. Bistvene značilnosti cestogradbenih materialov, kot so trajna enakomernost, istovrstnost in enake lastnosti, so lahko samo predpostavljene, in jih le izjemoma lahko v celoti prevzamemo.

Osnovni cilj načrtovanja voziščne konstrukcije je optimalno sestaviti cestno telo iz različnih materialov, tako da bo sposobno v nekem časovnem obdobju prevzeti predvidene obremenitve brez večjih deformacij in poškodb na voziščni konstrukciji.

Za načrtovanje voziških konstrukcij je najbolj primerno kombinirati način načrtovanja s praktičnim (empiričnim) postopkom, nato pa še s teoretičnim postopkom (računalnikom) preveriti napetosti, ki se v konstrukciji pojavijo v predvidenih, oziroma danih pogojih uporabe.

Pri uporabi računalniških programov je potrebno vedeti, da vsi rezultati in analize temeljijo na točnosti vhodnih podatkov in časovno odvisnih modulih (prometa, temperature, spreminjanja togosti materialov...), ki pa jih je zelo težko napovedati oziroma jih pogosto ni na razpolago.

Pomembne značilnosti, vključene v računalniških programih, so naslednje:

- osnovne metode so dopolnjene s preveritvami merodajnih napetosti in deformacij na mejnih površinah posameznih plasti v voziščni konstrukciji,
- različni programi delujejo na različnih geomehanskih postopkih, nekateri pa delujejo na osnovah metode končnih elementov (MKE).

S projektom AMADEUS, ki je pod okriljem programa COST 333 preizkusil posamezne programe za dimenzioniranje in/ali analizo konstrukcij, ki se uporabljajo v Evropi, je bilo ugotovljeno, da noben izmed programov ne upošteva vseh vrst vplivov niti ne njihove interakcije.

Področja uporabe računalniških programov so omejena, kajti

- programi potrebujejo za uporabo zelo točne vhodne podatke, kot so; regionalni faktor (klimatski pogoji), indeks uporabnosti, nosilnost temeljnih tal, natančne debeline in sestava vgrajenih plasti asfaltnih zmesi in nevezanih plasti, karakteristike bitumenskih veziv,
- večina programov je namenjena predvsem analizi voziščnih konstrukcij; rezultat je potrebna skupna debelina ojačitve,
- glede na zahtevano točnost vhodnih podatkov, ki jih je zelo težko pridobiti (vrtine in sondažni izkopi ter analize vgrajenih materialov in veziv), je potrebno za vsak posamezni primer vključiti laboratorij,
- takšni programi so bolj primerni za mrežni nivo (analize) kot za projektni nivo.

Računalniške programe je mogoče razvrstiti v

- programe za enostavno analizo: rezultat so samo napetosti in deformacije v bituminizirani zmesi (AXYDIN, ECOROUTE, ELSYM 5, MICHPAVE VEROAD),
- programe za bolj kompleksno analizo: upoštevajo tudi možnost za nastanek kolesnic, poškodb (razpok) in staranja (KENLAYER, MMOPP ROADENT/WESLEA, SYSTUS) in
- programe za analizo in dimenzioniranje: rezultat je poleg analize tudi potrebna skupna (ekvivalentna) debelina ojačitve, iz katere je prav tako potrebno določiti debeline plasti in vrste materialov = izvesti dimenzioniranje po klasičnem postopku (APAS-WIN, BISAR/SPDM, CIRCLY, CAPA-3D, CESAR, NOAH VAGDIM 95, VESYS).

Izbiro optimalne voziščne konstrukcije in njenih plasti izvedemo po proučitvi in določitvi naslednjih parametrov:

- prometna obremenitev (vrsta, intenziteta, število vozil ...),
- značilne lastnosti materiala, vgrajenega v voziščno konstrukcijo,
- nosilnost obstoječe podlage (geološke razmere) ter
- lokalni klimatski in hidrološki pogoji.

Poleg vsega navedenega je za določitev primerne sanacijskega ukrepa potrebno upoštevati tudi lastnosti vozne površine in voziščne konstrukcije, izmerjene ali ocenjene po uveljavljenih postopkih in opredeljene v ustreznih tehničnih specifikacijah DRSC. Te lastnosti voznih površin in voziščnih konstrukcij so:

- poškodbe vozne površine,
- podajnost voziščne konstrukcije,
- prečna ravnost vozišča,
- vzdolžna ravnost vozišča,
- torna sposobnost vozne površine in
- hrupnost vozne površine.

2.1 Prometne obremenitve

Obremenitve, ki so posledica vožnje vozil, se prenašajo preko koles na površino vozišča. Voziščna konstrukcija mora biti dimenzionirana tako, da te obremenitve razporedi po voziščni konstrukciji in zreducira napetosti do takšne velikosti, da v podlagi vozišča oziroma v temeljnih tleh ne povzroči deformacij, ki bi lahko povzročile poškodbe ali celo porušitev voziščne konstrukcije.

Sile, s katerimi kolesa delujejo na vozišče, so skoncentrirane na majhni dotikalni površini. Zato se prometna obtežba intenzivno občuti na relativno majhni globini pod voziščem. Obremenitve so kratkotrajne, vendar se pogosto ponavljajo.

Podlaga voziščne konstrukcije je lahko nasip, kjer je niveleta prometne površine višja od temeljnih tal, ali pa planum vkopa, kjer je niveleta prometne površine pod površino temeljnih tal. V prvem primeru se prometna obtežba prenaša na komprimiran nasip, v drugem pa na naravna temeljna tla, ki so po potrebi lahko dodatno utrjena. Prometna obtežba lahko deluje statično ali dinamično.

Osnove za opredelitev prometnih obremenitev voziščnih konstrukcij so navedene v TSC 06.511: 2001 Prometne obremenitve, Določitev in razvrstitev.

Za določitev prometne obremenitve je merodajen povprečni letni dnevni promet (PLDP), to je povprečno dnevno število izbranih značilnih motornih vozil, ki so v določenem letu na obravnavanem odseku prečila prerez ceste. Podatki o PLDP se pridobivajo z ročnim ali avtomatskim štetjem prometa in so na vpogled v letnih poročilih Direkcije RS za ceste (Promet).

S količniki ekvivalentnega vpliva značilnih vozil na utrujanje v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov je mogoče določiti povprečno dnevno število prehodov nominalne osne obremenitve (NOO) 82 kN - T_d skozi prečni prerez ceste.

Značilno vozilo	Povprečni količnik ekvivalentnosti
– osebno: OV	0,00006
– avtobus: A	1,20
– tovorno:	
– lahko - LT	0,01
– srednje - ST	0,20
– težko - TT	1,10
– težko s prikolico - TTP	2,00

Povprečni količniki ekvivalentnosti značilnih motornih vozil (Povzeto po: DRSC, TSC 06.511, 2001, str. 7)

Za načrtovano dobo trajanja, ki znaša za voziščne konstrukcije z asfaltno krovno plastjo praviloma 20 let, je nato treba določiti merodajno skupno ekvivalentno prometno obremenitev T_n .

Značilnosti ceste, ki jih je pri tem še dodatno treba upoštevati, so:

- razdelitev prometne obremenitve na vozne pasove – količnik f_{pp}
- vpliv širine voznih pasov – količnik f_{sp}
- vpliv vzdolžnega nagiba nivelete – količnik f_{nn}
- doba trajanja in povečanje prometa v tem času – količnik f_{tpp}

Merodajno skupno ekvivalentno prometno obremenitev za načrtovano voziščno konstrukcijo je treba določiti po enačbi

$$T_n = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{tpp} \quad (2.1)$$

Na tej osnovi iz vrednotene prometne obremenitve so razvrščene v razrede.

Razred prometne obremenitve		
Opis	Označba	Število prehodov NOO 82 kN v 20. letih
- zelo lahka	ZLO	$\leq 2 \times 10^5$
- lahka	LO	$> 2 \times 10^5$ do 6×10^5
- srednja	SO	$> 6 \times 10^5$ do 2×10^6
- težka	TO	$> 2 \times 10^6$ do 6×10^6
- zelo težka	ZTO	$> 6 \times 10^6$ do 2×10^7
- izredno težka	ITO	$> 2 \times 10^7$

Razvrstitev prometa v prometne razrede (Povzeto po: DRSC, TSC 06.511, 2001, str. 11)

Vpliv razdelitve prometne obremenitve na prometne pasove na vozišču je treba upoštevati s faktorji razdelitve prometne obremenitve na vozne pasove f_{pp} .

Število prometnih pasov	Faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove f_{pp}					
1	1,00					
2	0,50		0,50			
3	0,50		0,05	0,45		
4	0,45	0,05	0,05	0,45		
5	0,45	0,05	0,02	0,08	0,40	
6	0,40	0,08	0,02	0,02	0,08	0,40

Faktorji vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove f_{pp} (Povzeto po: DRSC, TSC 06.511, 2001, str. 9)

Glede na velik vpliv širine voznih pasov na prometno obremenitev je treba za določitev merodajne skupne ekvivalentne prometne obremenitve T_n upoštevati količnike f_{sp} .

Širina voznega pasu m	Količnik širine voznega pasu f_{sp}
< 2,50	2,00
2,50 do 2,74	1,80
2,75 do 3,24	1,40
3,25 do 3,74	1,10
$\geq 3,75$	1,00

Količniki vpliva širine voznega pasu f_{sp} (Povzeto po: DRSC, TSC 06.511, 2001, str. 9)

Predvsem na odsekih državnih cest (gorske ceste) z velikimi vzdolžnimi nagibi (nad 5 %) je treba za določitev merodajne skupne ekvivalentne prometne obremenitve T_n upoštevati količnike f_{nn} .

Vzdolžni nagib nivelete %	Količnik vzdolžnega nagiba nivelete f_{nn}
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
nad 10	1,45

Količniki vpliva vzdolžnega nagiba nivelete na prometno obremenitev f_{nn} (Povzeto po: DRSC, TSC 06.511, 2001, str. 10)

Načrtovano dobo trajanja in povečanje prometne obremenitve zaradi rasti prometa v tem obdobju je treba upoštevati s faktorjem f_{tpp} .

Načrtovana doba trajanja let	Letna stopnja rasti prometa - %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Faktor povečanja prometne obremenitve f_{tpp}									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

Faktorji povečanja prometnih obremenitev F_{tpp} v odvisnosti od načrtovane letne stopnje rasti prometa in načrtovanega trajanja (Povzeto po: DRSC, TSC 06.511, 2001, str. 7)

V primeru neenakomerne razporeditve prometnih tokov (npr. obvozi, gradbiščni promet...) v času načrtovane dobe trajanja, je le-to potrebno dodatno pazljivo upoštevati in izbrati materiale (npr. izboljšana veziva) in debeline voziščne konstrukcije, tako da bo konstrukcija sposobna brez posledic sprejeti tudi v krajših obdobjih povečane prometne in druge obremenitve.

2.2 Lastnosti v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov

Na poškodovanje voziščnih konstrukcij v času uporabe vplivajo predvsem tehnične značilnosti zmesi kamnitih materialov, hidravličnih in ogljikovodikovih veziv ter vrsta in kvaliteta materiala v posteljici.

Zaradi uničevalnega vpliva klimatskih in hidroloških razmer se spreminjajo nosilne in funkcionalne lastnosti posameznih plasti voziščne konstrukcije. Odločilnega pomena za kasnejše obnašanje materialov v voziščnih konstrukcijah je izbor sestavnih materialov in veziv ter projektiranje zmesi (npr. PSAZ - predhodna sestava asfaltne zmesi) in/ali mešanic (npr. projekt cementnega betona).

Osnovne lastnosti materiala, vključno zahtevana kakovost, so podrobno opredeljene v naslednjih tehničnih specifikacijah za ceste:

- TSC 06.100 Kamnita posteljica in povozni plato
- TSC 06.200 Nevezane nosilne in obrabne plasti
- TSC 06.310 Vezane zgornje nosilne in nosilnoobrabne plasti z bitumenskimi vezivi
- TSC 06.320 Vezane spodnje nosilne plasti s hidravličnimi vezivi
- TSC 06.330 Vezane spodnje nosilne plasti z bitumenskimi vezivi (po vročem postopku)
- TSC 06.411 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Bitumenski betoni
- TSC 06.412 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Drobir z bitumenskim mastiksom
- TSC 06.413 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Drenažni asfalti
- TSC 06.414 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Liti asfalti
- TSC 06.416 Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Tankoplastne prevleke
- TSC 06.417 Vezane obrabne in zaporne plasti – Površinske prevleke

Zmesi kamnitih zrn za asfaltne zmesi in cementne betone oziroma s cementom stabilizirane mešanice morajo ustrezati slovenskim standardom:

- SIST EN 13043:2002 Agregati za bituminizirane zmesi in površinske prevleke za ceste, letališča in druge prometne površine
- SIST EN 13242:2003 Agregati za nevezane in hidravlično vezane materiale za uporabo v inženirskih objektih in za gradnjo cest

Uporabljena veziva morajo ustrezati naslednjim standardom:

- SIST EN 197:2001 Običajni cement
- SIST EN 12591 Bitumen in bitumenska veziva - Specifikacije za cestogradbene bitumne
- SIST EN 14023 Bitumen in bitumenska veziva – Okvirne specifikacije za s polimeri modificirane bitumne

Pri uporabi bitumnov je potrebno upoštevati klimatske razmere, transportne razdalje in prometne obremenitve. V primeru težjih prometnih obremenitev v povezavi z višjimi temperaturami je, npr., potrebno izbrati trša, s polimeri modificirana veziva. Glede na heterogene pogoje, ki vladajo v Sloveniji, ni natančnega navodila, ki bi zajemalo vse možne kombinacije, zato je ključnega pomena, da izbiro ustreznih veziv v kombinaciji z asfaltnimi zmesmi izvedejo izkušeni projektanti ter asfalterški tehnologi. Vgrajuje se lahko le asfaltna zmes, za katere ima izvajalec pridobljeno ustrezno izjavo o skladnosti.

Medsebojna razmerja odpornosti v tehničnih specifikacijah za ceste opredeljenega novega materiala proti utrujanju, so razvidna iz povprečnih vrednosti količnikov ekvivalentnosti.

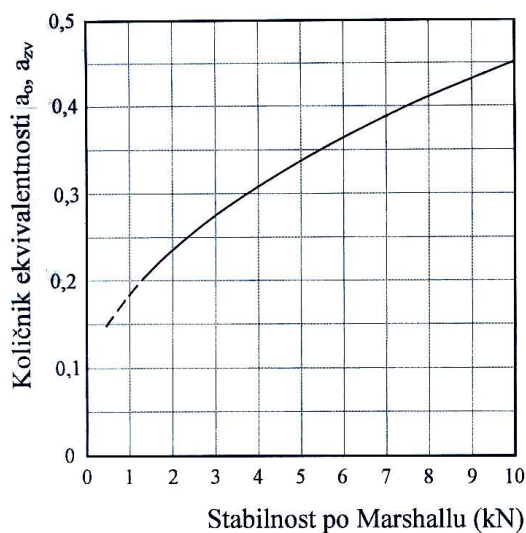
Vrsta materiala	Količnik ekvivalentnosti
bitumenski beton, drobir z bitumenskim mastiksom	0,42
bituminizirani drobljenec	0,35
z bitumnom stabilizirana zmes	0,24
s cementom stabilizirana mešanica	0,20
drobljenec	0,14
prodec	0,11

Povprečne vrednosti količnikov ekvivalentnosti novega materiala (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 8)

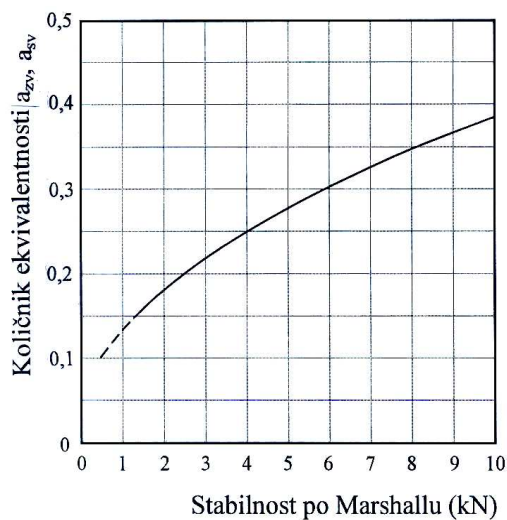
V primeru bistvenih odstopanj kakovosti asfaltnih zmesi za obrabne in nosilne plasti, s cementom stabiliziranih zmesi kamnitih zrn in nevezanih zmesi kamnitih zrn od povprečnih vrednosti, se določijo ustrezni količniki ekvivalentnosti v laboratoriju in vrednosti odčitajo iz diagramov.

Tudi v primeru ojačitev obstoječih voziščnih konstrukcij se količniki ekvivalentnosti v odvisnosti od utrujenosti posameznih materialov voziščne konstrukcije ustrezno zmanjšajo, kar je v nadaljevanju predstavljeno tudi na praktičnih primerih.

V primeru vezanih bituminiziranih zmesi se količnik ekvivalentnosti zmanjša sorazmerno z zmanjšanjem stabilnosti po Marshallu.

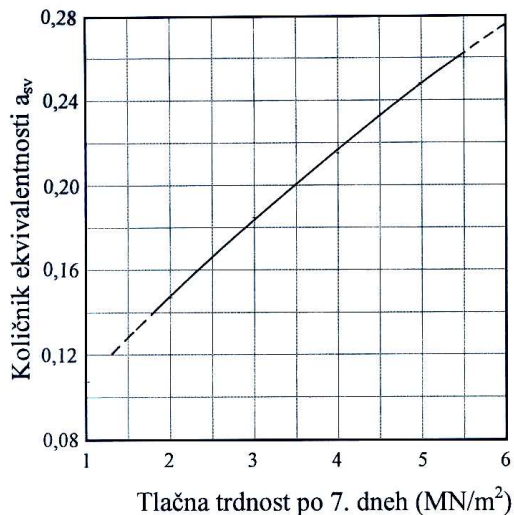


Količniki ekvivalentnosti za bitumenski beton in bituminizirani drobljenec (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 7)



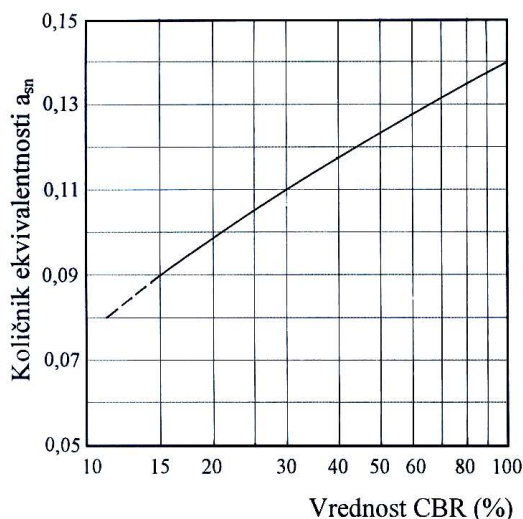
Količniki ekvivalentnosti za bituminizirani prodec in zmes kamnitih zrn, stabilizirano z bitumnom (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 7)

V primeru stabiliziranih zmesi kamnitih zrn s cementom se količnik ekvivalentnosti zmanjša sorazmerno z zmanjšanjem tlačne trdnosti po 7. dneh.



Količniki ekvivalentnosti za zmes kamnitih zrn, stabilizirano s cementom (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 7)

V primeru nevezanih zmesi kamnitih zrn pa se vrednost količnika ekvivalentnosti zmanjša z zmanjšanjem vrednosti količnika CBR.



Količniki ekvivalentnosti za nevezano zmes kamnitih zrn: drobljenec, prodec (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 7)

Na osnovi vizualne ocene trenutnega stanja v obstoječe voziščne konstrukcije vgrajenega materiala je mogoče praktično upoštevati naslednje informativne količnike ekvivalentnosti ($a_o \times k_{os}$):

Opis stanja asfaltne voziščne konstrukcije (vizualna ocena)	Količnik ocenjenega stanja k_{os}
<p>Obrabnozaporna plast ($a_o = 0,42$)</p> <ul style="list-style-type: none"> - zelo razpokana, se lušči in/ali drobi 0,3 - zelo razpokana in deformirana 0,4 - zelo razpokana 0,5 - zelo deformirana 0,65 - malo razpokana in/ali deformirana 0,8 - nepoškodovana 0,9 	
<p>Vezana zgornja nosilna plast:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bituminizirani drobljenec ($a_{zv} = 0,35$): - zelo razpokana in deformirana 0,4 - zelo razpokana 0,5 - zelo deformirana 0,65 - malo razpokana in/ali deformirana 0,8 - nepoškodovana 0,9 	
<p>Vezana spodnja nosilna plast:</p> <ul style="list-style-type: none"> - stabilizirana s cementom ($a_{sv} = 0,20$): - zelo razpokana 0,7 - malo razpokana 0,9 - stabilizirana z bitumnom ($a_{sv} = 0,24$): - zelo razpokana 0,6 - malo razpokana 0,9 	
<p>Nevezana nosilna plast:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zmes zrn prodca ($a_{sn} = 0,11$): - neodporna proti heterogenemu zmrzovanju – CBR ≥ 10 % 0,5 - odporna proti heterogenemu zmrzovanju – CBR ≥ 40 % 0,9 - zmes zrn drobljenca ($a_{sn} = 0,14$): - neodporna proti heterogenemu zmrzovanju – CBR ≥ 10 % 0,6 - odporna proti heterogenemu zmrzovanju – CBR ≥ 40 % 0,9 	

Informativne vrednosti količnikov ocenjenega stanja materiala v obstoječi voziščni konstrukciji (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 8)

2.3 Nosilnost podlage voziških konstrukcij (geološke razmere)

Za dimenzioniranje fleksibilnih voziških konstrukcij je za določitev podlage merodajna vrednost kalifornijskega indeksa nosilnosti *CBR* (California Bearing Ratio), ki se določi na osnovi izvedenih sondažnih izkopov (*slika 1*) v laboratoriju po postopkih, podrobno opredeljenih v TSC 06.713 in TSC 06.720.

Postopek določitve *CBR* v laboratoriju (*slika 2*) temelji na primerjavi med

- specifično obremenitvijo p , potrebno za vtisnjenje valjastega bata s površino prereza $19,6 \text{ cm}^2$ s hitrostjo $1,27 \text{ mm/min}$ v preiskovani material (pripravljen po predpisanem postopku) $2,54 \text{ mm}$ globoko in
- specifično obremenitvijo p_s , potrebno za vtisnjenje enakega bata po enakem postopku v standardni material (t.j. ustrezno zgoščeni drobir - tolčenec).

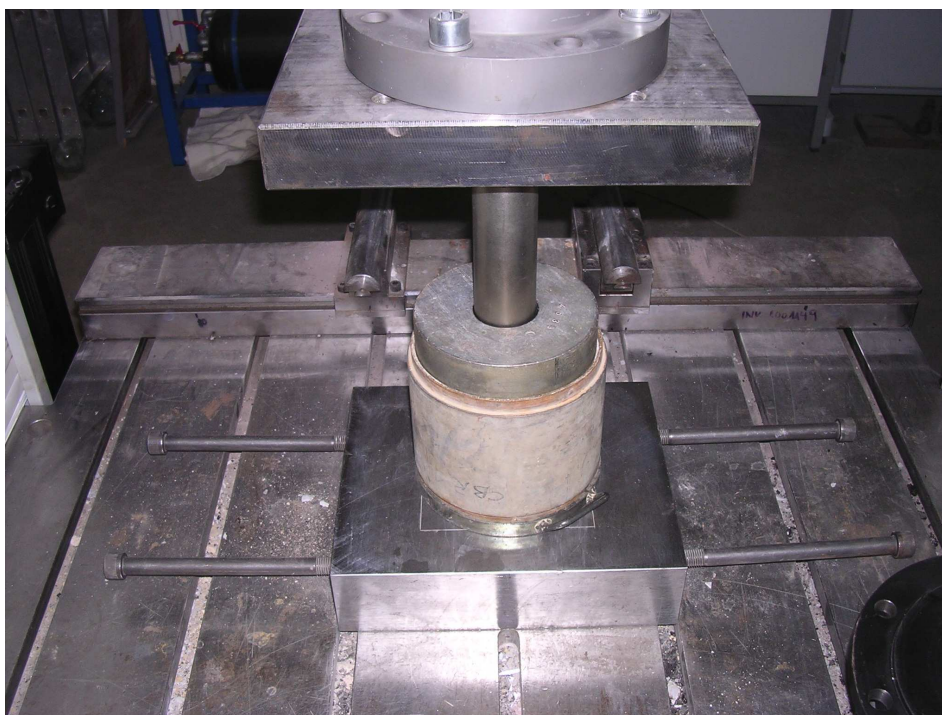
Vrednost količnika *CBR* se določi po enačbi:

$$CBR = \frac{p}{p_s} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.2)$$



Slika 1: Izvedba meritev nosilnosti podlage z dinamično ploščo

Figure 1: Bearing capacity measurements on sub-base with Dynamic plate



Slika 2: Merilna oprema za določitev količnika CBR v laboratoriju

Figure 2: Measuring equipment for determination of CBR value in laboratory

Nosilnost podlage voziščne konstrukcije nam lahko definira več pojmov:

- odpornost proti preoblikovanju (notranje trenje in kohezija materiala),
- obremenitev, kjer se pojavijo prve poškodbe (porušna obremenitev),
- sposobnost raznosa obremenitve.

Podlaga voziščne konstrukcije se lahko v določenem obsegu preoblikuje predvsem iz dveh razlogov:

- tehnični razlog: ne zagotavljamo ustrezno nosilne osnove za kvalitetno vgradnjo nadgrajenih plasti voziščne konstrukcije ,
- gospodarski razlog: če primerno osnovo zagotovimo s cenenimi nasipnimi materiali namesto s kvalitetnimi in s tem tudi dražjimi.

Nosilnost posteljice oziroma podlage voziščne konstrukcije določimo:

- z določitvijo geomehanskih karakteristik vgrajenih materialov in zahtev glede njihovih lastnosti,
- na osnovi rezultatov posameznih preiskav, od katerih koeficienti nosilnosti predstavljajo najpomembnejše rezultate, ki jih uporabljamo pri dimenzioniranju:
 - pri fleksibilnih voziščnih konstrukcijah (koeficient nosilnosti CBR),
 - pri togih voziščnih konstrukcijah (koeficient reakcije posteljice K_s).

Predvsem pri načrtovanju sanacijskih ukrepov ojačitve na obstoječih voziščih ni smiselno izvajati posamičnih sondažnih izkopov in prekopavati vozišča. Potrebne podatke o nosilnosti temeljnih tal je mogoče dobiti z neporušno metodo - uporabo rezultatov meritev podajnosti s FWD (*slika 3 – postopek je predstavljen podrobneje v točki 3.2.1.2 Meritve nosilnosti voziščnih konstrukcij z deflektometrom FWD*), pri katerih dobimo tudi modul E_3 (FWD), ki predstavlja vrednost modula togosti na posteljici oziroma podlagi (v vsaki točki meritve - zvezno). Iz te vrednosti lahko (na osnovi *diagrama 2*) dobimo primerjalno vrednost indeksa nosilnosti CBR , ki ga potrebujemo za določitev dimenzij voziščne konstrukcije, oziroma za določitev potrebnega debelinskega indeksa ojačitve.

V kolikor nimamo izvedenih laboratorijskih preiskav ali meritev, lahko uporabimo naslednje informativne vrednosti indeksa nosilnosti CBR na planumu podlage iz različnih materialov:

- na vezljivih zemljinah
(glina, meljna glina, melj) $CBR = 3 - 5 \%$ ($E_{v2} = 10-20 \text{ MN/m}^2$)
- na zelo zaglinjenih kamnitih materialih
(gramoz, fliš) $CBR = 7 \%$ ($E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$)
- na zaglinjenih kamnitih materialih
(zaglinjen grušč, drobljenec) $CBR = 10 \%$ ($E_{v2} = 60 \text{ MN/m}^2$)
- na kamnitih nasipnih materialih (posteljici) $CBR = 15 \%$ ($E_{v2} = 80 \text{ MN/m}^2$).

Informativne korelativne vrednosti indeksa CBR in v večji meri uveljavljenih vrednosti deformacijskih modulov E_{v2} in modulov stisljivosti M_E so navedene v *preglednici na str.17*.



Slika 3: Merilna oprema FWD, Deflektometer s padajočo utežjo

Figure 3: Measuring device FWD, Falling Weight Deflectometer

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

Informativne korelacije vrednosti nosilnosti za značilne materiale v podlagi/posteljici (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 5)

Osnovni pogoj za podlago pod voziščno konstrukcijo pri novozgrajenih cestah so čimbolj enakomerne geomehanske karakteristike materiala, ki omogočajo ustrezno enakomerno nosilnost.

Primerno enakomerno nosilnost na planumu podlage iz navedenih materialov, to je na planumu posteljice, je mogoče doseči z vgraditvijo naslednjih debelin plasti iz obstojnih kamnitih materialov (zrnivosti praviloma do 100 mm) v posteljico:

- na pretežno vezljivih zemljinah 50 cm
- na zelo zaglinjenih kamnitih materialih 40 cm
- na kamnitih materialih (izravnalna plast - zrnavost do 63 mm) 20 cm

Na ta način je na planumu posteljice zagotovljena zahtevana vrednost nosilnosti CBR = 15 % ($E_{v2} = 80 \text{ MN/m}^2$), ki zagotavlja vse potrebne pogoje za kvalitetno vgrajevanje materialov v nadgrajene plasti voziščnih konstrukcij.

V primeru, da na planumu temeljnih tal v vkopih ali na planumu nasipov iz vezljive zemljine ni zagotovljena vrednost nosilnosti CBR ≥ 5 %, je priporočljivo predvideti ukrepe za ustrezno izboljšanje nosilnosti. Ti ukrepi so lahko stabilizacija obstoječih materialov s hidravličnimi vezivi ali lokalna zamenjava neustreznih temeljnih tal oziroma vgraditev ločilne geotekstilije.

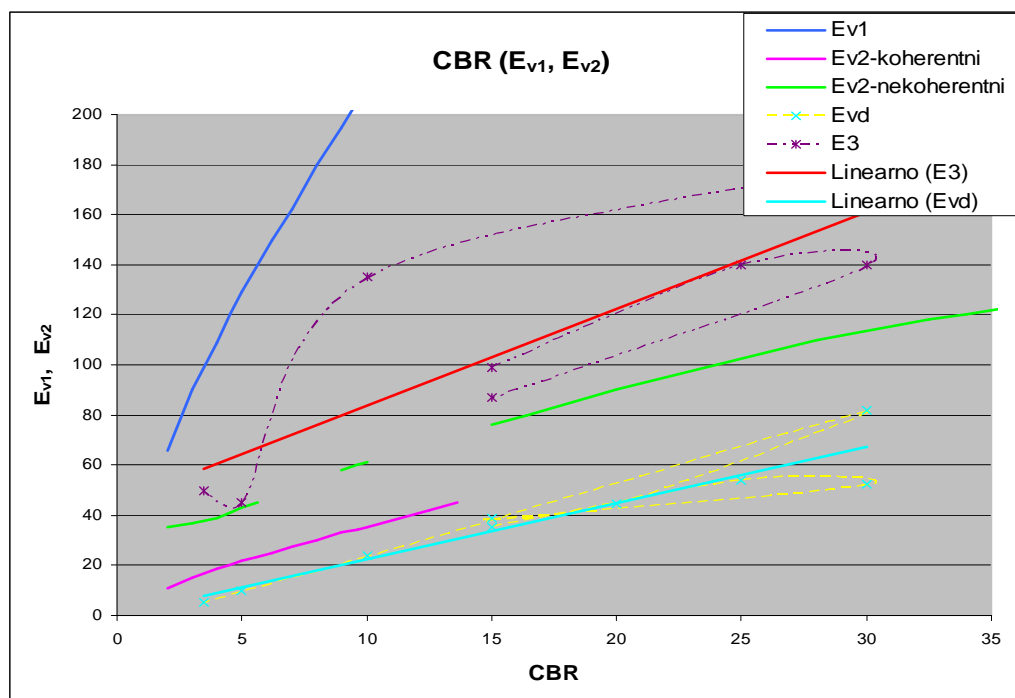
Na osnovi večletnih izkušenj z meritvami FWD v Sloveniji in na osnovi izbranih odsekov cest, prikazanih v preglednici, kjer so bile poleg meritev z deflektometrom izvedene tudi terenske in laboratorijske raziskave, so bile ugotovljene praktične povezave med na terenu izmerjenim $E_{3(FWD)}$ in količnikom CBR (v laboratoriju). Vhodni podatki (izmerjene vrednosti s komentarji) po posameznih izbranih testnih odsekih so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Izmerjene vrednosti deformacijskih modulov in količnikov *CBR* po posameznih testnih odsekih

Table 1: *Measured values of deformation modulus and CBR values for individual test sections*

Posamezni stolpci v preglednici 1 pomenijo naslednje :

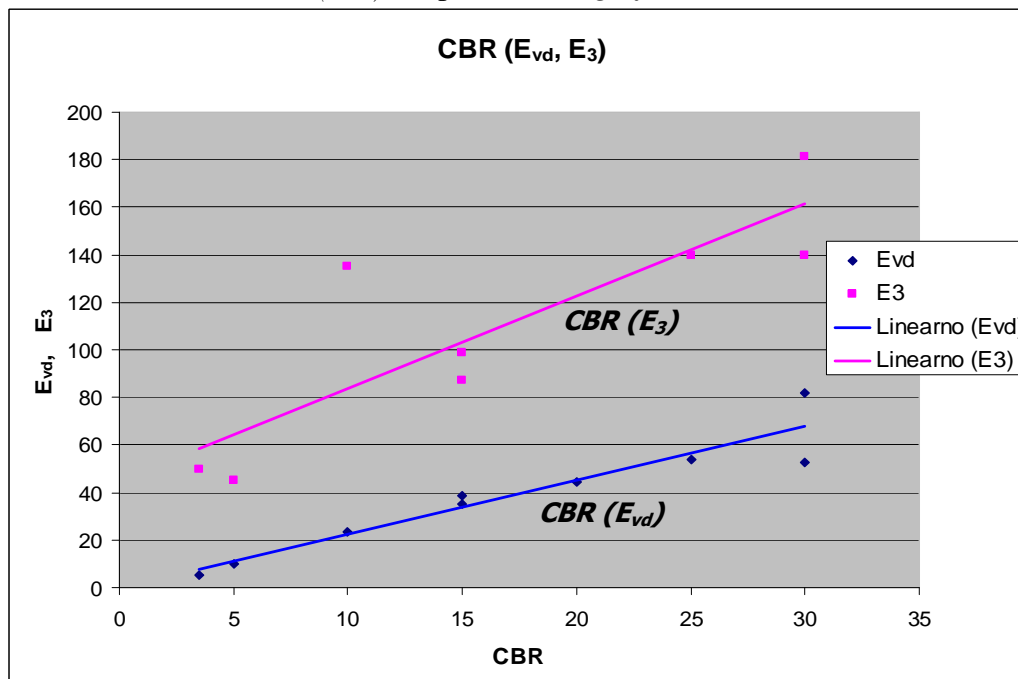
- (1) oznaka ceste/odseka, kjer so bili izvedeni sondažni izkopi, odvzeti vzorci, oziroma izvedene meritve s FWD
- (2) stacionaža obravnavanega odseka, kjer so se izvajale meritve s FWD (podčrtano) oziroma mesto (v km...) izvedbe sondažnega izkopa
- (3) ugotovljena voziščna konstrukcija na mestu sondažnega izkopa, ugotovljena podlaga (temeljna tla) na globini oziroma globina od kote vozišča, kjer je bila izvedena meritev
- (4) ugotovljena podlaga oziroma temeljna tla (na mestu sondažnih izkopov)
- (5) dinamični deformacijski modul - $E_{vd(TT)}$, izmerjen na globini temeljnih tal (kot je navedeno v stolpcu 3)
- (6) statični deformacijski modul - $E_{v2(TT)}$, določen iz E_{vd}
- (7) modul elastičnosti - $E_{3(FWD)}$ na globini ugotovljenih temeljnih tal, izmerjen s FWD, deflektometrom s padajočo utežjo
- (8) količnik $E_{3(FWD)}/10 = CBR_{E3}$ – informativna vrednost indeksa nosilnosti CBR (za uporabo pri dimenzioniranju ojačitev voziščnih konstrukcij)
- (9) v laboratoriju ugotovljena vrednost količnika CBR (indeksa nosilnosti) po standardnem postopku, določenem v tehnični regulativi
- (10) opažanja glede ustreznosti primerjave, pri čemer je bilo generalno ugotovljeno naslednje:
 - v kolikor je meritev E_{vd} izvedena na premajhnih oziroma prevelikih globinah (ne na temeljnih tleh), primerjava ni ustrezna $\Rightarrow E_{vd}$ mora biti izmerjen na dejanski globini temeljnih tal, da se lahko primerja z moduli E_3 , pridobljenimi iz meritev FWD
 - iz rezultatov meritev (ki so realne) lahko tako določimo tudi globino temeljnih tal
 - primerjava prav tako ni mogoča, če je vzorec za določitev količnika CBR odvzet za neustrezen material (ne za temeljna tla oziroma podlago).



Grafikon 1: Povezave med elastičnimi moduli in količnikom CBR (na osnovi podatkov iz preglednice 1)

Graph 1: Correlations between Elastic Modulus and CBR value (basing on data from Table 1)

Ugotovljene povezave na testnih odsekih med vrednostjo E_{vd} , določeno z dinamično ploščo in izmerjeno z deflektometrom $E_{3(FWD)}$, so prikazane v grafikonu 2.



Grafikon 2: Ugotovljena povezava med količnikom CBR in modulom $E_{3(FWD)}$

Graph 2: Determined correlation between CBR value and $E_{3(FWD)}$ modulus

2.4 Vplivi klime in hidroloških pogojev

Osnove za opredelitev vplivov klime na voziščne konstrukcije so navedene v tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.512 Projektiranje, Klimatski in hidrološki pogoji.

Kot vplive klime je treba upoštevati predvsem nizke temperature pozimi, ki povzročijo škodljivo zmrzovanje vode v materialih, vgrajenih v voziščne konstrukcije in - do globine zmrzovanja h_m - v podlago, ter škodljivo neenakomerno krčenje različnih materialov, vgrajenih v vezane nosilne in obrabne plasti voziščnih konstrukcij.

Informativne globine prodiranja mraza v Sloveniji so prikazane na karti »Globine prodiranja mraza h_m v Republiki Sloveniji«.

Hidrološke pogoje lahko ocenimo kot ugodne, če je

- nasip visok najmanj 1,5 m,
- plitev vkop dobro odvodnjava,
- nivo talne vode nižji od globine zmrzovanja in
- iznad nivoja talne vode preprečeno dotekanje vode v območje cestnega telesa,

oziroma kot neugodne, če je

- nasip nižji od 1,5 m,
- plitev vkop slabo odvodnjava,
- vkop globok,
- nivo talne vode v območju globine zmrzovanja ali
- omogočeno kapilarno dviganje vode do planuma posteljice.

V plasti voziščnih konstrukcij so praviloma lahko vgrajeni samo materiali, ki so odporni proti škodljivemu zmrzovanju vode v njih. Proti škodljivim učinkom mraza odporni materiali pa morajo biti vgrajeni do globine prodiranja mraza.

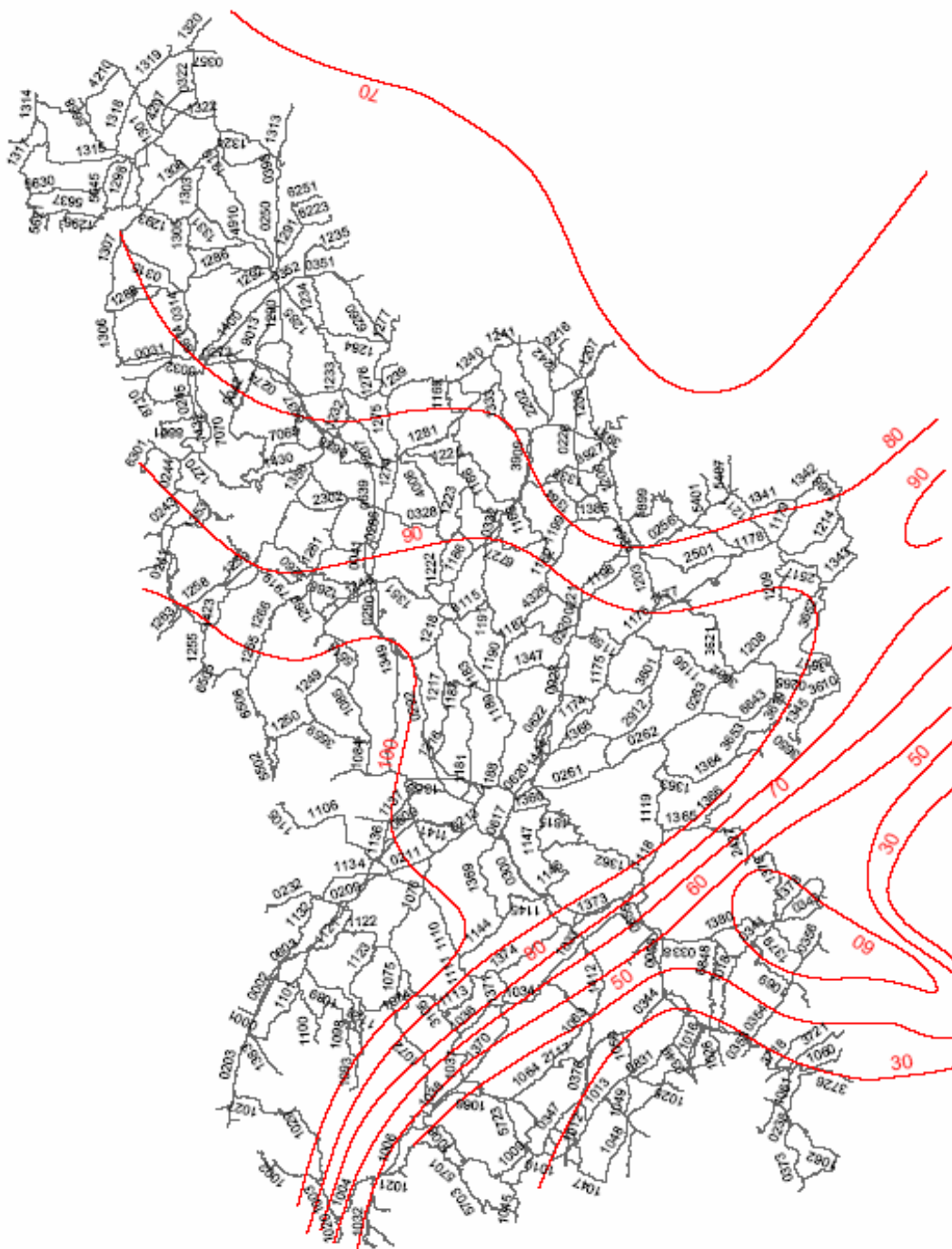
V odvisnosti od odpornosti materiala pod voziščno konstrukcijo proti škodljivim učinkom mraza in od hidroloških pogojev, so minimalne potrebne debeline voziščnih konstrukcij, vključno morebitna potrebna dodatna debelina posteljice iz ustreznega materiala naslednje:

Odpornost materiala pod voziščno konstrukcijo proti učinkom mraza	Hidrološki pogoji	Minimalna debelina voziščne konstrukcije h_{min}
odporen	ugodni	$\geq 0,6 h_m$
	neugodni	$\geq 0,7 h_m$
neodporen	ugodni	$\geq 0,8 h_m$
	neugodni	$\geq 0,8 h_m$

Minimalne potrebne debeline voziščnih konstrukcij h_{min} (Povzeto po: DRSC, TSC 06.512, 2003, str. 6)

Za določitev standardiziranih voziščnih konstrukcij je privzeta:

- za ugodne hidrološke pogoje $h_{min} = 0,6 h_m$
- za neugodne hidrološke pogoje $h_{min} = 0,8 h_m$



Karta informativnih globin prodiranja mraza h_m v Republiki Sloveniji (Povzeto po: DRSC, TSC 06.512, 2003, str. 12)

3 LASTNOSTI VOZNIH POVRŠIN

Značilnosti, s katerimi opisujemo stanje vozne površine, so

- poškodbe vozne površine,
- podajnost,
- prečna ravnost,
- vzdolžna ravnost,
- torna sposobnost in
- hrupnost vozne površine.

Kriteriji za oceno stanja vozni površin in voziščnih konstrukcij na podlagi izrednotenih meritev so opredeljeni v ustreznih TSC in sicer v:

- TSC 06.630 Lastnosti vozni površin, Podajnost
- TSC 06.610 Lastnosti vozni površin, Ravnost
- TSC 06.620 Lastnosti vozni površin, Torna sposobnost
- TSC 06.640 Lastnosti vozni površin, Hrupnost

V nadaljevanju so prikazani postopki meritev in povzeta merila za opisovanje stanja po zgoraj navedenih virih.

3.1 Poškodbe vozne površine

3.1.1 Opis

Poškodbe vozne površine se na državnih cestah opisujejo po metodologiji modificiranega švicarskega indeksa (MSI) z izvedbo vizualnega ocenjevanja. Vsaka od štirih ocenjevanih vrst poškodb se ocenjuje z njeno jakostjo in obsegom, tj. površino, ki jo zavzema.

V izračunu vrednosti *MSI* se na asfaltnih in tlakovanih vozni površinah upoštevajo naslednje vrste poškodb:

- razpoke,
- obraba,
- udarne jame,
- krpe.

Na cementnobetonkih voziščih so namesto udarnih jam zajeti stiki cementnobetonkih plošč.

Metoda je namenjena planiranju ukrepov na mrežnem nivoju in za ocenjevanje stanja – določitev količnikov poškodovanosti k_{δ} – na projektnem nivoju.

3.1.2 Meritve

Vizualna ocena se izvaja na naslednji način:

- prenosni računalnik je povezan z merilnikom stacionaže na osebнем vozilu,
- pri povprečni hitrosti 15 do 20 km/h ocenjevalec vpiše kode jakosti in obsega posameznih poškodb vozišča za vsakih 50 m ceste.

Jakost poškodb (S_m) je opisana s številkami od 0 do 3.

Vrsta poškodbe	Utež jakosti poškodbe			
	0	1	2	3
Razpoke	brez	ozke ali dobro zalite	široke, vzdolžne, prečne - nad 3 mm ali slabo zalite	široke, mrežaste ali delno zalite
Obraba	brez	izpad posameznih zrn iz obrabne plasti	večji izpad zrn	luščenje obrabne plasti
Udarne jame	brez	udarna jama v nastajanju, poglobljanje luščenja	udarna jama globine do 5 cm, premera do 20 cm	udarna jama globine nad 5 cm, premera nad 20 cm
Krpe	brez	krpa, narejena z odrezkanjem stare obrabne plasti, z ravnimi robovi	krpa, narejena z zasekom pravokotno na smer vožnje z ravnimi robovi	deformirano hladno krpanje in neravno krpanje brez ravnih robov
Stiki na betonskih voziščih	brez stopenj, zaliti	stiki plošč brez občutnih stopenj	stiki plošč s stopnjami do 1 cm	stiki plošč s stopnjami nad 1 cm

Način opredelitve jakosti poškodb S_m (Povzeto po: Marinko, 2005, str. 4)

Obseg poškodb (A_m) je opisan s številkami od 0 do 3.

	Utež obsega poškodbe			
	0	1	2	3
Odstotek površine vozišča, prizadet s posamezno poškodbo	0 %	do 10%	10 do 50%	nad 50%

Način opredelitve obsega poškodb A_m (Povzeto po: Marinko, 2005, str. 5)

MSI je opredeljen kot ponderirana vsota produktov jakosti in obsega posameznih poškodb vozišča in se določi za vsak 50 m odsek:

$$MSI = \sum_m G_m * S_m * A_m \quad (3.3)$$

G_m ponder (utež) posamezne poškodbe

m r = razpoke, o = obraba, j = udarne jame, k = krpe, s = stiki

Vsaka vrsta poškodbe vozne površine ima določeno utež.

Vrsta poškodbe	Asfaltno in tlakovano vozišče	Cementnobetonso vozišče
Razpoke	0,4	0,3
Obraba	0,3	0,1
Udarne jame	0,1	0,0
Krpe	0,2	0,2
Stiki	0,0	0,4
Skupaj:	1,0	1,0

Uteži (G_m) za posamezne vrste poškodb (Povzeto po: Marinko, 2005, str. 5)

Enačba za MSI v razviti obliki:

– za asfaltna in tlakovana vozišča:

$$MSI = \sum_m (A_m \times S_m \times G_m) = A_r \times S_r \times 0,4 + A_o \times S_o \times 0,3 + A_j \times S_j \times 0,1 + A_k \times S_k \times 0,2 \quad (3.4)$$

– za cementnobetonso vozišča:

$$MSI = \sum_m (A_m \times S_m \times G_m) = A_r \times S_r \times 0,3 + A_o \times S_o \times 0,1 + A_k \times S_k \times 0,2 + A_s \times S_s \times 0,4 \quad (3.5)$$

Na ta način lahko MSI doseže vrednosti med 0,0 in 9,0. Večji MSI pomeni večjo poškodovanost vozišča.

Izračunu MSI za vsakih 50 m omrežja sledi homogenizacija odsekov, s katero so združeni med seboj daljši, po poškodovanosti podobni petdesetmetrski odseki in za njih izračunana povprečna vrednost MSI.

Za vse kategorije državnih cest so definirane mejne vrednosti MSI, ki so določene glede na PLDP po navodilih upravljavca in predstavljajo meje med razredi stanja vozišča, kot je razvidno iz preglednice.

PLDP	Razredi stanja vozišča po MSI na državnih cestah				
	Zelo slabo	Slabo	Mejno	Dobro	Zelo dobro
	MSI				
nad 10000	nad 2,4	1,6 – 2,4	1,0 – 1,6	0,4 – 1,0	pod 0,4
5000 – 10000	nad 2,5	1,7 – 2,5	1,1 – 1,7	0,5 – 1,1	pod 0,5
3000 – 5000	nad 2,6	1,8 – 2,6	1,2 – 1,8	0,6 – 1,2	pod 0,6
2000 – 3000	nad 2,7	1,9 – 2,7	1,3 – 1,9	0,7 – 1,3	pod 0,7
1000 – 2000	nad 2,8	2,0 – 2,8	1,4 – 2,0	0,8 – 1,4	pod 0,8
500 – 1000	nad 3,0	2,2 – 3,0	1,5 – 2,2	0,9 – 1,5	pod 0,9
200 – 500	nad 3,2	2,4 – 3,2	1,6 – 2,4	1,0 – 1,6	pod 1,0
pod 200	nad 3,4	2,6 – 3,4	1,7 – 2,6	1,1 – 1,7	pod 1,1

Razredi stanja vozišča v odvisnosti od PLDP (Povzeto po: Marinko, 2005, str. 6)

Z upoštevanjem gostote prometa so meje razredov ekonomsko pogojene. Pri večjih gostotah prometa so meje vrednosti MSI nižje, kar daje cesti večjo pomembnost, oz. temu pričakovano višjo raven uslug.

Meje so izbrane na ta način, da je z razredom poškodovanosti povedana tudi že nujnost ukrepanja na mrežni ravni:

- razred poškodovanosti zelo dobro pomeni, da ukrepa v bližnji prihodnosti še ne bo potrebno izvesti;
- razred poškodovanosti dobro pomeni, da je vozišče v dobrem stanju, so pa že opazne poškodbe v nastajanju;
- razred poškodovanosti mejno pomeni, da so na vozišču že poškodbe, ki pogojujejo manjše ukrepe za ohranitev, skladno z ekonomiko ohranjanja cest;
- razred poškodovanosti slabo pomeni, da je vozišče načeto do take mere, da je potrebno takoj izvršiti zaščitni ukrep za podaljšanje življenjske dobe vozišča;
- razred poškodovanosti zelo slabo pomeni, da je vozišče poškodovano do take mere, da je izvedba ukrepa že zamujena in je potrebno večji ukrep na vozišču izvesti nemudoma, torej v prvi prioriteti.

3.1.3 Vrednotenje poškodovanosti vozne površine

Ocenjevanje stanja vozniških površin po metodologiji modificiranega švicarskega indeksa v Tehničnih specifikacijah za javne ceste celovito še ni opredeljeno.

V TSC 06.541:2003 Projektiranje, Dimenzioniranje ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij pa so definirani razredi stanja v odvisnosti od velikosti MSI (trenutnega stanja) in gostote prometa.

Gostota prometa		Razred stanja vozišča		
Opis	Mejne vrednosti PLDP	Mejno	Slabo	Zelo slabo
		Vrednosti MSI		
izredno velika	> 20000	< 2,2	2,2 do 2,8	> 2,8
zelo velika	> 10000 do 20000	< 2,3	2,3 do 2,9	> 2,9
velika	> 5000 do 10000	< 2,4	2,4 do 3,0	> 3,0
srednja	> 2000 do 5000	< 2,5	2,5 do 3,1	> 3,1
majhna	> 1000 do 2000	< 2,6	2,6 do 3,2	> 3,2
zelo majhna	< 1000	< 2,7	2,7 do 3,3	> 3,3

Klasifikacija stanja obstoječega asfaltnega vozišča po MSI v odvisnosti od gostote prometa (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 9)

Prometna obremenitev		Razred stanja vozišča				
Razred	Mejne vrednosti NOO 82 kN	Zelo dobro	Dobro	Mejno	Slabo	Zelo slabo
		Vrednosti MSI				
- izredno težka	> 2 x 10 ⁷	≤ 0,4	> 0,4–1,2	> 1,2–2,0	> 2,0–2,8	> 2,8
- zelo težka	> 6 x 10 ⁶ do 2 x 10 ⁷	≤ 0,5	> 0,5–1,3	> 1,3–2,1	> 2,1–2,9	> 2,9
- težka	> 2 x 10 ⁶ do 6 x 10 ⁶	≤ 0,6	> 0,6–1,4	> 1,4–2,2	> 2,2–3,0	> 3,0
- srednja	> 6 x 10 ⁵ do 2 x 10 ⁶	≤ 0,7	> 0,7–1,5	> 1,5–2,3	> 2,3–3,1	> 3,1
- lahka	> 2 x 10 ⁵ do 6 x 10 ⁵	≤ 0,8	> 0,8–1,6	> 1,6–2,4	> 2,4–3,2	> 3,2
- zelo lahka	≤ 2 x 10 ⁵	≤ 0,9	> 0,9–1,7	> 1,7–2,5	> 2,5–3,3	> 3,3

Klasifikacija stanja obstoječega asfaltnega vozišča po MSI v odvisnosti od prometne obremenitve (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 10)

Dimenzije potrebne asfaltne nadgradnje se glede na stanje vozišča v odvisnosti od količnikov poškodovanosti - k_s in prometne obremenitve določijo po postopku, podrobno opredeljenem v poglavju 4.2.2.1 *Določitev na osnovi ocene stanja (stran 70 - 73)*.

Za posamezni testni odsek, obravnavan v točki 7, so podane izmerjene vrednosti MSI v letu 2006.

3.2 Podajnost voziščne konstrukcije

3.2.1 Opis

Podajnost voziščne konstrukcije v mehaniki voziščnih konstrukcij pomeni vertikalni pomik posamezne točke voziščne površine pod določeno obremenitvijo. Delovanje statične ali dinamične obtežbe povzroča vertikalne pomike vseh plasti voziščne konstrukcije kakor tudi njene posteljice. Na osnovi izmerjenih vrednosti podajnosti na posameznih točkah vozišča lahko sklepamo o nosilnosti voziščne konstrukcije.

Nosilnost voziščne konstrukcije oziroma njena sposobnost, da brez znatnih sprememb prenese škodljive vplive klimatskih in prometnih obremenitev, se sčasoma zmanjšuje. Zmanjševanje nosilnosti je odvisno od sestave voziščne konstrukcije in njene prilagoditve prometnim zahtevam v prihodnosti.

S slabo nosilnostjo lahko tako ocenimo dobro projektirano in kvalitetno izvedeno voziščno konstrukcijo, na kateri se v prihodnosti pričakujejo velike spremembe strukture prometnih obremenitev. Nasprotno pa lahko z dobro nosilnostjo ocenimo tudi pomanjkljivo dimenzionirano ali ne dovolj kvalitetno izvedeno voziščno konstrukcijo, če so osnovne predpostavke o obsegu in intenzivnosti prometne obtežbe ostale neizpolnjene (oziroma so dejanske obremenitve veliko manjše, kot je bilo predvideno).

3.2.2 Meritve

Nosilnost voziščnih konstrukcij na obstoječih cestah lahko določimo na osnovi rezultatov meritev podajnosti obstoječe vozne površine

- z deflektografom Lacroix ali
- z deflektometrom FWD

kot je opredeljeno v tehnični specifikaciji za javne ceste TSC 06.630:2002 Lastnosti vozniških površin, Podajnost.

3.2.2.1 Meritve podajnosti z deflektografom Lacroix

Deflektograf Lacroix je merilna naprava za kontinuirano avtomatsko določitev (meritev in zapis) celotnih posedkov vozne površine pod obremenitvijo 50 kN na dvojnem kolesu vozila med vožnjo.

Deflektograf Lacroix sestoji iz naslednjih osnovnih sklopov:

- tovornega vozila, ki je nosilec merilne opreme in obremenitev za izvedbo meritev;
- merilne opreme;
- računalnika s pripadajočo programsko opremo za zapis vseh potrebnih podatkov o meritvah in rezultatih.

Za obremenitev merilnega mesta morata biti na zadnji osi tovornega vozila obojestransko dvojni kolesi. Osnova obremenitev mora znašati 100 kN in jo je v primeru potrebe mogoče zagotoviti z uravnavanjem količine vode v cisterni na tovornem vozilu.

V postopku merjenja se po aktiviranju meritev - med kontinuiranim premikanjem tovornega vozila s hitrostjo približno 2 km/h - izmenjujejo naslednji koraki:

- krmiljenje gibanja premičnega nosilnega okvirja naprej za izbrano dolžino med 3,50 in 5,50 m (v začetni položaj za naslednji cikel meritve);
- premikanje zadnjih koles tovornega vozila proti tipalni ročici oziroma njeni konici, ki sledi posedkom pod obremenitvijo zadnjih koles;
- avtomatska registracija podajnosti s pomočjo dveh induktivnih merilnikov pomikov tipalnih ročic.

Rezultati meritev posedkov z deflektografom Lacroix so registrirani v digitalni obliki.

Na osnovi rezultatov meritev podajnosti z deflektografom je mogoče določiti

- merodajno podajnost in
- preostalo dobo trajanja voziščne konstrukcije ter morebitno potrebno nadgradnjo.

Postopek izrednotenja rezultatov meritev podajnosti vozne površine z deflektografom Lacroix d_{mL} je v osnovah enak kot pri meritvah z Benkelmanovo gredjo. V ustrezni meri je treba upoštevati vse vplive (vpliv kolesne obremenitve, vpliv temperature, vpliv letnega obdobja), vključno določitev homogenih odsekov in merodajne podajnosti.

Količniki vpliva kolesne obremenitve k_{ko} (v območju od 30 do 70 kN) na izračun podajnosti površine so navedeni v preglednici na strani 30.

Maksimalno podajnost d_i določimo po enačbi

$$d_i = k_{ko} \cdot (d_{To} - d_{Tr}) \quad (3.6)$$

kjer pomeni:

d_{T_o} - odčitek na skali merilne urice pod obremenitvijo

d_{T_r} - odčitek po razbremenitvi

Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}	Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}	Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}	Kolesna obremenitev [kN]	Količnik k_{ko}
30,0	0,0333	40,0	0,0250	50,0	0,0200	60,0	0,0167
30,5	0,0328	40,5	0,0247	50,5	0,0198	60,5	0,0166
31,0	0,0323	41,0	0,0244	51,0	0,0196	61,0	0,0164
31,5	0,0318	41,5	0,0241	51,5	0,0194	61,5	0,0163
32,0	0,0312	42,0	0,0238	52,0	0,0192	62,0	0,0161
32,5	0,0308	42,5	0,0235	52,5	0,0190	62,5	0,0160
33,0	0,0303	43,0	0,0232	53,0	0,0189	63,0	0,0159
33,5	0,0298	43,5	0,0230	53,5	0,0187	63,5	0,0158
34,0	0,0294	44,0	0,2227	54,0	0,0185	64,0	0,0156
34,5	0,0290	44,5	0,0225	54,5	0,0183	64,5	0,0155
35,0	0,0286	45,0	0,0222	55,0	0,0182	65,0	0,0154
35,5	0,0282	45,5	0,0220	55,5	0,0180	65,5	0,0153
36,0	0,0278	46,0	0,0217	56,0	0,0179	66,0	0,0151
36,5	0,0274	46,5	0,0215	56,5	0,0177	66,5	0,0150
37,0	0,0270	47,0	0,0213	57,0	0,0175	67,0	0,0149
37,5	0,0267	47,5	0,0211	57,5	0,0174	67,5	0,0148
38,0	0,0263	48,0	0,0208	58,0	0,0172	68,0	0,0147
38,5	0,0260	48,5	0,0206	58,5	0,0171	68,5	0,0146
39,0	0,0257	49,0	0,0204	59,0	0,0169	69,0	0,0145
39,5	0,0253	49,5	0,0202	59,5	0,0168	69,5	0,0144

Količniki vpliva kolesne obremenitve k_{ko} na izračun podajnosti vozne površine (Povzeto po: DRSC, TSC 06.630, 2002, str. 10)

Pri izračunu moramo upoštevati korekturne količnike k_T za izračun vpliva temperature v asfaltni krovni plasti (v območju od 5°C do 30°C) na podajnost vozne površine. Pri temperaturah izven navedenega območja meritve podajnosti niso primerne.

Srednjo temperaturo asfaltno krovne plasti določimo po enačbi:

$$T_m = \frac{5T_o + (h-5)T_{10}}{h} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.7)$$

kjer pomeni:

- T_o - temperatura na vozni površini (°C)

- T_{10} - temperatura v globini 10 cm ($^{\circ}\text{C}$)
- h - debelina asfaltne krovne plasti (cm)

Srednja temperatura asfaltne krovne plasti T_m [$^{\circ}\text{C}$]	Debelina asfaltne krovne plasti [h]		
	od 5 do 10 cm	od 10 do 20 cm	od 20 do 30 cm
	Količnik k_T		
5		1,50	
6		1,335	
7		1,265	
8		1,205	
9		1,165	
10		1,135	
11		1,11	
12		1,09	
13		1,075	
14		1,06	
15		1,05	
16		1,04	
17		1,03	
18		1,025	
19		1,02	
20	1,000	1,000	1,000
21	0,985	0,975	0,99
22	0,98	0,955	0,975
23	0,975	0,94	0,955
24	0,975	0,925	0,935
25	0,97	0,91	0,915
26	0,97	0,895	0,89
27	0,97	0,88	0,87
28	0,97	0,865	0,845
29	0,97	0,85	0,825
30	0,97	0,835	0,80

Količniki vpliva temperature k_T na izračun podajnosti vozne površine z asfaltno krovno plastjo debeline h (Povzeto po: DRSC, TSC 06.630, 2002, str. 10)

Vrednost podajnosti vozne površine d_{20} , tj. iz vrednotene za temperaturo 20°C , je treba določiti pri voziščnih konstrukcijah z asfaltno krovno plastjo in

- nevezano spodnjo nosilno plastjo po enačbi

$$d_{20} = d_i \cdot k_T \quad (\text{mm}) \quad (3.8)$$

- hidravlično vezano spodnjo nosilno plastjo po enačbi

$$d_{20} = d_i + k_h \quad (\text{mm}) \quad (3.9)$$

kjer pomeni:

- k_h - korekturno vrednost (mm).

Srednja temperatura asfaltne krovne plasti T_m [°C]	Korekturna vrednost k_h [mm]
5	0,05
6	0,05
7	0,05
8	0,04
9	0,04
10	0,04
11	0,03
12	0,03
13	0,03
14	0,02
15	0,02
16	0,01
17	0,01
18	0,00
19	0,00
20	0,00
21	- 0,01
22	- 0,02
23	- 0,02
24	- 0,03
25	- 0,03
26	- 0,04
27	- 0,05
28	- 0,05
29	- 0,06
30	- 0,06

Korekturna vrednost vpliva sestave voziščne konstrukcije (hidravlično vezane spodnje nosilne plasti) na izračun podajnosti vozne površine pri različni temperaturi (Povzeto po: DRSC, TSC 06.630, 2002, str. 11)

Vpliv letnega obdobja na izračun podajnosti vozne površine je odvisen predvsem od

- stanja vozišča,
- občutljivosti materialov, vgrajenih v območju zmrzovanja, na škodljive učinke mraza ter
- klimatskih in hidroloških pogojev.

Spodnja *preglednica* prikazuje informativne vrednosti količnikov vpliva letnega obdobja *c*.

Količnik <i>c</i>	Značilni pogoji za določitev informativne vrednosti
1,0	meritev je izvršena v obdobju najmanjše nosilnosti (ob odjugi)
1,1 – 1,2	voziščna konstrukcija ni občutljiva na učinke mraza, klimatski in hidrološki pogoji so ugodni
1,2 – 1,4	v voziščno konstrukcijo je vgrajena nosilna plast na učinke mraza delno občutljive nevezane zmesi zrn, klimatski in hidrološki pogoji so ugodni
1,6 – 2,0	krovna plast voziščne konstrukcije je razpokana, v voziščno konstrukcijo je vgrajena nosilna plast na učinke mraza srednje občutljive zmesi zrn, klimatski in hidrološki pogoji so neugodni

Količniki vpliva letnega obdobja c na izračun podajnosti vozne površine z asfaltno krovno plastjo (Povzeto po: DRSC, TSC 06.630, 2002, str. 12)

Pogoj za homogen odsek vozišča glede na podajnost je količnik variacije k_v , ki ga je treba določiti po enačbi

$$k_v = \frac{s}{\bar{d}} \leq 0,35 \quad (3.10)$$

kjer pomeni:

- *s* - standardni odklon vrednosti podajnosti, določen po enačbi:

$$s = \sqrt{\frac{d_{20}^2 - \bar{d} \sum d_{20}}{n - 1}} \quad (3.11)$$

- \bar{d} - srednja vrednost podajnosti, določena po enačbi:

$$\bar{d} = \frac{\sum d_{20}}{n} \quad (3.12)$$

Dolžina homogenega odseka praviloma ne sme biti krajša od 100 m v naseljih in 200 m izven naselij.

Merodajno elastično podajnost vozne površine z asfaltno krovno plastjo, določeno na osnovi rezultatov meritev podajnosti z Benkelmanovo gredjo, je treba določiti po enačbi:

$$d_{mB} = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s) \quad (3.13)$$

kjer pomeni:

- k_{pr} - količnik, odvisen od vrste ceste in željene stopnje varnosti ter znaša:

- $k_{pr} = 2,0$: za avtoceste, hitre ceste in glavne ceste (težek promet)
- $k_{pr} = 1,6$: za regionalne ceste (srednji promet)
- $k_{pr} = 1,3$: za lokalne ceste (lahek promet)

Merodajna elastična podajnost d_{mB} je osnova za oceno stanja voziščne konstrukcije.

V postopku določanja stanja voziščnih konstrukcij in morebitnih potrebnih ukrepov za ureditev stanja je kot merodajna podajnost opredeljena d_{mL} , določena z deflektografom Lacroix.

3.2.2.2 Meritve podajnosti z deflektometrom FWD

Deflektometer je merilna naprava za avtomatsko določitev (meritev in zapis) posedkov vozne površine pod določeno dinamično obremenitvijo. Metoda merjenja z deflektometrom je zasnovana na medsebojni odvisnosti med nosilnostjo in podajnostjo voziščne konstrukcije pod določeno točkovno obremenitvijo. Velikost podajnosti je obratno sorazmerna njeni nosilnosti.

Deflektometer Dynatest 8000 FWD (Falling Weight Deflectometer), ki ga v Sloveniji uporabljamo za izvajanje meritev podajnosti, sestoji iz naslednjih osnovnih sklopov:

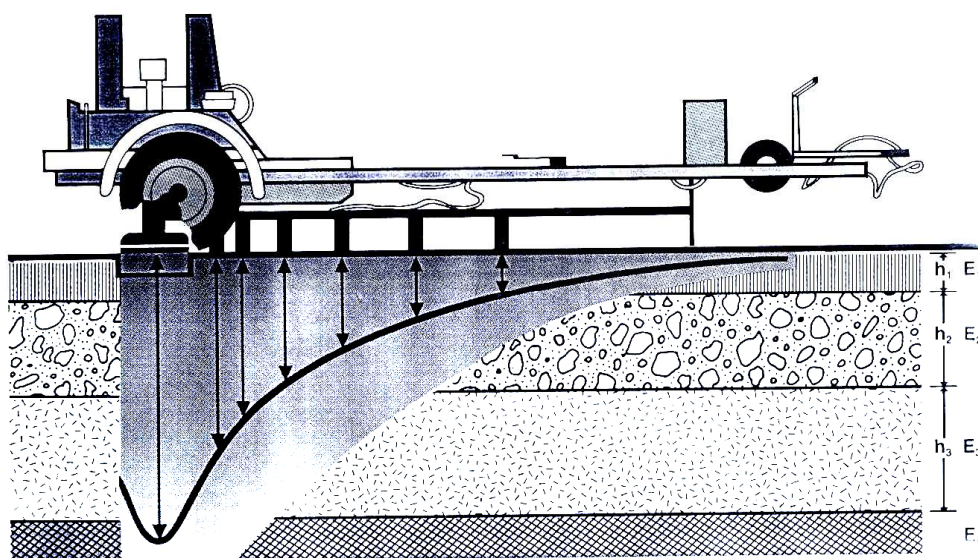
- enosne prikolice,
- računalniško podprtega sistema za preverjanje poteka meritev ter posredovanje podatkov v računalnik,
- računalnika s pripadajočo programsko opremo za krmiljenje celotnega postopka ter opremo za registracijo in obdelavo vseh potrebnih podatkov o meritvah podajnosti in rezultatov meritev.



Slika 4: Primer izvajanja meritev nosilnosti z obremenitvijo na krožno ploščo z merilno opremo FWD

Figure 4: Bearing capacity measurements with FWD, circular plate loading

Meritve podajnosti s FWD in določitev upogibnice (kot karakteristike nosilnosti) se izvajajo na podlagi dinamičnega obremenjevanja vozne površine.



Princip obremenjevanja vozne površine z deflektometrom s padajočo utežjo (Povzeto po: DRSC, TSC 06.630, 2002, str. 7)

Za določitev merodajne podajnosti vozne površine z asfaltno krovno plastjo je treba pri meritvah z deflektometrom s padajočo utežjo zagotoviti dinamično obremenitev obremenilne plošče, ekvivalentno kolesni obremenitvi 50 kN.

Kot merodajno podajnost vozne površine - d_m je treba praviloma upoštevati vrednost, ugotovljeno pri tretjem preskusu s padajočo utežjo.

Z rezultati obremenjevalnega testa in debelinami posameznih plasti lahko izračunamo elastične module posameznih plasti voziške konstrukcije. Pri izvedenju modula elastičnosti je potrebno upoštevati tudi vpliv temperature na podajnost vozne površine.

V kombinaciji s klimatskimi razmerami, utrujanjem materiala in obremenjevalnimi lastnostmi lahko elastične module (vezana nosilna plast - E_1 , nevezana nosilna plast - E_2 , posteljica - E_3) uporabimo za izračun sposobnosti voziške konstrukcije za prevzem prometne obremenitve in oceno pričakovane življenjske dobe ter morebitno potrebno nadgradnjo (preplastitev, ojačitev.)



Slika 5: Sprotno izpisovanje izmerjenih vrednosti podajnosti (defleksij) na terenu

Figure 5: Measured deflections on test field

Končni rezultati analize s programom Elmod so tudi:

- določitev kritične plasti voziške konstrukcije, v kateri najprej pride do poškodovanja, in vrsta poškodbe, ki jo lahko pričakujemo (funkcionalne, strukturne);
- ekvivalentna debelina preplastitve, če je le-ta potrebna.

Na osnovi izkušenj meritev v Sloveniji so tipične vrednosti pričakovanih modulov elastičnosti na najbolj pogosto vgrajenih plasteh voziščne konstrukcije (pri 25°C) in temeljnih tleh - podlagah, podane v *preglednici 2*.

Preglednica 2: Povprečne vrednosti modulov elastičnosti za posamezne plasti v voziščni konstrukciji

Table 2: Average values of elastic modulus for individual pavement layers

Plast v voziščni konstrukciji	Povprečna vrednost modula elastičnosti - E (MPa)
projektirana vrednost za asfaltne plasti (obrabna + nosilna plast)	3500 - 7000
manjše lasaste razpoke na asfaltu (zelo dobro in dobro stanje vozišča, manjše utrujanje)	3000 - 4000
večje mrežaste razpoke na asfaltnem vozišču (slabo in zelo slabo vozišče, močno utrujanje)	1000 - 3000
cementnobetonso vozišče	10000 - 30000
bitumenska stabilizacija	≈ 1000
cementna stabilizacija	≈ 7000
nevezane nosilne plasti (prodec, drobljenec)	100 - 350
temeljna tla – podlaga ($E_3 = 10 \times \text{CBR}$)	10 – 150

Če kot rezultat dobimo prevelika odstopanja omenjenih vrednosti modulov elastičnosti, je meritev neuporabna oziroma pri analizi niso bili upoštevani ustrezni vhodni parametri (npr. o materialih in debelinah plasti v obstoječi voziščni konstrukciji).

3.2.3 Vrednotenje podajnosti

TSC 06.541:2003 Projektiranje, Dimenzioniranje ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij, opredeljuje merodajne podajnosti in mejne (opozorilne) vrednosti podajnosti.

Za ugotavljanje stanja obstoječe voziščne konstrukcije in za določitev primernih ukrepov je treba z uveljavljenimi postopki meritev podajnosti določiti merodajno podajnost vozne površine homogenega odseka ceste d_m . V obeh primerih meritev podajnosti (Lacroix in FWD) je merilo nosilnosti izmerjena podajnost (defleksija) voziščne konstrukcije pod osno obremenitvijo 100 kN.

Spodnja preglednica opredeljuje mejne (opozorilne) vrednosti podajnosti obstoječih vozišč z asfaltno krovno plastjo (za načrtovano 20 letno dobo trajanja), izmerjene z deflektografom Lacroix in z deflektometrom FWD.

Razred prometne obremenitve	Mejna vrednost podajnosti d_m (mm)	
	FWD	Lacroix
- zelo lahka	0,93	1,20
- lahko	0,83	1,10
- srednja	0,69	1,00
- težka	0,55	0,80
- zelo težka	0,40	0,70
- izredno težka	0,36	0,50

Mejne vrednosti podajnosti obstoječih vozišč (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 12)

Uveljavljeni odnos med vrednostjo podajnosti, izmerjeno z deflektometrom FWD in deflektografom Lacroix, je

$$d_{Lacroix} = 1,4 \cdot d_{FWD}^{1,12} \quad (\text{mm}) \quad (3.14)$$

kjer je:

d_{FWD} vrednost podajnosti pod obremenilno ploščo, izmerjena s FWD.

Voziščno konstrukcijo na kateri je merodajna podajnost večja od mejne, je potrebno ojačati.

Za posamezne vrednosti podajnosti na testnih odsekih, obravnavanih v *točki 7*, je na osnovi meritev podajnosti s FWD ugotovljeno, da so vse izmerjene vrednosti pod mejno vrednostjo podajnosti.

3.3 Prečna ravnost

3.3.1 Opis

Promet na cestah moramo obravnavati kot sistem, v katerem sodelujejo voznik, vozilo in vozna površina. Vozna površina naj bi zagotavljala čimbolj varno, udobno in gospodarno vožnjo ter čimbolj trajno osnovo za premikanje vozil, neodvisno od trenutnih vremenskih razmer.

Preoblikovanje asfaltnih plasti (globina kolesnice in globina zastajanja vode) predstavlja problem, ki se na naših cestah velikokrat pojavlja in zaradi katerega se zmanjšuje udobnost vožnje in prometna varnost.

K zunanjim vplivom na vozne površine, ki povzročajo spremembe ravnosti vozniških površin, štejemo:

- prometne obremenitve in
- klimatske vplive.

Prometna obremenitev vpliva predvsem na različna preoblikovanja vozne površine, ki se kažejo v obliki kolesnic in na utrujanje voziščne konstrukcije kot celote. Klimatski vplivi pa v pretežni meri povzročijo spremembe osnovnih materialov. Vplivi nihanja temperatur, padavin, zmrzovanja, hidroloških razmer, vetra in drugi se odražajo deloma samo na vozni površini, kjer določajo hitrost staranja materialov, deloma pa tudi na celotni voziščni konstrukciji.

V pogledu varnosti vožnje, ki je prvo merilo uporabnosti, sta ravnost in torna sposobnost praviloma kritični samo, ko je vozna površina mokra, če izvzamemo zasnežene in poledenele vozne površine, ki pa predstavljajo že izredno stanje. Na udobnost, gospodarnost in trajnost pa je vpliv suhe in mokre vozne površine podoben.

V odvisnosti od načina izgradnje in zunanjih vplivov se vozne površine v večji ali manjši meri stalno spreminjajo. Vzrokov za spremembe ravnosti - nastanek kolesnic - je veliko, najpomembnejši pa izhaja predvsem iz ekstremnih povečanj prometnih obremenitev.

V pogledu ravnosti vozniških površin razlikujemo na njih naslednje spremembe:

- *preoblikovanje*, ki se kaže predvsem v obliki kolesnic in narivov (prečnih ter vzdolžnih valov);
- *posedanje*, ki je v pretežni meri posledica naknadnih zgostitev vgrajenih materialov pod prometno obremenitvijo, deloma pa lahko tudi posledica neenakomerne konsolidacije temeljnih tal;
- *obrabo*, ki jo v pretežni meri pogojuje staranje; preperevanje in utrujanje materialov na vozni površini lahko povzroči do 0,1 mm obrabe na leto.

Z nastajanjem neravnin se tudi slabša odvodnjavanje vozne površine, kar povzroča nastanek hidroplaninga.

Vedno hitrejša vozila in gostejši promet postavljajo ravnost kot osnovni element uporabnosti vozniških površin vedno bolj v ospredje.

Kot prostorski trak je vozna površina zgrajena v večjih ali manjših vertikalnih in horizontalnih krivinah ter vijačnih prehodih. Zato moramo dejansko vozno površino smatrati kot prekrivanje posameznih osnovnih geometrijskih površin (ravna, valovita, hrapava).

Ker je ravnost vozne površine v prvi vrsti pogoj za udobno vožnjo in večje hitrosti vožnje, je za večino uporabnikov pomembno odstopanje vozne površine od zamišljene srednjice prereza skozi zgrajeno površino obrabne plasti v vzdolžni ali prečni smeri, s katero nadomestimo načrtovani (teoretični) prerez. Valovi, hrbti in kotanje - različne globine in dolžine - na vozni površini, ki odstopajo od te primerjalne črte, predstavljajo neravnine.

3.3.1.1 Vplivi neravnin na varnost vožnje

Neravnine na vozni površini v veliki meri povzročijo (v odvisnosti od dolžine in amplitude, t.j. geometrije neravnin) mehanska nihanja vozil. Frekvenca teh nihanj je odvisna od hitrosti vožnje. Nihanja vozil pa lahko povzročijo znatne spremembe obremenitev.

Ker je konstrukcija sodobnih težkih tovornih vozil in tudi hitrost vožnje zelo podobna, nastopajo največje obremenitve praviloma vedno na istem mestu na vozni površini. Zaradi tega se neravnine vedno bolj povečujejo, kar ima za posledico stalno naraščanje obremenitev, tudi največjih, in temu ustrezno preoblikovanje vozne površine (nastanek kolesnic).

Pri prehodu vozila preko neravne vozne površine nastajajo nihanja, ki povzročijo

- dodatne obremenitve (vplivajo predvsem na voziško konstrukcijo in konstrukcijo vozila, torej na gospodarnost, v skrajnih primerih pa tudi na udobnost) ter
- izgubo stika z vozno površino, ki pa v veliki meri vpliva na varnost vožnje.

Ko vertikalni pospešek vozila preseže težnostnega, kolesa ne morejo slediti neravninam in se - kljub vzmetenju - oddvajajo od vozne površine. To pa ima za posledico hitrejšo blokiranje zavrtega kolesa in podaljšanje zavorne poti. Takšno odskakovanje koles povzročijo že neravnine z amplitudo 10 mm. Pri zaporednih neravninah z amplitudo 20 ali več mm (npr. pri narivih in grbinah na vozni površini, ki nastanejo zaradi horizontalnih sil vozil pri zaviranju, pospeševanju in vožnji v krivini) je kolo pretežno oddvojeno od vozne površine. Takšno zmanjšanje kolesne obremenitve, še posebno pa oddvajanje koles vozil od vozne površine, je kritično za varnost vožnje v neugodnih vremenskih razmerah.

3.3.1.2 Vplivi neravnin na udobnost vožnje

V največji meri vplivajo na udobnost vožnje nihanja vozil, ki jih pogojujejo neravnine na vozni površini.

Kratke zaporedne neravnine (valove), ki povzročijo nihanja s frekvenco nad 20 Hz, skoraj v celoti prevzame vzmetenje koles in osi vozil. Pospeške oziroma sunke, ki nastanejo pri počasnem nihanju (s frekvenco do 1 Hz), ko ostane vzmetenje skoraj togo, pa voznik v vozilu močno zazna. Najneprijetnejša pa so za človeka nihanja s frekvenco 2 do 5 Hz.

Če na neravni vozni površini dolžina neravnin vzbudi frekvenco vozila, ki je enaka lastni (praviloma nad 14 Hz), lahko nastopi resonanca nihanja. Pri tej se največja in najmanjša obremenitev periodično menjavata. Ker so za človeka takšna nihanja neprijetna, vozniki

običajno povečujejo hitrost vožnje. To pa je - zaradi pogojene spreminjajoče obremenitve koles oziroma samo občasnega prenosa sil s koles vozila na vozno površino - nevarno, še posebno pri vožnji v krivinah.

Frekvenco nihanja lahko smatramo kot merilo "trdote", s katero pospeški oziroma sunki, ki so nastali zaradi neravnin na vozni površini, delujejo na vozilo. S tem pa je frekvenca nihanja tudi merilo udobnosti vožnje. Vpliv frekvence nihanja na udobnost vožnje, podan kot odvisnost od dolžine valov in hitrosti vožnje, je prikazan v *spodnji razpredelnici*.

Hitrost vožnje km/h	Območja frekvenc dolžine valov - m				
	$\infty - 10$	10 - 5	5 - 2	2 - 1	1 - 0
40	0 - 1,1	1,1 - 2,2	2,2 - 5,6	5,6 - 11,1	11,1 - ∞
50	0 - 1,4	1,4 - 2,8	2,8 - 6,9	6,9 - 13,9	13,9 - ∞
60	0 - 1,7	1,7 - 3,3	3,3 - 8,3	8,3 - 16,7	16,7 - ∞
80	0 - 2,2	2,2 - 4,4	4,4 - 11,1	11,1 - 22,2	22,2 - ∞
100	0 - 2,8	2,8 - 5,6	5,6 - 13,9	13,9 - 27,8	27,8 - ∞
120	0 - 3,3	3,3 - 6,7	6,7 - 16,7	16,7 - 33,3	33,3 - ∞
	vpliv na udobnost vožnje				
	ga skoraj ni	zmeren	velik	zmeren	ga skoraj ni

Vpliv frekvenc v odvisnosti od hitrosti vožnje in dolžin valov (neravnin) na udobnost vožnje (Povzeto po: Žmavc, 1997, str. 295)

3.3.2 Meritve

Rezultati meritev ravnosti vozni površin so osnova

- za preveritev, če zgrajena nova vozna površina ustreza uveljavljenim tehničnim pogojem in
- za ugotovitev primernosti stanja obstoječe vozne površine za zagotavljanje ustrezne varnosti, udobnosti in gospodarnosti.

V cestogradnji običajno obravnavamo vzdolžni in prečni prerez vozne površine v pogledu ravnosti ločeno, kajti vpliv na vožnjo je različen. Medtem ko je ravnost nove vozne površine v prečnem prerezu (prečna ravnost) v pretežni meri praviloma zagotovljena že z uporabo sodobnih strojev za vgrajevanje pri gradnji, je dolge valove, grbe in kotanje (vzdolžna ravnost) pogosto mogoče ugotoviti šele z ustreznimi meritvami.

Prečne neravnine na vozišču (kolesnice) so posledica preoblikovanja v voziščno konstrukcijo vgrajenih plasti. Pred določitvijo ustreznega ukrepa za sanacijo vozišča, poškodovanega s kolesnicami, je potrebno poiskati vzrok njihovega nastanka.

Postopki za določitev prečne ravnosti vozne površine so podrobno opisani v tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.610: 2003 Lastnosti vozni površin – Ravnost.

Ravnost vozne površine je preverimo na osnovi

- odstopanja pod merilno letvijo ali
- posnetka dejanskega prereza.

Z načinom preverjanja je opredeljena tudi ustrezna oprema.

Z meritvami ravnosti prečno na os ceste določimo

- razlike med višinami navidezne povezovalne (referenčne) črte med dvema točkama na površini vozišča na izbrani medsebojni oddaljenosti (praviloma 4 m) in površine vozišča,
- višine grebenov in globine žlebov ter
- globine zastajanja vode v kolesnicah.

Za te meritve so uveljavljeni postopki

- z merilno letvijo in klinom ter
- s profilografom,

v določenih pogojih tudi niveliranje.

Teoretična globina zastajanja vode je globina neravnine med namišljeno horizontalno linijo, položeno čez točko grebena prečnega prereza ob kolesni sledi in najnižjo točko v kolesni sledi.

3.3.2.1 Merilna letev

V večini držav se je ohranila kot merodajna za meritve prečne ravnosti merilna letev dolžine 4 m s klinom, vendar je za meritve prečne ravnosti na avtocestah standardna meritev s 4 m dolgim merilom nezadostna. Za meritve globine zastajanja vode v kolesnicah je primerna krajša merilna letev (npr. dolga 2 m), opremljena z vodno tehtnico.

Merilna letev mora biti iz zdravega lesa (s kovinskim merilnim robom), lahke kovine ali umetne snovi. Praviloma mora imeti pravokoten prerez, širok najmanj 25 mm. Prerez merilne letve mora zagotoviti primeren odpornostni moment. Sredina merilne letve mora biti označena.

Merilni klin mora biti iz kovine, dolg do 300 mm in širok 25 do 35 mm. Nagib merilne ploskve mora znašati 10° do 15°, merilna ploskev pa označena z merilom za višino (globino) v mm.

Merilni rob letve in merilna ploskev klina na nobenem mestu ne smeta odstopati od umerjene ravnine za več kot $\pm 0,5$ mm.

3.3.2.2 *Profilograf*

Trenutno so najpopolnejše naprave, ki omogočajo tekoče meritve vzdolžne in prečne ravnosti, profilometri oz. profilografi z izpopolnjenimi laserskimi merilniki vertikalne oddaljenosti površine vozišča od natančne referenčne ravnine na vozilu. Z moderno računalniško tehnologijo je omogočeno merjenje profila v vzdolžni smeri do hrapavosti, ki že presega pojem neravnosti.

Profilograf sestoji iz dveh osnovnih sklopov:

- merilne letve s stojaloma in
- opreme za grafični zapis.

Merilna letev mora biti iz zdravega lesa ali iz lahke kovine. Površina letve za naleganje opreme za grafični zapis mora biti ravna (referenčna ravnina). Obdelava merilne letve mora zagotavljati neovirano vodenje opreme za grafični zapis.

Kovinski stojali, prirejeni za pritrditev merilne letve, morata zagotoviti stalno višino površine letve, namenjene za naleganje opreme za grafični zapis. Stojali sta lahko opremljeni s kolesi za vožnjo ali prirejeni za stabilno postavitvev.

Premična oprema za grafični zapis sestoji iz

- drsnega tipala vozne površine (praviloma merilno kolo), pritrjenega na prenosno ročico s pisalom in
- valja za registriranje profila.

Oprema za grafični zapis meritev mora zagotoviti veren prikaz dejanskega profila (v ustreznem merilu).

Grafični zapis merjenega prereza (profilogram) je v merilu višin 1:1 in merilu dolžin 1:25.

Profilograf mora zagotoviti natančnost grafičnega zapisa višin ± 1 mm in dolžin ± 5 mm.

Meritve prečne ravnosti vozne površine morajo biti izvršene

- na novozgrajeni vozni površini na stikih in robovih vgrajenih pasov,
- na obstoječi vozni površini pa tako, da je predvsem določeno odstopanje v obeh kolesnih sledeh.

Izmerjene vrednosti odstopanj ravnosti vozne površine je treba navesti za vsak vozni pas posebej in na enoto dolžine ter zaokrožiti na mm.

Sodobna merilna oprema in uveljavljeni postopki, ki se uporabljajo v svetu, imajo možnost sočasnega merjenja vzdolžne in prečne ravnosti.

3.3.3 Vrednotenje prečne ravnosti

Z gospodarsko opravičljivimi stroški ni mogoče zgraditi vozne površine, ki ne bi v večji ali manjši meri odstopala od teoretično ravne. Zato je potrebno oceniti, kolikšne neravnine imajo na uporabnost vozne površine pomembnejši vpliv, s posebnim ozirom na vpliv hitrosti vožnje. Pri tem se upravičeno postavlja vprašanje, ali je smiselno za vozne površine na cestah, na katerih je predvidena in omogočena samo manjša hitrost vožnje, zahtevati in z velikimi stroški graditi enako ravne vozne površine kot na cestah s hitrim in gostim prometom.

V Sloveniji ni merilne opreme za strojno merjenje prečne ravnosti, so pa postavljeni kriteriji za mejne (dopustne) globine kolesnic, ki še ustrezajo sprejemljivemu stanju v pogledu udobnosti in varnosti vozne površine.

Pri določanju kriterijev mejnih vrednosti neravnin na obstoječih cestah je treba upoštevati, da so nastale neravnine posledica naslednjih vplivov:

- netočnost izvedbe
- trajna deformacija pod prometom
- neravnine, ki so posledica različnih fizikalnih lastnosti uporabljenih materialov
- neravnine zaradi vpliva okolja (npr. diferencialni posedki plasti)

Pri tem ne smemo zanemariti vpliva potrebnega minimalnega prečnega nagiba vozne površine q_{min} .

Ustrezno vrednotenje ravnosti določene vozne površine pogojuje torej tudi primerno ocenitev posameznega vpliva na uporabnost v določenih pogojih vožnje in posledice.

TSC 06.610: 2003 Lastnosti vozniških površin - Ravnost opredeljuje stanje vozišč glede na prečno ravnost (globino kolesnice) v odvisnosti od gostote prometa oz. prometne obremenitve in glede na globino zastajanja vode v odvisnosti od mejne hitrosti vožnje na cesti.

Razvrstitev prometa	Razred stanja				
	Zelo dobro	Dobro	Mejno	Slabo	Zelo slabo
	Globina kolesnice [mm]				
srednja ali večja gostota (PLDP > 2000 vozil) in srednja ali težja prometna obremenitev (> 80 prehodov NOO 82 kN/dan)	< 6	6 do 10	10 do 14	14 do 18	> 18
majhna gostota (PLDP < 2000 vozil) in lažja prometna obremenitev (< 80 prehodov NOO 82 kN/dan)	< 8	8 do 12	12 do 16	16 do 20	> 20

Ocena prečne ravnosti na obstoječih cestah (Povzeto po: DRSC, TSC 06.610, 2003, str. 10)

3.3.4 Ukrepi za zagotovitev ustrezne prečne ravnosti

Med najpomembnejšimi vzroki za nastanek kolesnic so:

- prekomerne (dolgotrajne) prometne obremenitve,
- kanalizirane prometne obremenitve,
- povišana temperatura ozračja,
- potek trase ceste (prisojne lege, veliki in dolgi vzdolžni nagibi),
- slabo vgrajene (zgoščene) asfaltne plasti,
- neustrezna sestava asfaltne zmesi oziroma uporaba neustreznih materialov v asfaltni zmesi.

Odpornost asfaltne zmesi proti preoblikovanju je odvisna od elastičnega (trenjskega dela) in od plastičnega (viskozne delu).

Elastični del odpornosti asfaltne zmesi proti preoblikovanju je odvisen predvsem od

- značilnosti zmesi kamnitih zrn,
- vložene energije za zgostitev zrn (valjanja) in
- vsebnosti bituminoznega veziva in votlin.

Delež notranjega trenja v asfaltni zmesi, t.j. elastičnega dela, je lahko v skupnem odporu proti preoblikovanju znatno večji od deleža kohezije in viskoznosti tekoče komponente, tj. plastičnega dela. Zato je treba zagotoviti v asfaltnih zmesih, še posebej za težke pogoje uporabe (veliki in dolgi vzdolžni nagibi, kanaliziran promet številnih težkih tovornih vozil, prisojna lega idr.), čim večje notranje trenje nosilnega skeleta z drobljenimi zrn. Naravna zrna z bolj ali manj zaobljenimi robovi in konicami lahko v določenih pogojih omogočajo trajno preoblikovanje takšne asfaltne zmesi, praktično z nezmanjšano hitrostjo. Če pa je v zmesi vsaj del (čim grobejših) drobljenih zrn, se preoblikovanje, tj. lezenje asfaltne zmesi s časom ustavi.

Poleg navedene oblike kamnitih zrn je za zagotovitev čim večjega notranjega trenja pomembna tudi sestava zmesi kamnitih zrn: delno nezvezna sestava zagotavlja večjo odpornost asfaltne zmesi proti preoblikovanju. Vpliv takšne sestave pa je manjši od vpliva vsebnosti bitumenskega veziva in votlin v asfaltni zmesi:

- pri nizkih temperaturah (okoli 25°C) se obseg preoblikovanja asfaltnih zmesi, pri katerih se vsebnosti bitumenskega veziva malo razlikujejo (do 0,5 m.-%), tudi nebitveno razlikuje;
- pri visokih temperaturah (nad 40°C) pa je trajno preoblikovanje asfaltnih zmesi, ki vsebujejo večjo količino bitumenskega veziva, praviloma znatno večje.

Mehanske lastnosti asfaltne zmesi se z zmanjševanjem vsebnosti votlin in z večanjem zgoščenosti izboljšujejo do določene mere, pri kateri je dosežena maksimalna odpornost proti preoblikovanju. Če asfaltna zmes vsebuje preveč veziva, lahko prekoračenje določene

zgoščenosti, ki je bilo doseženo z valjanjem ali pod prometom, pogojuje občutno zmanjšanje njene odpornosti proti preoblikovanju.

Pri določanju sestave asfaltnih zmesi je, zaradi odpornosti proti preoblikovanju, potrebno upoštevati naslednje:

- Asfaltna zmes, vgrajena v voziščno konstrukcijo, mora ves čas uporabe vsebovati določen minimalni prostorninski delež votlin $V\%_{v/A}$. V splošnem mora znašati $V\%_{v/A}$ v asfaltnih zmesih (preskušancu po Marshallu)

- za obrabne plasti 3 do 6 V.-%
- za nosilne plasti 4 do 9 V.-%.

Natančne vrednosti so za zahtevane prometne obremenitve in posamezne asfaltne zmesi podane v ustrezni tehnični regulativi.

Tako sestavljena asfaltna zmes bo primerno odporna proti prekomernemu preoblikovanju, obrabi in utrujanju.

- Vsebnost bitumenskega veziva v asfaltni zmesi mora biti čim manjša. Debelina filma bitumenskega veziva na kamnitih zrnih mora zagotoviti
 - pri nizkih temperaturah ali kratkotrajnih obremenitvah elastično preoblikovanje asfaltne zmesi brez nastanka razpok,
 - pri visokih temperaturah ali dolgotrajnih obremenitvah pa samo omejeno plastično preoblikovanje; debelina filma bitumenskega veziva ne sme prekomerno zmanjšati notranjega trenja v asfaltni zmesi.

Zato se je pri projektiranju asfaltnih zmesi potrebno prilagoditi lokalnim pogojem in klimatskim razmeram.

- Bitumensko vezivo sme zapolniti votline v zmesi kamnitih zrn samo do določene stopnje. V asfaltni zmesi je potreben določen prostor, kamor se bo bitumensko vezivo lahko umaknilo,
 - ko bo izpostavljeno pritisku zaradi postkomprimacije vgrajene asfaltne zmesi pod prometom ali
 - ko se mu bo zaradi visoke temperature povečala prostornina.

Stopnja zapolnjenosti votlin v zmesi kamnitih zrn z vezivom $SZV_{zz/B}$ naj bi znašala v asfaltnih zmesih

- za obrabne plasti 73 do 85 %
- za nosilne plasti 50 do 74 %

V zadnjih letih se zato v Sloveniji za vse predhodne sestave asfaltnih zmesi izvajajo meritve globine in hitrosti nastajanja kolesnic v določeni asfaltni zmesi z napravo "Wheel tracking".

Plastični del odpornosti asfaltna zmesi proti preoblikovanju pa je odvisen predvsem od togosti bitumenske malte (konsistence veziva in stabilizirajočega učinka polnila).

Viskoznost in kohezija tekoče komponente asfaltnih zmesi sta v pretežni meri odvisni od temperature in trajanja obremenitve.

Vpliv temperature na preoblikovanje asfaltnih zmesi lahko zmanjšamo predvsem na dva načina:

- Z izbiro bitumenskega veziva z večjo viskoznostjo: trši bitumen tip 50/70 ima, npr., približno 10 krat večji modul togosti S_{bit} od tipa bitumna 160/220.

Pri uporabi trših bitumenskih veziv pa je treba upoštevati, da imajo višje pretrgališče in so zaradi tega pri nižjih temperaturah bolj krhka in zato bolj dovzetna za nastanek razpok. To je predvsem pomembno pri asfaltnih zmesih, vgrajenih v razmeroma tanke obrabne plasti.

- Z izbiro bitumenske malte s povečanim stabilizacijskim učinkom: bitumensko malto lahko napravimo manj temperaturno občutljivo, kot je sicer v njej vsebovano bitumensko vezivo,
 - z uporabo posebnih polnil in/ali dodatkov (polimerov), ki imajo večjo sposobnost stabiliziranja tekoče komponente v asfaltni zmesi ali
 - s povečanjem razmerja polnilo:vezivo na 1,5:1 do 2:1, kar pri enaki količini uporabljenega bitumenskega veziva pomeni zmanjšanje debeline filma veziva.

Poleg navedenih ukrepov, ki zadevajo projektiranje asfaltnih zmesi, se za preprečitev prekomernega preoblikovanja v voziščne konstrukcije vgrajenih plasti asfaltnih zmesi v praksi poslužujemo še dveh ukrepov:

- premaknitev časa vgrajevanja asfaltnih zmesi na jesen, tj. za obdobja poletne vročine, ko so temperature nižje in bodo kritične obremenitve nastopile šele, ko bo odpornost asfaltna zmesi proti preoblikovanju zaradi staranja veziva že nekoliko večja;
- povišanje temperature mešanja in vgrajevanja asfaltnih zmesi.

Plastično preoblikovanje vgrajenih asfaltnih zmesi je torej mogoče v veliki meri zmanjšati ali celo preprečiti

- z uporabo čim manjših količin primernih bitumenskih veziv (s polimeri modificirana veziva - PmB),
- z izključno uporabo drobljenih kamnitih zrn in skeletnih zmesi s čim večjim maksimalnim zrnom,
- z uporabo polnila s primernim stabilizirajočim učinkom,

- z zagotovitvijo ustreznega deleža votlin v zmesi kamnitih zrn in v vgrajeni asfaltni zmesi ter
- z ustrežno stopnjo zapoljenosti votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumenskim vezivom.

3.4 Vzдолžna ravnost

3.4.1 Opis

Na stanje vozne površine - uporabnost, udobnost in varnost - lahko pri gradnji pomembno vplivamo. Pri tem je bistvenega pomena vzdolžna ravnost. Vzdolžne neravnine neugodno vplivajo tako na udobnost, kot na varnost vožnje.

Z vzdolžno ravnostjo, tj. v smeri osi ceste, je določen

- dejanski vzdolžni profil površine ter
- prekomerne razlike med načrtovanimi in dejanskimi višinami površine, vključno z njihovo dolžino.

Postopki za določitev vzdolžne ravnosti vozne površine so podrobno opisani v tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.610: 2003 Lastnosti vozniških površin - Ravnost.

3.4.2 Meritve

Za meritve vzdolžne ravnosti so uveljavljeni postopki

- z merilno letvo in klinom,
- s profilografom in niveliranjem stojišč ter
- s profilometrom.

Upravljalavec državnih cest DRSC izvaja meritve vzdolžne ravnosti s profilometrom, ki je primeren za meritve v prometnem toku (hitrosti vožnje 40 do 120 km/h), ima digitalni zapis, registrira kratke, srednje in dolge valove (dolžine od 0,8 do 30 m), ima interval vzorčenja do 10 cm in točnost merjenja razdalj do $\pm 0,3 \%$.

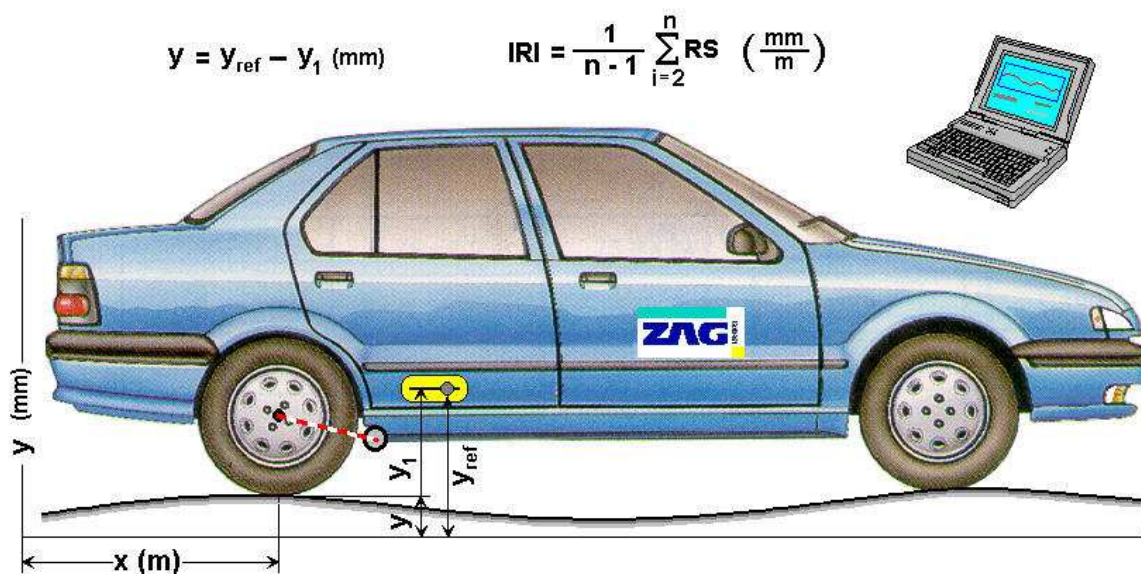
Meritve vzdolžne ravnosti s profilometrom morajo za merjeni odsek opredeliti:

- število posameznih odstopanj ravnosti in njihovo dolžino v območju med mejno in skrajno mejno vrednostjo,

- število posameznih odstopanj ravnosti in njihovo dolžino v območju nad skrajno mejno vrednostjo,

- vrednosti indeksa *IRI* (International Roughness Index) za določeno dolžino ali na enoto dolžine kot tudi povprečno za merjeni odsek.

V Sloveniji izvajamo meritve vzdolžne ravnosti s profilometrom, ki so ga razvili na Zavodu za gradbeništvo in je prikazan na *sliki 6*.



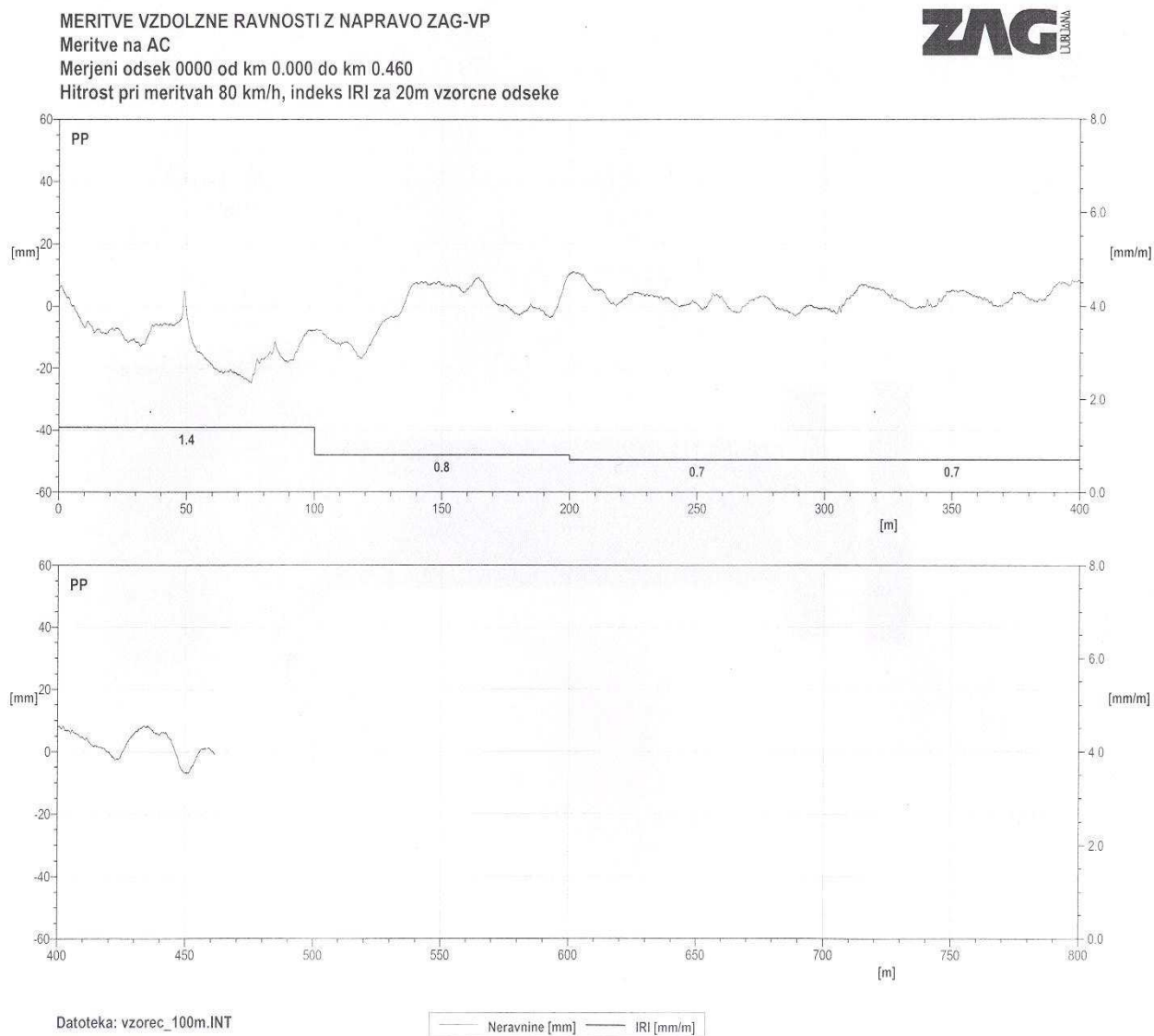
Slika 6: Oprema za meritve vzdolžne ravnosti vozne površine - ZAG VP Vzdolžni profilometer

Figure 6: Longitudinal evenness measuring equipment - ZAG VP Longitudinal Profilometer

Račun indeksa *IRI*, ki je merilo za določitev razreda stanja, mora potekati po algoritmu Svetovne banke, ki je izpeljan za gibanje modela četrtine vozila po izmerjeni vozni površini. Vrednost indeksa *IRI* mora biti iz vrednotena kot povprečna vrednost vseh nagibov vzdolžnega prereza *RS* v posameznih točkah *n* glede na prejšnjo točko, po enačbi

$$IRI = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n RS_i \quad (3.15)$$

Vrednosti indeksa *IRI* morajo biti na osnovi meritev na 20 metrskih odsekih izvrednotene za posamezne 100 m dolge odseke in celoten obravnavani odsek ceste, kot je prikazano na sliki 7.



Slika 7: Primer prikaza meritev vzdolžne ravnosti

Figure 7: Longitudinal evenness measurements

3.4.3 Vrednotenje vzdolžne ravnosti

Informativne mejne vrednosti za oceno uporabnosti vozni površin v odvisnosti od velikosti indeksa IRI_{100} in gostote prometa oz. prometne obremenitve so podane v naslednji preglednici.

Razvrstitev prometa	Razred stanja vozišča				
	Zelo dobro	Dobro	Mejno	Slabo	Zelo slabo
Velikost indeksa IRI_{100}					
srednja ali večja gostota (PLDP > 2000 vozil) in srednja ali težja prometna obremenitev (> 80 NOO 82 kN/dan)	< 1,2	1,2 do 1,5	1,5 do 2,2	2,2 do 3,1	> 3,1
majhna gostota (PLDP do 2000 vozil) in lažja prometna obremenitev (do 80 NOO 82 kN/dan)	< 2,6	2,6 do 3,5	3,5 do 4,3	4,3 do 4,9	> 4,9

Mejne vrednosti indeksa vzdolžne ravnosti IRI_{100} za oceno uporabnosti vozne površine na obstoječih cestah (Povzeto po: DRSC, TSC 06.610, 2003, str. 11)

3.5 Torna sposobnost

3.5.1 Opis

Torna sposobnost vozne površine pomeni vpliv kakovosti kamnitih zrn na vozni površini in hrapavosti vozne površine na velikost pogonskih, zavornih in stranskih sil, ki se lahko prenašajo s pnevmatik na kolesih vozil na vozno površino. Zato torna sposobnost vozne površine odločilno vpliva na oprijemljivost in s tem na varnost vožnje.

Oprijemljivost pomeni sposobnost prenosa sil v naležni površini pnevmatike s trenjem z vozila na vozno površino.

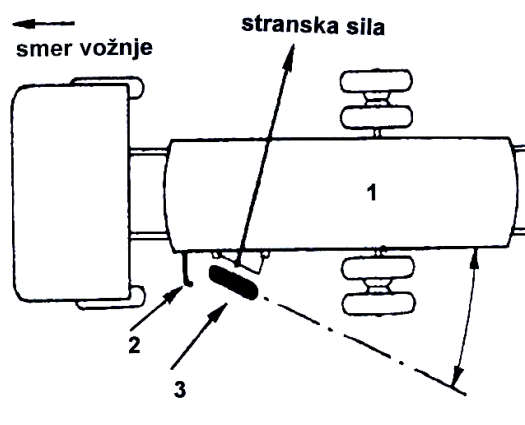
3.5.2 Meritve

Meritve odpora proti drsenju in globine hrapavosti vozne površine je mogoče izvajati na cestah s sodobno asfaltno obrabno oziroma cementnobetonsko krovno plastjo, predvsem v zunanji kolesnici, ki je praviloma najbolj obremenjena.

Postopek, ki ga uporablja upravljavec državnih cest DRSC v Sloveniji za vrednotenje stanja torne sposobnosti, je kontinuirana meritev odpora vozne površine poševno vodenemu merilnemu kolesu proti drsenju z merilno napravo Side-way force Coefficient Routine Investigation Machine - Texture (SCRIMTEX) pri hitrosti vožnje 50 km/h.

Merilna naprava SCRIMTEX je sestavljena iz naslednjih osnovnih sklopov:

- tovornega vozila s cisterno za vodo (1),
- sistema za kontroliran dovod vode pred merilno kolo (2),
- računalnika z elektronsko opremo za vodenje postopka meritev odpora proti drsenju, postopka meritev globine hrapavosti (teksture) ter avtomatsko registracijo rezultatov,
- sistema za meritev odpora proti drsenju pod kotom 20° na os vozila vodenega merilnega (petega) kolesa (3),
- sistema za meritev globine hrapavosti (profila) vozne površine z laserjem.



Shematski prikaz merilne naprave SCRIMTEX (Povzeto po: DRSC, TSC 06.620, 2002, str. 5)

Kot pribor je pri meritvah z napravo SCRIMTEX potreben termometer.

Pred pričetkom meritev odpora proti drsenju ali globine hrapavosti mora biti izvršen ogled trenutnega stanja vozne površine in z nje odstranjeni vsi tujki. Če je merjena vozna površina močneje onesnažena, jo je treba pred meritvijo sprati z vodo (iz cisterne).

Na državnih cestah (z dovoljeno hitrostjo vožnje $V \geq 60$ km/h) so za oceno stanja vozne površine, tj. odpornosti proti drsenju in globine hrapavosti, potrebne meritve z napravo SCRIMTEX.

Globina hrapavosti je količnik med prostornino poglobitev pod vrhom konic zrn na površini vozišča in pripadajočo površino. Je tudi merilo grobe hrapavosti, določeno z razgrnitvijo peska (Sand-patch-method).

Za izključitev razlik v oceni stanja, ki jih pogojujejo spremembe lastnosti vozne površine, nastale zaradi specifičnih vplivov nanje v različnih letnih časih, je priporočljivo izvršiti meritve odpora vozne površine proti drsenju trikrat v letu (spomladi, poleti in jeseni).

Merilna naprava SCRIMTEX mora na isti vozni površini in v kratkem časovnem razmiku ter s 95 % - no verjetnostjo omogočiti

- ponovljivost rezultatov meritev odpora proti drsenju z isto napravo in z istim operaterjem ter isto pnevmatiko v območju

$$p = 0,03 SN \quad (3.16)$$

kjer pomeni SN drsno število, ter

- ponovljivost rezultatov meritev z različnima napravama SCRIMTEX, z različnima operaterjema in z različnima pnevmatikama v območju

$$p = 0,07 SN \quad (3.17)$$

V računalnik je treba vnesti vse podatke o merilnem odseku in o poteku meritve (dolžino pododsekov za določanje povprečnih vrednosti odčitkov).

Če je od predhodne meritve preteklo več kot 15 minut, je treba med približevanjem merilnemu odseku (približno 500 m) spustiti merilno kolo na vozno površino, da bo ob začetku meritev zagotovljena primerna temperatura pnevmatike.

Na začetku merilnega odseka mora vozilo doseči ustrezno merilno hitrost vožnje, ki jo mora ohraniti na celotnem merilnem odseku; če to v mejah sprejemljivih toleranc ni mogoče, je treba meritev ponoviti.

Med postopkom meritve je treba skrbno preverjati

- položaj merilnega kolesa (na sredini zunanje kolesnice),
- iztok vode pred merilno kolo in
- rezultate meritve,

in zabeležiti vse ugotovljene posebnosti med meritvijo.

Na vsakem merilnem odseku morata biti izvršeni dve meritvi odpora vozne površine proti drsenju neposredno ena za drugo.

Meritve globine profila vozne površine z merilno napravo SCRIMTEX morajo biti izvršene po podrobnih navodilih proizvajalca naprave. Povprečne globine profila vozne površine morajo biti odčitane na vsakih 30 cm in izražene v mm. Programska oprema mora zagotoviti izračun standardnega odklona globine profila za željeno dolžino pododseka.

Računalniška oprema v sklopu naprave za meritve odpora proti drsenju SCRIMTEX mora v celoti nadzorovati postopek meritve in registracijo rezultatov ter iz vrednotiti rezultate v željeni obliki.

Po zaključeni meritvi mora programska oprema zagotoviti tabelarni izpis posameznih povprečnih vrednosti SN in podatkov o globini hrapavosti za izbrane dolžine merilnih pododsekov, vključno minimalne in maksimalne vrednosti, ter - poleg tabelarnega izpisa - grafični prikaz rezultatov meritev odpora proti drsenju in globine hrapavosti.

V primeru odstopanja temperature vozne površine od osnovne primerjalne temperature 20°C je treba rezultate meritev korigirati.

Temperatura mokre vozne površine ($^{\circ}\text{C}$)	Korekcijska vrednost k_T (enota SRT)
5	- 5,0
6	- 4,7
7	- 4,3
8	- 3,9
9	- 3,5
10	- 3,0
11	- 2,7
12	- 2,4
13	- 2,0
14	- 1,7
15	- 1,4
16	- 1,1
17	- 0,8
18	- 0,5
19	- 0,3
20	0
21	0,2

Temperatura mokre vozne površine	Korekcijska vrednost k_T
22	0,5
23	0,8
24	1,0
25	1,2
26	1,4
27	1,6
28	1,8
29	1,9
30	2,0
31	2,1
32	2,3
33	2,4
34	2,5
35	2,6
36	2,7
37	2,8
38	2,8
39	2,9
40	3,0

Korekcijske vrednosti k_T pri meritvah SCRIMTEX (Povzeto po: DRSC, TSC 06.620, 2002, str. 8)

Na cestah z omejeno hitrostjo vožnje ($V \leq 50$ km/h) omogočajo zadovoljivo oceno torne sposobnosti vozne površine meritve z nihalom SRT. Dodatne meritve globine hrapavosti so koristna informacija.

3.5.3 Vrednotenje torne sposobnosti

TSC 06.620: 2003 Lastnosti vozni površin - Torna sposobnost opredeljuje merila za oceno torne sposobnosti obstoječih sodobnih vozni površin na osnovi meritev odpora proti drsenju z napravo SCRIMTEX.

Osnovni kriterij za ovrednotenje stanja vozni površin v pogledu varnosti vožnje je določitev odsekov, kjer je ocena stanja torne sposobnosti mejna ali slabša. Informacija o teksturi je koristna dodatna informacija, ki pa do sedaj ni bila upoštevana pri opredelitvi stanja vozišča glede tornih karakteristik.

Homogen merilni odsek mora biti praviloma dolg približno 300 m, vendar pa ne manj kot 100 m. Mejna območja vrednosti torne sposobnosti za oceno stanja obstoječega vozišča, določena z napravo SCRIMTEX so podana v *preglednici*.

Merilna hitrost vožnje (km/h)	Razred stanja vozišča				
	Zelo slabo	Slabo	Mejno	Dobro	Zelo dobro
	Območje povprečne vrednosti torne sposobnosti na homogenem merilnem odseku				
	Velikost koeficienta drsnega trenja <i>SN</i>				
30	< 50	50 – 56	57 – 61	62 – 72	> 72
40	< 46	46 – 52	53 – 56	57 – 67	> 67
50	< 42	42 – 48	49 – 52	53 – 63	> 63
60	< 39	39 – 45	46 – 48	49 – 59	> 59
70	< 36	36 – 42	43 – 45	46 – 56	> 56
80	< 33	33 – 39	40 – 42	43 – 53	> 53
90	< 30	30 – 36	37 – 39	40 – 50	> 50

Mejna območja vrednosti torne sposobnosti za oceno stanja obstoječega vozišča, določena z napravo SCRIMTEX (Povzeto po: DRSC, TSC 06.620, 2002, str. 11)

Vrednosti koeficientov drsnega trenja *SN* so za posamezne testne odseke navedeni v *točki 7*.

3.5.4 Ukrepi za zagotovitev ustrezne torne sposobnosti

Za doseganje čim boljše oprijemljivosti med pnevmatiko in voziščem ter za zagotavljanje ustreznega koeficienta drsnega trenja *SN* je potrebno vozno površino primerno oblikovati in ji dati pravo površinsko strukturo.

Predvsem pri voziščih, pri katerih so v obrabnih plasteh uporabljene karbonatne zmesi zrn, pride zaradi manjše odpornosti proti obrabi do zaobljenja robov posameznih zrn, do drobljenja in zglajevanja vozne površine. Pri projektiranju in proizvodnji asfaltnih zmesi je potrebno paziti na ustrezen delež veziva in polnila v asfaltni zmesi zato, da po vgradnji asfaltne plasti ne pride do izstopanja bitumna (tj. gladkega vozišča).

Na gladke vozne površine je potrebno izvesti novo obrabno plast s primerno hrapavo površino. Najprimernejše za to so obdelave površine z zmesmi zrn eruptivnega izvora (površinske ali tankoplastne prevleke). V primeru izstopanja bitumna je potrebno predhodno večje »mastne« površine odstraniti.

3.5.5 Hidroplaning

Z nastajanjem neravnin se slabša odvodnjavanje vozne površine, kar pogojuje nastanek hidroplaninga. Vzrok za zmanjševanje trenja med mokro vozno površino in pnevmatiko sta viskoznost in gostota vode, ki ovirata izrinjenje vode z naležne površine pnevmatike na vozni površini, ter naraščajoča količina vode, ki jo je treba odstraniti z naležne površine v enoti časa.

Hitrost vožnje v km/h	Čas naleganja v s
60	0,012
80	0,009
100	0,007
120	0,006

Čas naleganja pnevmatike osebnega vozila na vozno površino v odvisnosti od hitrosti vožnje (Povzeto po: Žmavc, 1997, str. 304)

Za vzpostavitev suhega stika med pnevmatiko in vozno površino je razpoložljivi čas razmeroma kratek in če je

- hitrost vozila prevelika, teža pa premajhna,
- drenažna sposobnost vozne površine in pnevmatike premajhna,
- plast vode na vozni površini pa debelejša,

lahko ostane pod celotno naležno površino pnevmatike plast, morebiti tudi samo film vode, ki pnevmatiko popolnoma ločuje od vozne površine.

Vzrok za naraščajoče ostajanje plasti vode na območju naleganja pnevmatike na vozni površini sta predvsem dva fizikalna pojava:

- hidrodinamični pritisk, tj. pritisk zaradi gostote vode in spremembe hitrosti, in
- tanek film vode pod pritiskom.

Tretja možnost, tj. ostajanje vode na naležni površini zaradi nastanka vodne pare kot posledice visokih temperatur pri devulkanizaciji pnevmatik, pri motornih vozilih zaradi prenizkih temperatur v normalnih pogojih vožnje ni mogoča. Če pa zelo obremenjeno (blokirano) kolo vozila drsi po vozni površini, prekrito s tanko plastjo vode, z večjo hitrostjo, lahko zaradi pregretja pnevmatike nastopi hidroplaning že tudi pri hitrosti vožnje približno 100 km/h. V takem primeru pregreta pnevmatika pretvarja vodo v drenažnih zarezah na naležni površini v vodno paro z visokim pritiskom, ki lahko oddvaja kolo od vozne površine. Po drugi strani pa je tudi sila trenja segrete pnevmatike manjša.

Pritisk pnevmatike na mirujočo plast vode povzroči, da se voda pri umikanju oblikuje med nagnjeno naležno površino pnevmatike in vozno površino v klin, v katerem nastane hidrodinamični pritisk. Ta pritisk je večji od ploskovnega pritiska posameznih elementov na

naležni površini pnevmatike na vozno površino in pogojuje dvižno silo na naležno površino pnevmatike. Velikost te dvižne sile je odvisna predvsem od debeline plasti filma vode ter od širine naležne površine pnevmatike in hitrosti njenega gibanja.

Vsak element naležne površine pnevmatike, ki pride v območje naleganja na vozno površino, potrebuje določen čas, da prebije film vode in prepotuje celotno območje naleganja.

Čas, potreben za prebitje filma vode, ni odvisen od hitrosti vožnje, zavisi pa od

- izmer elementov naležne površine pnevmatike,
- debeline in viskoznosti vmesnega filma vode ter od
- hrapavosti vozne površine.

Ker pa je čas potovanja v območju naleganja obratno sorazmeren s hitrostjo vožnje, je lahko krajši od časa, potrebnega za prebitje filma vode. V takšnem primeru ostane na celotni naležni površini pnevmatike film vode neprekinjen in nastane hidroplaning. To stanje je doseženo,

- če kotaleče kolo začne zastajati ali
- če se blokirano kolo, ko popustimo zavoro, več ne zavrti.

Hidroplaning ima torej za posledico, da ni mogoče prenašati s pnevmatike na vozno površino nikakršnih drugih sil, razen sile teže vozila, niti momentov. Še tako majhen zavorni moment je večji od pogonskega momenta. Zato je posledica nastalega stanja in zaviranja praktično takojšnje blokiranje koles vozila. Razen sile trenja vode med naležno površino pnevmatike in vozno površino ne obstoji nobena druga. Ta je pa izredno majhna in podobna sili trenja na mokrem ledu. Zato voznik prej ali slej izgubi oblast nad vozilom.

Skrajne mejne debeline plasti vode na vozni površini so, v odvisnosti od hitrosti vožnje, navedene v preglednici.

Mejna hitrost vožnje na cesti	Enota mere	Globina zastajanja vode [mm]	
		mejna - h_m	skrajna mejna - h_{sm}
$V \leq 70$ km/h	mm	8	10
$V > 70$ km/h	mm	4	6

Mejne in skrajne mejne vrednosti globin zastajanja vode h_m in h_{sm} v kolesnicah (Povzeto po: DRSC, TSC 06.610, 2003, str. 11)

Da pa bi bila v pogledu možnosti nastanka hidroplaninga zagotovljena varna vožnja, mora znašati globina profila na pnevmatiki najmanj 4 mm.

3.6 Hrupnost

3.6.1 Opis

Hrup je vsak zvok, ki v naravnem in življenjskem okolju vzbuja nemir, moti človeka in škodi njegovemu zdravju ali počutju in škodljivo vpliva na okolje. Ob tem dobiva varovanje okolja vedno večji pomen.

Reševanje problematike hrupa zahteva celovito obravnavo možnosti za preprečitev nastanka hrupa kot tudi za zaščito pred njim. To je predvsem pomembno za zagotovitev primarne kakovosti življenja v naseljih v bližini bolj obremenjenih cest.

Značilnosti vozne površine, ki vplivata na hrup, sta predvsem hrapavost in votlavost. Razvoj teži k hrapavosti vozne površine, ki povzroča čim manjše vzbujanje pnevmatik v nihanje in čim manjši šum zračnih tokov v profilu pnevmatike ter izdelavi votlavih obrabnih plasti, ki hrup absorbirajo. Ko skušamo ustvariti tišje obrabne plasti, se moramo zavedati, da s tem ne smemo poslabšati osnovnih lastnosti obrabnih plasti.

3.6.1.1 Hrapavost

Mikrohrapavost je potrebna za zagotovitev primerne trenja med pnevmatiko in vozno površino, ne povzroča pa večjega hrupa, ker ne vzbuja večjega nihanja pnevmatike zaradi vtiskanja zrn. Na grobo hrapavi vozni površini je vtiskanje hrap v pnevmatiko intenzivnejše, zato je hrup kotaljenja večji. Iz navedenega izhaja, da so valovi na vozni površini do določene dolžine potrebni, večji pa nezaželeni. Optimum leži v območju makrotekture, to je vozne površine, z razmiki med konicami zrn približno 1 do 10 mm, ki jih je mogoče zagotoviti z zmesmi skeletne sestave, ki vsebujejo zrna do približno enake velikosti 8 oziroma 11 mm, torej asfaltna zmes za obrabno plast naj bi vsebovala kamnita zrna drobirja, velika do 11 mm.

3.6.1.2 Votlavost

Votlave obrabne plasti, pri katerih segajo votline v globino, ali pa so povezane celo skozi vso plast, so bile v nastanku namenjene predvsem povečanju varnosti vožnje. Z njimi je odpravljeno zastajanje vode na vozni površini, pnevmatike vodo lažje in hitreje odrinejo z območja naleganja na vozni površini, nastajanje pršca za vozili je skoraj onemogočeno, zmanjšano je bleščanje svetlobe luči vozil. Poleg izboljšanja varnosti vožnje so votlave obrabne plasti v veliki meri sposobne tudi zmanjšati hrup, ki ga povzročajo motorna vozila = absorpcija.

Prednosti in pomanjkljivosti votlavih in grobohrapavih obrabnih plasti

Votlava plast



Grobohrapava plast



Grobohrapave obrabne plasti povzročajo v mokrem vremenu pršec za vozilom, hrup kotaljenja je velik, zrna so izpostavljena večjemu zaglajevanju, povečan je odpor kotaljenja, kar povzroča večjo porabo goriva, povečana je tudi obraba pnevmatik.

Votlava obrabna plast ima veliko boljšo sposobnost drenažiranja, kar zmanjšuje pršec za vozilom, hrup kotaljenja je bistveno manjši zaradi absorptivnega učinka plasti, zaglajevanje je manjše in tudi odpor kotaljenja je manjši.

Seveda imajo votlave plasti tudi svoje pomanjkljivosti, ki se kažejo v

- pogojih uporabe pozimi (potrebna je dvakrat večja količina soli za posipanje, posip z drobirjem ni dovoljen zaradi nevarnosti zapolnitve votlin),
- potrebi po rednem čiščenju votlin v obrabni plasti z vodnim curkom pod primernim pritiskom za zagotavljanje odvajanja padavinske vode skozi obrabno plast in
- pomanjkljivem odvajanju vode ob robu votlave obrabne plasti, ki lahko povzroči zamrznitev vode v votlinah in posledično porušitev.

Primerno drenažno sposobnost je potrebno zagotoviti s čim večjim prostorskim deležem votlin (približno 20 V.-%). Le to se da zagotoviti z enoznatimi sestavami zmesi, ki pa iz tehničnih in gospodarskih razlogov niso primerne. Primeren delež votlin lahko zagotovimo tudi z izpadlo zrnastostjo v sicer enakomerno sestavljeni zmesi kamnitih zrn. Tako lahko preprečimo, da prostih votlin, ki jih ustvarijo večja zrna, ne bi zapolnila zrna naslednje manjše zrnastosti.

Ker se pri takšni votlavi, izrazito skeletni sestavi asfaltne zmesi, v zmesi kamnitih zrn zelo zmanjša število stikov med zrn, to pogojuje, da imajo kamnita zrna v zmesi veliko trdnost robov in konic, vendar tudi čim večjo ostrino površine na prelomnih ploskvah.

Votlavost pogojuje dve značilni obremenitvi veziva: večja oksidacija ter povečane natezne napetosti in večje strižne sile na robovih in konicah zrn. Za prevzem teh dodatnih obremenitev je potrebno kakovostno vezivo (vmešanje ustreznih polimerov in elastomerov v standardizirani cestogradbeni bitumen) in povečanje debeline filma bitumenskega veziva, ki obviija zrna.

3.6.1.3 Obrabne plasti za zmanjšanje hrupa

Če povzamemo do sedaj povedano, je potrebno za dosego manj hrupnih asfaltnih plasti zagotoviti primerno makrohrapavost in votlavost obrabne plasti, ki bo hkrati zagotavljala tudi varnost prometa in trajnost obrabne plasti.

Največjo vsebnost votlin imajo asfaltne zmesi drenažnega asfalta (DA). Bistveno manjšo vsebnost votlin, vendar za zmanjšanje hrupa še vedno zelo ugodno teksturo, imajo obrabne plasti, zgrajene iz asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom (DBM). Predvsem je DBM bolj odporen proti preoblikovanju, bolj trajen ter lažji za vzdrževanje in vgrajevanje.

3.6.2 Meritve

Raven hrupa kotaljenja je opredeljena z značilnostmi prometa (vrsta pnevmatik in hitrost vožnje) in vozne površine (sestava obrabne plasti).

Obremenitev naravnega in življenjskega okolja s hrupom je mogoče ugotoviti z

- izračunom ocenjene ravni hrupa zaradi cestnega prometa na z zakonom opredeljenih osnovah in/ali
- meritvami ravni hrupa na kraju imisije kot posledica emisije posameznega ali več virov hrupa zaradi cestnega prometa.

Medtem, ko je izračunana ocenjena raven hrupa v veliki meri subjektiven podatek, so s predpisano merilno opremo izmerjeni podatki osnova za subjektivno vrednotenje vpliva hrupa na naravno in življenjsko okolje.

Za meritve ravni hrupa kotaljenja, ki ga ustvarjajo pnevmatike med vožnjo z določeno hitrostjo, so uveljavljeni postopki:

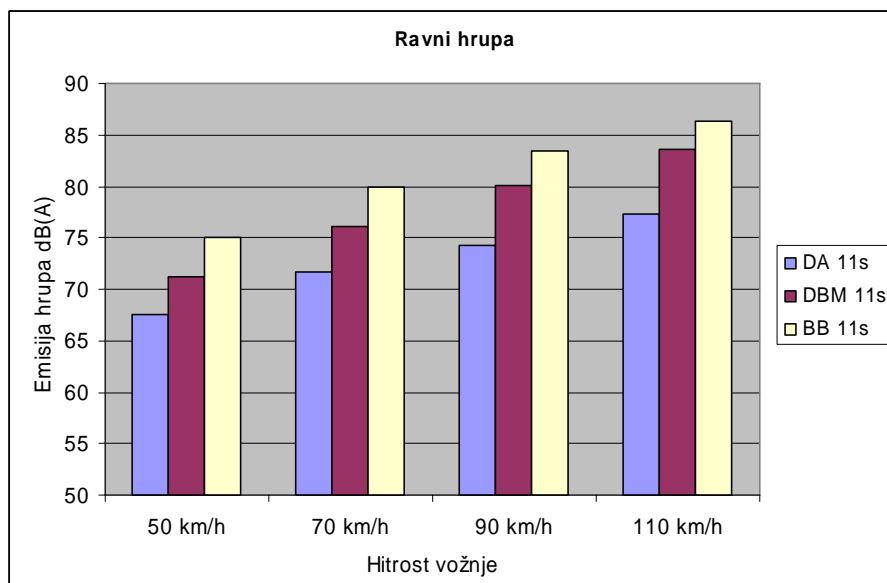
- s stacionarno nameščenimi merilniki,
- z merilnikom nameščenim ob kolesu,
- v posebni merilni prikolic ali
- na navadnem osebem vozilu ali prikolic v prostem prometnem toku.

Da bi ugotovili, katera vrsta asfaltnih zmesi, uveljavljena za obrabne plasti v naši praksi, ustvarja najmanjši hrup kotaljenja in, ali značilnosti pri nas že uveljavljenih vrst asfaltnih zmesi za obrabne plasti kažejo drugačne medsebojne odnose kot v inozemstvu, je bila leta 2002 v sklopu razvojno raziskovalnih nalog DARS izvršena temeljna raziskava z naslovom »Vplivi vrste asfaltne zmesi na hrupnost« (izvajalec ZAG, Zavod za gradbeništvo Slovenije).

S podobnimi merilnimi postopki so bile na 30 odsekih preskušene značilne lastnosti v obrabne plasti vgrajenih asfaltnih zmesi

- drenažnega asfalta DA 11s,
- drobirja z bitumenskim mastiksom DBM 11s in DBM 8s ter
- bitumenskega betona BB 11s, BB 8s, BB 11 in BB 8.

Rezultati so za asfaltne zmesi DA 11s, DBM 11s in BB 11s za različne vozne hitrosti prikazani v grafikonu 3.



Grafikon 3: Vrednosti emisij hrupa za različne obrabne plasti pri različnih hitrostih vožnje

Graph 3: Noise emission values for different wearing courses at various driving speeds

Izvršene meritve hrupa kotaljenja so pokazale, da nastane pri vseh hitrostih vozil najmanjši hrup na obrabni plasti iz drenažnega asfalta DA 11s, na vseh drugih preskušanih vrstah obrabnih plasti (DBM, BB) pa za do 8 dB(A) večji hrup.

Emisija hrupa obrabne plasti drobirja z bitumenskim mastiksom je do približno 3 dB(A) manjša od emisije hrupa obrabne plasti BB.

3.6.3 Vrednotenje hrupnosti

Izmerjena vrednost ravni hrupa kotaljenja mora biti rezultat povprečja več meritev. Pri vrednotenju ravni hrupa kotaljenja je treba upoštevati predvsem hitrost vožnje merilnega vozila in morebitne druge vplive (hrup okolja).

Mejne vrednosti ravni hrupa v posameznih okoljih in v določenih časovnih obdobjih so opredeljene v ustreznih zakonskih določilih. Zmanjšanje hrupa za 3 dB(A), ki ga lahko zagotovimo že z uporabo drobirjev z bitumenskim mastiksom, pomeni

- zmanjšanje prometa za 50 % ali
- zmanjšanje hrupa za 50 % ali
- podvojitev oddaljenosti od izvora hrupa.

Zmanjšanje hrupa za približno 5 dB(A) pa dosežemo z uporabo drenažnih asfaltnih zmesi.

4 POSTOPKI ZA DOLOČITEV DIMENZIJ VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ

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

Pri načrtovanju voziščnih konstrukcij je potrebno upoštevati, da jih ne moremo natančno izračunati. Vzrok za to je predvsem v razpoložljivih materialih, ki jih v pogledu kakovosti ne moremo natančno razvrstiti v skupine z enakimi lastnostmi. Bistvene značilnosti večine cestogradbenih materialov, npr. trajna enakomernost, istovrstnost in enake lastnosti, so samo domnevane in jih lahko le izjemoma v celoti tudi preverimo. Tudi obremenitve, tako glede velikosti kot razporeditve na vozni površini, lahko določimo samo približno.

Prav tako se pri načrtovanju ojačitev na že zgrajenih voziščih srečujemo s problemom določitve količnikov ocenjenega stanja - poškodovanosti (k_{os}), ki jih določimo bodisi na osnovi izvedenih meritev bodisi ocenjenega stanja poškodovanosti vozne površine.

V kolikor bi želeli čimbolj natančno določiti utrujanje voziščne konstrukcije v določenem časovnem obdobju, bi morali razpolagati z vsemi potrebnimi podatki o vgrajenem stanju posameznih materialov (asfaltnih zmesi in nevezanih materialov) v novi voziščni konstrukciji in jih primerjati z lastnostmi materialov po preteku določenega časovnega obdobja. Navedeno je pogosto nemogoče, ker podatkov o lastnostih nove voziščne konstrukcije v obdobju, ko načrtujemo sanacijo, nimamo na razpolago.

4.1 Določitev dimenzij novih asfaltnih voziščnih konstrukcij

4.1.1 Splošno

Dimenzije novih voziščnih konstrukcij se v Sloveniji določajo po Tehnični specifikaciji za ceste TSC 06.520, ki 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.

Osnovni parametri pri tem empiričnem postopku določanja dimenzij voziščnih konstrukcij so:

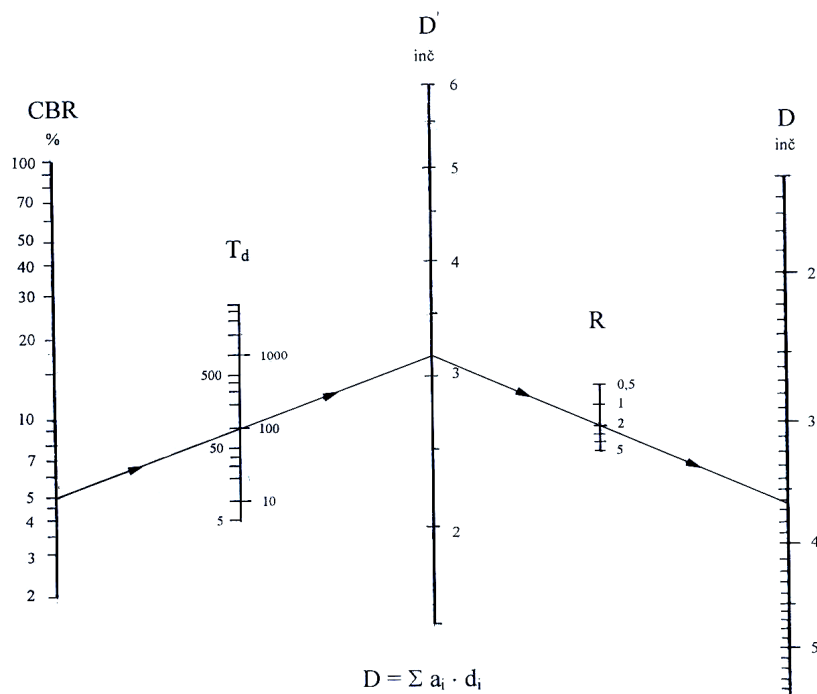
- doba trajanja voziščne konstrukcije,
- uporabnost vozne površine na koncu dobe trajanja (p),
- nosilnost podlage = posteljice (CBR),
- merodajna dnevna prometna obremenitev (T_d),
- klimatski in hidrološki pogoji (R),
- značilnosti materialov v načrtovani voziščni konstrukciji (a_i, d_i).

Uporabnost vozne površine je kot ciljna vrednost določena z indeksom vozne sposobnosti p , ki znaša

- za nova, idealno ravna asfaltna vozišča: $p = 5,0$,
- za popolnoma dotrajana (porušena) vozišča, po katerih promet ni več mogoč, $p = 0$.

Meritve uporabnosti vozne površine, oziroma določitev indeksa vozne sposobnosti na osnovi rezultatov meritev v praksi ni uveljavljena. Kot merodajna mejna vrednost indeksa vozne sposobnosti na koncu dobe trajanja voziščne konstrukcije je sprejeta vrednost $p_k = 2,0$, ki pomeni sicer še uporabno, vendar skrajno mejno stanje vozne površine.

Medsebojna odvisnost osnovnih parametrov (CBR , T_d , R , D) je po AASHO opredeljena v nomogramu.



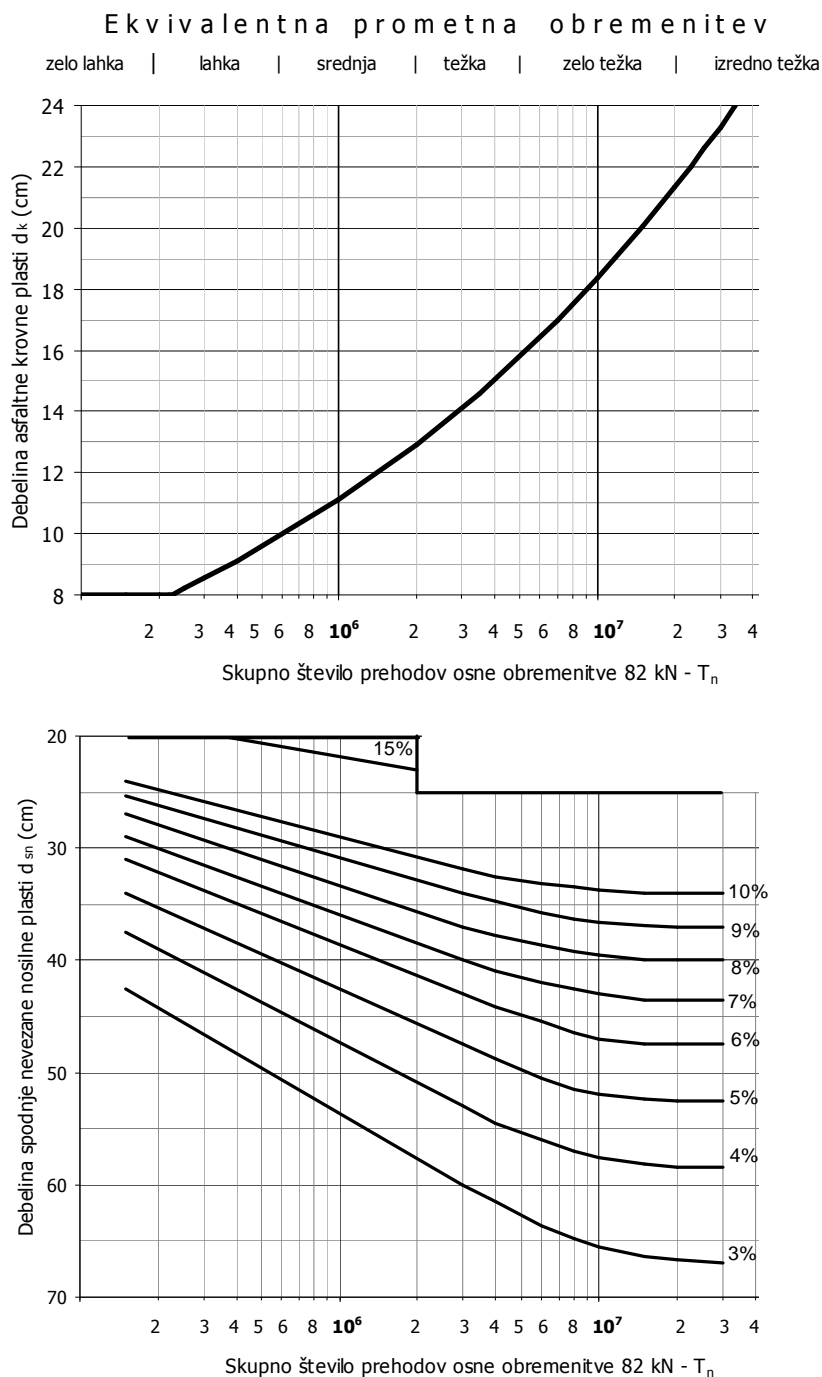
Nomogram za določitev debelinskega indeksa voziščne konstrukcije D ($p = 2,0$) (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 5)

4.1.2 Postopek določanja

Postopek določanja dimenzij novih asfaltnih voziščnih konstrukcij obsega:

- določitev merodajnih osnov za dimenzioniranje in sicer
 - analizo oziroma določitev merodajne prometne obremenitve v načrtovani dobi trajanja - T_n (skladno s tč. 2.1),
 - analizo oziroma določitev nosilnosti podlage - CBR (skladno s tč. 2.3),
 - analizo klimatskih in hidroloških pogojev → določitev minimalne potrebne debeline voziščne konstrukcije - h_{min} (skladno s tč. 2.4) in
 - določitev debeline in vrste posameznih plasti (skladno s tč. 2.2).

Za določitev dimenzij voziščne konstrukcije z asfaltno krovno plastjo in spodnjo nevezano nosilno plastjo = določitev debeline in vrste posameznih plasti, se uporabljata *diagrama*^(*). Pri tem je potrebno debeline in vrste posameznih plasti določiti glede na značilnosti materialov z upoštevanjem ustreznih količnikov ekvivalentnosti za izbrane materiale.



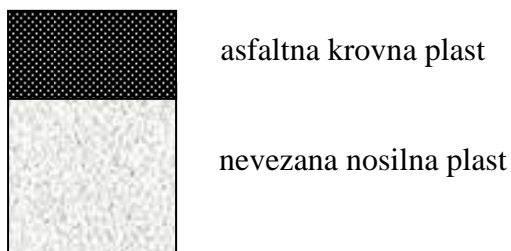
Diagrama^(*) za določitev potrebnih debelin posameznih plasti voziščnih konstrukcij z asfaltno krovno plastjo in spodnjo nevezano nosilno plastjo (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 10)

4.1.3 Osnovne vrste asfaltnih voziščnih konstrukcij

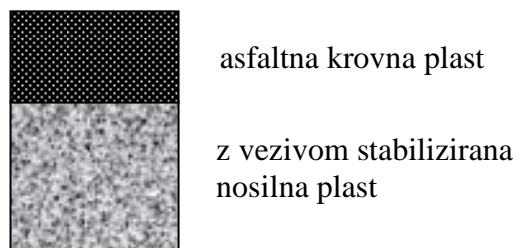
Asfaltna voziščne konstrukcije so lahko zgrajene v treh značilnih sestavah, ki se v osnovi razlikujejo v spodnjih nosilnih plasteh.

Glede na vrsto uporabljenega materiala so spodnje nosilne plasti lahko zgrajene iz

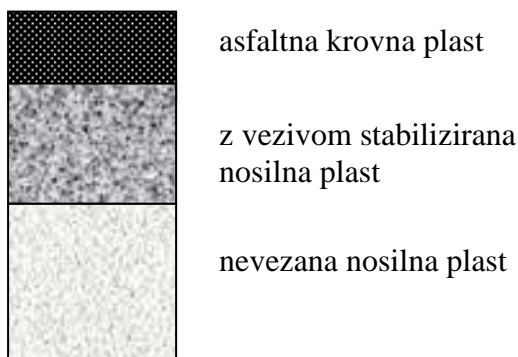
- nevezane zmesi kamnitih zrn,
- s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn ali
- s cementom ali z bitumnom stabilizirane zmesi kamnitih zrn in nevezane zmesi kamnitih zrn.



Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjo nosilno plastjo iz nevezane zmesi kamnitih zrn (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 8)



Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjo nosilno plastjo iz z bitumnom ali s cementom stabilizirane zmesi kamnitih zrn (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 8)



Asfaltna voziščna konstrukcija s spodnjima nosilnima plastema iz z bitumnom ali s cementom stabilizirane zmesi kamnitih zrn in iz nevezane zmesi kamnitih zrn (Povzeto po: DRSC, TSC 06.520, 2003, str. 8)

V določenih pogojih je lahko asfaltna voziščna konstrukcija zgrajena z zamenjano lego spodnjih nosilnih plasti.

4.1.3.1 Asfaltna krovna plast

Skupna potrebna debelina asfaltne krovne plasti d_k , tj. asfaltne obrabne in asfaltne zgornje vezane nosilne plasti, je v *diagramu*^(*) določena za povprečno kakovost asfaltne zmesi, ki je ovrednotena z računskim količnikom ekvivalentnosti $a_{ik} = 0,38$.

Izbira asfaltnih zmesi za obrabno in zgornjo vezano nosilno plast je odvisna od specifičnih pogojev uporabe, tj. predvsem predvidene prometne obremenitve, klimatskih pogojev in poteka trase, ki jim mora biti prilagojena sestava zmesi kamnitih zrn kot tudi vrsta bitumenskega veziva. Kakovost izbranih asfaltnih zmesi mora ustrezati zahtevam v veljavni tehnični regulativi za proizvedeno in vgrajeno asfaltno zmes.

Za določitev debeline obrabne plasti d_o in zgornje vezane nosilne plasti d_{zv} je treba upoštevati količnike ekvivalentnosti a_o in a_{zv} , navedene v *razpredelnici na str. 10*, in tehnološko pogojene mejne vrednosti, po enačbi:

$$D_k = a_{ik} \cdot d_k = 0,38 \cdot d_k = a_o \cdot d_o + a_{zv} \cdot d_{zv} \quad (4.18)$$

Asfaltne zmesi za obrabne plasti za nove voziščne konstrukcije za zelo težko in izredno težko prometno obremenitev morajo praviloma vsebovati modificirano bitumensko vezivo.

Za nove asfaltne voziščne konstrukcije z težko, zelo težko in izredno težko prometno obremenitvijo je treba uporabiti za zgornjo vezano nosilno plast asfaltno zmes bituminizirani drobljenec, priporočena pa je tudi uporaba ustrezno modificiranega bitumenskega veziva. Predvsem za lahko in zelo lahko prometno obremenitev pa je v zgornjo vezano nosilno plast lahko vgrajena asfaltna zmes bituminizirani prodec.

4.1.3.2 Spodnja vezana nosilna plast

Spodnjo nevezano nosilno plast zmesi zrn prodca je mogoče delno ali v celotni debelini zamenjati tudi z zmesjo zrn drobljenca ali prodca, stabilizirano s cementom ali z bitumnom. Ustrezni računski količnik ekvivalentnosti je opredeljen v *razpredelnici na str. 10*.

Najmanjša uporabljena debelina spodnje vezane nosilne plasti zmesi kamnitih zrn za nove asfaltne voziščne konstrukcije znaša:

- če so obremenjene s težkim prometom in stabilizirane

- s cementom

najmanj 18 cm,

- z bitumenskim vezivom

najmanj 14 cm,

- če so obremenjene s srednjim ali lahkim prometom in stabilizirane

- s cementom najmanj 15 cm,
- z bitumenskim vezivom najmanj 12 cm.

Vrsta materiala za spodnjo vezano nosilno plast, tj. z bitumenskim vezivom ali s cementom stabilizirane zmesi kamnitih zrn, mora biti prilagojena prometnim in klimatskim pogojem, poteku trase ter gospodarskim pogojem.

Kakovost asfaltne zmesi ali mešanice s cementom v spodnji vezani nosilni plasti mora ustrezati zahtevam v veljavni tehnični regulativi za proizvedeno in vgrajeno zmes ali mešanico.

4.1.3.3 Spodnja nevezana nosilna plast

Debelina plasti nevezane zmesi kamnitih zrn v spodnji nosilni plasti je v *diagramu*^(*) opredeljena za zmes naravnih zrn prodca v debelini plasti do vključno 40 cm z računskim količnikom ekvivalentnosti $a_{in} = 0,11$. Za večje debeline spodnje nevezane nosilne plasti prodca znaša računski debelinski indeks plasti $D_{sn} = 4,50$ cm.

Računska debelina spodnje nevezane nosilne plasti zmesi zrn prodca mora znašati za nove asfaltne voziščne konstrukcije, obremenjene

- s težkim prometom, najmanj 25 cm,
- s srednjim ali lahkim prometom pa najmanj 20 cm.

V primeru, da je zaradi slabe nosilnosti podlage in težke prometne obremenitve potrebna po *diagramu*^(*) plast nevezane zmesi zrn prodca, debela več kot 50 cm, je praviloma potrebno ustrezno povečati nosilnost podlage (posteljice).

Spodnjo nevezano nosilno plast zmesi zrn prodca je mogoče delno ali v celotni debelini zamenjati z zmesjo zrn drobljenca, upošteva računski količnik ekvivalentnosti $a_{sn} = 0,14$. Ker je tudi debelina spodnje nevezane nosilne plasti zmesi zrn drobljenca omejena na 40 cm, je mogoče z njo nadomestiti ekvivalentno računsko debelino plasti prodca, ki znaša

$$40 \times 0,14/0,11 \cong 50 \text{ cm} \quad (4.19)$$

Vrsta zmesi kamnitih zrn za spodnjo nevezano nosilno plast mora biti prilagojena prometnim obremenitvam in gospodarskim pogojem. Za nove asfaltne voziščne konstrukcije z težko, zelo težko in izredno težko prometno obremenitvijo je praviloma treba uporabiti za spodnjo nevezano nosilno plast zmesi drobljenih kamnitih zrn.

Kakovost zmesi kamnitih zrn za spodnjo nevezano nosilno plast mora ustrezati zahtevam v veljavni tehnični regulativi za proizvedeno in vgrajeno zmes zrn.

4.1.4 Postopna izgradnja

Pri načrtovanju postopne izgradnje nove asfaltne voziščne konstrukcije je treba upoštevati, da mora biti spodnja nosilna plast – bodisi da bo zgrajena samo iz nevezane ali z vezivom stabilizirane zmesi zrn ali kombinacije obeh – zgrajena naenkrat za vso načrtovano dobo trajanja, asfaltna obrabna plast pa samo za prvo delno dobo trajanja.

Potrebno debelino plasti asfaltne zmesi za nadgraditev (za prvo delno dobo trajanja) načrtovane voziščne konstrukcije je treba določiti za preostalo dobo trajanja iz razlike izvednotenih potrebnih debelin plasti asfaltnih zmesi za celotno dobo trajanja in za prvo delno dobo trajanja.

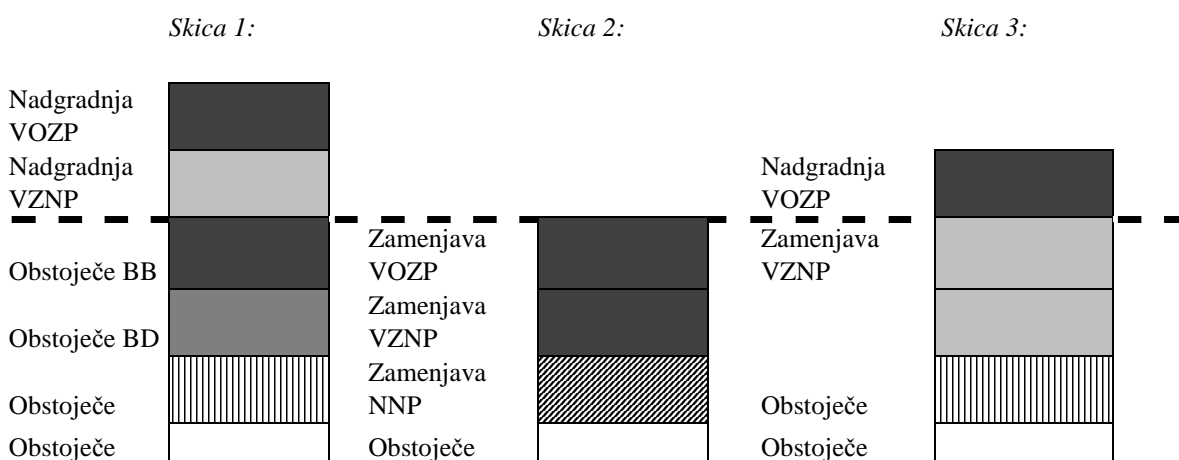
Pred izgradnjo končne načrtovane asfaltne voziščne konstrukcije oziroma druge stopnje je praviloma treba z meritvami podajnosti (npr. z Benkelmanovo gredjo, deflektometrom ali deflektografom) preveriti podajnost obstoječe voziščne konstrukcije (zgrajene za prvo delno dobo trajanja) in določiti potrebno debelino dodatne asfaltne krovne plasti (po TSC 06.541).

4.2 Določitev ojačitev obstoječih voziščnih konstrukcij

4.2.1 Splošno

Obstoječe voziščne konstrukcije je mogoče ojačiti

- z nadgradnjo:
 - z vezano zgornjo nosilno in obrabno plastjo - nadgradnja z asfaltnimi plastmi (*kot primer skica 1*) ali
 - nevezano in vezano nosilno in obrabno plastjo - sendvič sistem
- z delno zamenjavo (*kot primer skica 2*) ali
- s kombinacijo obeh (*kot primer skica 3*).



Primeri načinov ojačitev voziščnih konstrukcij (Povzeto po: Cezar, Henigman, 2004, str. 28)

Postopek nadgradnje je uporaben v primerih, ko je podlaga obstoječe voziščne konstrukcije primerna in ni omejitve zaradi višine. Z nadgradnjo ojačamo voziščno konstrukcijo tako, da je za določeno dobo trajanja sposobna prevzeti pričakovane povečane prometne obremenitve. Ojačitev po sendvič sistemu je priporočljiva predvsem za sanacijo vozišč, obremenjenih z zelo lahko, lahko in srednjo prometno obremenitvijo. V novi nevezani nosilni plasti je potrebno uporabiti izključno drobljene zmesi kamnitih zrn.

Predvsem pri ojačitvah na bolj obremenjenih voziščih je priporočljivo uporabiti različne armaturne mreže in izboljšana veziva v nosilnih in obrabnih plasteh.

Vrsta in debelina ojačitve je odvisna od potrebne debeline nadgradnje - debelinskega indeksa - ki se določi po analitičnih postopkih, opisanih v nadaljevanju v *točki 4.2.2.1* (na osnovi vizualne ocene stanja vozišča) in *točki 4.2.2.2* (na osnovi rezultatov meritev podajnosti).

4.2.2 Postopki za dimenzioniranje ojačitev

Za določitev sanacijskih ukrepov - ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij - se pretežno uporabljata dva postopka, ki temeljita na

- vizualni oceni stanja vozišč in
- rezultatih meritev podajnosti.

Za primerjavo oziroma preveritev je mogoče uporabiti tudi analitične postopke za iz vrednotenje potrebne ojačitve.

Osnovni parametri pri določanju potrebnih dimenzij ojačitev so:

- značilnosti materialov v voziščni konstrukciji (določeno skladno s *tč. 2.2*),
- lastnosti vozne površine (določene v posameznih točkah v *poglavju 3*),
- prometna obremenitev (določena skladno s *tč. 2.1*),
- klimatski in hidrološki pogoji (skladno s *tč. 2.4*),
- doba trajanja voziščne konstrukcije,
- uporabnost vozne površine na koncu dobe trajanja.

4.2.2.1 Določitev na osnovi ocene stanja

Potrebno debelino ojačitve obstoječe asfaltne voziščne konstrukcije na osnovi ocene stanja je mogoče določiti z upoštevanjem

- potrebne voziščne konstrukcije (D_{po}) in uporabnosti obstoječe voziščne konstrukcije (D_{ob}) ali
- načrtovanih prometnih obremenitev (T_{po}) in že prevzete prometne obremenitve (T_{ob}).

4.2.2.2.1 Stanje voziščne konstrukcije

Preostalo sposobnost obstoječe voziščne konstrukcije za prevzem prometnih obremenitev je treba opredeliti z debelinskim indeksom D_{ob} .

Potrebno debelino voziščne konstrukcije za prevzem v prihodnje načrtovane prometne obremenitve, opredeljeno z debelinskim indeksom D_{po} , je treba določiti po postopku za novogradnje (po TSC 06.520). Pri tem je treba upoštevati oziroma zagotoviti nosilnost obstoječe voziščne konstrukcije = podlage z vrednostjo CBR =15 %.

Potrebni debelinski indeks ojačitve znaša

$$D_{oj1} = D_{po} - D_{ob} \quad (\text{cm}) \quad (4.20)$$

V primeru, ko debelina nevezane nosilne plasti ustrezne zmesi kamnitih zrn v obstoječi voziščni konstrukciji h_{snob} glede na nosilnost podlage ne ustreza povečani prometni obremenitvi T_{po} , je treba potrebno večjo debelino nevezane nosilne plasti h_{snpo} upoštevati z dodatnim debelinskim indeksom

$$D_{oj2} = 0,11 \cdot (h_{snpo} - h_{snob}) \quad (\text{cm}) \quad (4.21)$$

Za celotni potrebni debelinski indeks

$$D_{oj} = D_{oj1} + D_{oj2} \quad (\text{cm}) \quad (4.22)$$

je treba določiti debelino dodatne krovne plasti za ojačitev obstoječe asfaltne voziščne konstrukcije po enačbi

$$D_{oj} = a_o \cdot h_o + a_{zv} \cdot h_{zv} \quad (\text{cm}) \quad (4.23)$$

4.2.2.2.2 Preostala uporabna vrednost materiala - količniki poškodovanosti

V primeru uporabe proizvedenih novih materialov so povprečne (informativne) vrednosti količnikov ekvivalentnosti materialov v splošnem znane (*navedene v razpredelnici na strani 10*).

Tudi v primeru bistvenih odstopanj kakovosti proizvedenih novih materialov od povprečnih vrednosti se ustrezni količniki ekvivalentnosti lahko določijo iz diagramov na *strani 11 in 12*.

Pri obstoječih voziščih je deleže še preostale sposobnosti obstoječih materialov za prevzem prometnih obremenitev, na osnovi ocene trenutnega stanja asfaltne voziščne konstrukcije, mogoče določiti z informativnimi količniki (k_{os}), navedenimi v *razpredelnici na strani 13*, po enačbi:

$$D_{ob} = \sum a_i \cdot d_i \cdot k_{os} \quad (\text{cm}) \quad (4.24)$$

kjer pomeni:

D_{ob} - debelinski indeks obstoječe voziščne konstrukcije;

a_i - količnik ekvivalentnosti novega materiala;

d_i - debelina plasti;

k_{os} - količnik še preostale uporabne vrednosti materiala.

Glede na stanje vozišča in gostoto prometa izhajajo iz TSC 06.541:2003 naslednje informativne vrednosti količnikov poškodovanosti:

Gostota prometa		Vrednosti MSI		
Opis	Mejne vrednosti PLDP			
izredno velika	> 20000	< 2,2	2,2 do 2,8	> 2,8
zelo velika	> 10000 do 20000	< 2,3	2,3 do 2,9	> 2,9
velika	> 5000 do 10000	< 2,4	2,4 do 3,0	> 3,0
srednja	> 2000 do 5000	< 2,5	2,5 do 3,1	> 3,1
majhna	> 1000 do 2000	< 2,6	2,6 do 3,2	> 3,2
zelo majhna	< 1000	< 2,7	2,7 do 3,3	> 3,3
	količnik poškodovanosti - $k_{\bar{x}}$	0,7	0,7 do 0,4	0,4

Informativni količniki poškodovanosti obstoječega asfaltnega vozišča $k_{\bar{x}}$ (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 9)

V odvisnosti od razreda prometne obremenitve lahko na osnovi izkušenj za izbiro sanacijskega ukrepa privzamemo preglednico na *strani 73*, ki je nadgrajena s količnikom poškodovanosti $k_{\bar{x}}$ in preko debelinskega indeksa obstoječe voziščne konstrukcije (D_{ob}) ustrezno upošteva utrujenost v voziščno konstrukcijo vgrajenih materialov.

V dosednji dobi uporabe je voziščna konstrukcija (oziroma vgrajeni materiali) utrpela spremembe, ki jih odražajo naslednji količniki poškodovanosti $k_{\bar{x}}$.

Prometna obremenitev		Razred stanja vozišča				
Razred	Mejne vrednosti	Zelo dobro	Dobro	Mejno	Slabo	Zelo slabo
	NOO 82 kN	Vrednosti MSI				
izredno težka	$> 2 \times 10^7$	$\leq 0,4$	$> 0,4-1,2$	$> 1,2-2,0$	$> 2,0-2,8$	$> 2,8$
zelo težka	$> 6 \times 10^6$ do 2×10^7	$\leq 0,5$	$> 0,5-1,3$	$> 1,3-2,1$	$> 2,1-2,9$	$> 2,9$
težka	$> 2 \times 10^6$ do 6×10^6	$\leq 0,6$	$> 0,6-1,4$	$> 1,4-2,2$	$> 2,2-3,0$	$> 3,0$
srednja	$> 6 \times 10^5$ do 2×10^6	$\leq 0,7$	$> 0,7-1,5$	$> 1,5-2,3$	$> 2,3-3,1$	$> 3,1$
lahka	$> 2 \times 10^5$ do 6×10^5	$\leq 0,8$	$> 0,8-1,6$	$> 1,6-2,4$	$> 2,4-3,2$	$> 3,2$
zelo lahka	$\leq 2 \times 10^5$	$\leq 0,9$	$> 0,9-1,7$	$> 1,7-2,5$	$> 2,5-3,3$	$> 3,3$
količnik poškodovanosti - k_s		1,0	1,0	0,9	0,6	0,4

Količniki poškodovanosti k_s obstoječega asfaltnega vozišča v odvisnosti od MSI in prometne obremenitve (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 45)

Za določitev še preostale (trenutne) uporabne vrednosti obstoječe voziščne konstrukcije (debelinski indeks D_{ob}) je treba privzeti, da je bila kot novogradnja za določeno prometno obremenitev ustrezno dimenzionirana (debelinski indeks D_{no}).

Debelinski indeks obstoječe voziščne konstrukcije D_{ob} je opredeljen z enačbo

$$D_{ob} = D_{no} \cdot k_s \quad (4.25)$$

kjer je

D_{no} debelinski indeks nove voziščne konstrukcije.

Debelinski indeks potrebne nadgradnje voziščne konstrukcije D_{po} je opredeljen z enačbo

$$D_{po} = D_{no} - D_{ob} \quad (4.26)$$

4.2.2.2 Določitev na osnovi podajnosti

Podajnost obstoječe asfaltno voziščne konstrukcije je praviloma treba določiti z merilnimi napravami po postopkih, podrobno opredeljenih v tč. 3.2. Uporabiti je mogoče tudi drugačne postopke, za katere je ugotovljena uporabna korelacija in so opredeljeni v ustrezni tehnični regulativi.

Meritve podajnosti morajo biti izvedene v obdobju najmanjše nosilnosti voziščnih konstrukcij (obdobje odtajevanja, tj. spomladi). V primeru, ko so meritve podajnosti izvedene izven navedenega obdobja, je treba rezultate meritev korigirati s količnikom c , za katerega znašajo informativne vrednosti:

- $c = 1,2 \dots 1,6$ če je obrabna plast nerazpokana, v ustrezno dimenzionirano nevezano nosilno plast vgrajena zmes kamnitih zrn, ki je malo do srednje občutljiva na zmrzovanje ;
- $c = 1,6 \dots 2,0$ če je obrabna plast na vozišču razpokana, v nevezano nosilno plast pa vgrajena zmes kamnitih zrn, ki je srednje občutljiva na zmrzovanje.

Pri izbiri vrednosti korekturnega količnika c je treba upoštevati tudi klimatske in hidrološke pogoje.

Če je obrabna plast na vozišču zelo razpokana in klimatski ter hidrološki pogoji neugodni, je treba vrednost korekturnega količnika c določiti z meritvami.

Meritve podajnosti ne smejo biti izvedene, če je katerakoli plast v obstoječi voziščni konstrukciji zmrznjena ali če je temperatura obrabne plasti višja od 25 °C.

Homogeni odseki podajnosti obstoječe voziščne konstrukcije morajo biti določeni na osnovi pogoja, da znaša količnik variacije

$$k_v = \frac{s}{\bar{d}} < 0,35 \quad (4.27)$$

kjer je:

$$\text{- standardni odklon} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad (\text{mm}/100) \quad (4.28)$$

$$\text{- povprečna podajnost} \quad \bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} \quad (\text{mm}/100) \quad (4.29)$$

Merodajno vrednost podajnosti obstoječe voziščne konstrukcije d_m je treba določiti po enačbi

$$d_m = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s) \quad (\text{mm}/100) \quad (4.30)$$

kjer pomeni:

k_{pr} – količnik vpliva prometne obremenitve, ki znaša za ceste

- s težkim prometom $k_{pr} = 2,0$
- s srednjim prometom $k_{pr} = 1,6$
- z lahkim prometom $k_{pr} = 1,3$

Celotno potrebno debelino ojačitve obstoječe asfaltne voziščne konstrukcije h_{oj} določimo na osnovi

- izvrednotene merodajne podajnosti obstoječe voziščne konstrukcije d_m ,
- opredeljene mejne vrednosti podajnosti v odvisnosti od prometne obremenitve d_{do} in
- načrtovane prometne obremenitve T_n ,

bodisi

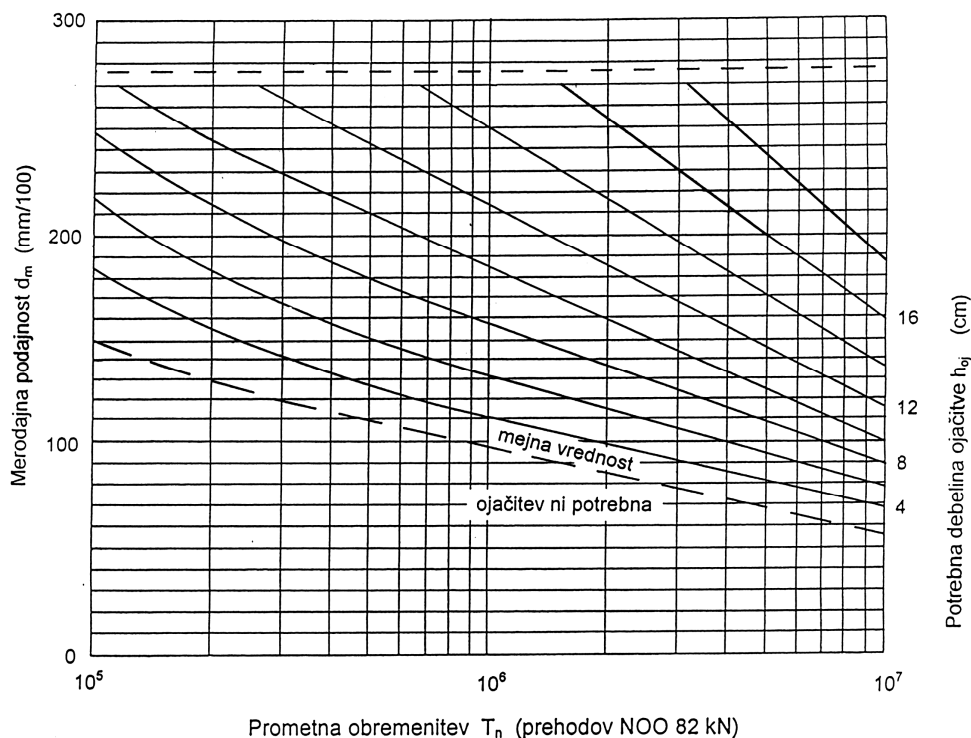
- na osnovi ustreznega diagrama ali
- z numeričnim postopkom.

4.2.2.1.1 Določitev na osnovi diagrama

Na osnovi pri AASHO testu ugotovljene medsebojne odvisnosti

- kakovosti značilnih materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije,
- prometnih obremenitev in
- podajnosti voziščnih konstrukcij, merjene z Benkelmanovo gredjo,

je prirejen *diagram* za določitev potrebne debeline ojačitve obstoječe asfaltne voziščne konstrukcije na osnovi merodajnih vrednosti podajnosti, izvrednotenih na osnovi rezultatov meritev podajnosti z deflektografom Lacroix.



Določitev potrebne debeline ojačitve obstoječe asfaltne voziščne konstrukcije h_{oj} (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 11)

Potrebni debelinski indeks plasti ojačitve D_{oj} določimo po enačbi

$$D_{oj} = 0,42 \cdot h_{oj} = a_o \cdot h_o + a_{zv} \cdot h_{zv} \quad (4.31)$$

kjer pomeni:

a_o - količnik ekvivalentnosti asfaltne zmesi za obrabno plast

h_o - debelina obrabne plasti asfaltne zmesi

a_{zv} - količnik ekvivalentnosti asfaltne zmesi za zgornjo vezano nosilno plast

h_{zv} - debelina zgornje vezane nosilne plasti asfaltne zmesi

Na osnovi diagrama je mogoče določiti potrebno ojačitev samo za tiste asfaltne voziščne konstrukcije, ki imajo v nevezani nosilni plasti vgrajeno zmes kamnitih zrn, odporno proti zmrzovanju.

Kot mejna vrednost je na diagramu označena vrednost podajnosti ojačene asfaltne voziščne konstrukcije v času najmanjše nosilnosti. Kot potrebna debelina ojačitve h_{oj} je označena povprečna vrednost, ki pa na nobenem mestu ne sme biti manjša za več kot 20 %.

4.2.2.1.2 Numerična določitev

V primeru, ko je merodajna podajnost d_m pod kolesno obremenitvijo 50 kN manjša od 2,5 mm, se logaritem vrednosti podajnosti spreminja proporcionalno z debelino ojačitve. Zato je mogoče določiti potrebno ojačitev asfaltne voziščne konstrukcije po enačbi:

$$h_{oj} = 50 \cdot \frac{\log d_m}{\log d_{do}} \quad (4.32)$$

kjer pomeni:

d_{do} - dovoljena podajnost, ki je v odvisnosti od skupine prometne obremenitve in načrtovane dobe trajanja

Skupina prometne obremenitve	Načrtovana doba trajanja			
	5 let	10 let	15 let	20 let
	Dovoljena podajnost d_{do} (mm)			
izredno težka	0,8	0,7	0,6	0,5
zelo težka	0,9	0,8	0,75	0,7
težka	1,2	1,0	0,9	0,8
srednja	1,5	1,2	1,1	1,0
lahka	1,7	1,4	1,2	1,1
zelo lahka	1,8	1,6	1,4	1,2

Mejne vrednosti podajnosti asfaltne voziščne konstrukcije d_{do} (Povzeto po: DRSC, TSC 06.541, 2003, str. 12)

4.2.2.3 Analitični postopki

Poleg postopkov za določitev potrebne ojačitve asfaltnih voziščnih konstrukcij na osnovi njihove podajnosti in ocene njihovega stanja je mogoče uporabiti tudi analitične postopke, ki temeljijo na računalniških programih.

Osnovni potrebni podatki za analitični postopek iz vrednotenja načrtovane ojačitve so:

- značilnosti obstoječe voziščne konstrukcije:
 - debeline plasti,
 - moduli elastičnosti materialov;
- nosilnost podlage;
- predvidena prometna obremenitev v načrtovani dobi trajanja;
- uporabnost ceste na koncu načrtovane dobe trajanja, ob upoštevanju lokalnih razmer.

Posamezni analitični programi, ki so v uporabi za dimenzioniranje - analize voziščnih konstrukcij, obravnavajo oziroma določajo naslednje karakteristike:

Program	Vrste preveritev						
	Zlepljenost plasti	Klimatski pogoji	Dinamične obremenitve	Osne obremenitve	Karakteristike pnevmatik	Utrujanje	Trajno preoblikovanje
Apas-Win		o		o	o	o	
Bisar(SPDM	o	o		o		o	o
Cikly	o			o	o	o	
Cesar	o	o	o		o	o	o
Elsym 5							
Kenlayer	o		o		o	o	o
Michpave						o	o
Mmop		o	o	o	o		
Noah	o	o		o		o	o
Roadent	o	o		o	o		
Vagdim 95		o				o	o
Veroad				o	o		o
Vesys		o		o	o	o	o

Vrste preveritev v posameznih računalniških programih (Povzeto po: ZAS, Asfalt, 2006, str. 137)

Analitični postopki določitve potrebne ojačitve so primerni predvsem za preveritev nastopajočih napetosti zaradi upogibno nateznih obremenitev ojačene asfaltne voziščne konstrukcije.

5 VRSTE IN LASTNOSTI VGRAJENIH ASFALTNIH ZMESI

5.1 Splošno

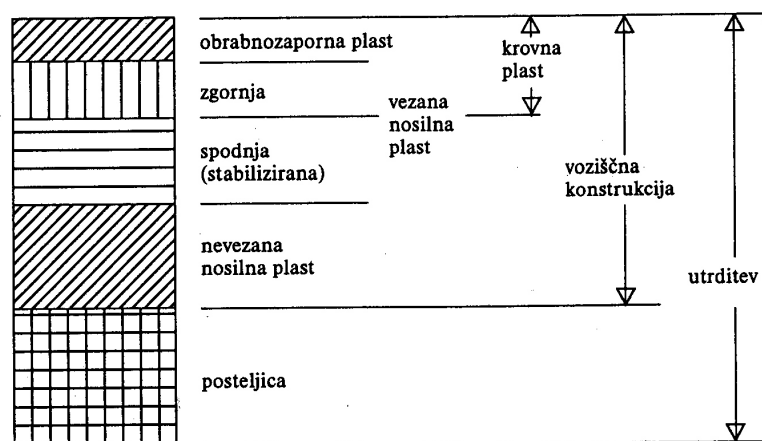
Asfaltne zmesi, vgrajene v voziščne konstrukcije, morajo biti sposobne prevzeti specifične obremenitve in imeti druge lastnosti, pogojene za posamezne plasti. V splošnem je mogoče deliti asfaltne zmesi po njihovih značilnostih:

- po sestavi: na sisteme z veliko in majhno vsebnostjo votlin;
- po temperaturi priprave in vgrajevanja: na asfaltne zmesi, proizvedene po vročem ali po hladnem postopku;
- po načinu vgrajevanja: na valjane asfalte in lite asfalte;
- po načinu priprave: na postopke s pobrizgom veziva, ki mu sledi nanos kamnitih zrn, in postopke s predhodnim mešanjem vseh komponent asfaltne zmesi;
- po namenu uporabe: na asfaltne zmesi za nosilne plasti in asfaltne zmesi za obrabne in/ali zaporne plasti.

Zahtevane lastnosti vhodnih materialov, proizvedene asfaltne zmesi in asfaltne zmesi v vgrajenem stanju so glede na vrsto asfaltne plasti podane v ustrezni tehnični regulativi (TSC, Tehničnih specifikacijah za javne ceste in standardih SIST EN ...).

5.2 Plasti v asfaltni voziščni konstrukciji

V določene plasti voziščne konstrukcije morajo biti vgrajene ustrezne asfaltne zmesi.



Značilni prerez voziščne konstrukcije (Povzeto po: ZAS, Asphalt, 2006, str. 52)

V obrabnozaporne plasti (VOZP) voziščnih konstrukcij so pretežno vgrajene asfaltne zmesi bitumenskih betonov in sicer BB 4k, BB4s, BB4ks, BB8k, BB8s, BB8ks, BB11k, BB11s, BB11ks.

Označbe so odvisne od uporabljene vrste kamnitega materiala: karbonatne kamnine sedimentnega porekla (k) ali silikatne kamnine eruptivnega porekla (s).

Poleg bitumenskih betonov so v VOZP vgrajene asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom, ki je lahko DBM 4, DBM 8, DBM 8s in DBM 11s, pa tudi drenažni asfalti z oznakami DA 8s, DA 8ks, DA11s, DA 11ks in DA 16k.

Za vezano zgornjo nosilno plast (VZNP) so uveljavljene asfaltne zmesi bituminizirani drobljenci in bituminizirani prodcji. Označbe teh zmesi so BZNP 16 in BZNP 16S, BZNP 22 in BZNP 22S ter BZNP 32 in BZNP 32S, za asfaltno nosilnoobrabno plast pa BNOP 16. Asfaltne zmesi z oznako S (skelet) se uporabljajo za ceste s srednjo in težjo prometno obremenitvijo ter imajo ožje presežno področje zmesi popolnoma drobljenih kamnitih zrn.

Za vezano spodnjo nosilno plast (VSNP) ustrezna asfaltna zmes je bitumenska stabilizacija z oznakami BSNP 16, BSNP 22 in BSNP 32.

V nevezane nosilne plasti se pretežno vgrajujejo drobljenci D 22, D 32 in prodcji P 22, P 32.

5.2.1 Vezane zgornje nosilne in nosilnoobrabne plasti

Asfaltne zmesi za zgornje nosilne in nosilnoobrabne plasti so vgrajene v voziščne konstrukcije za najtežje prometne obremenitve med spodnjo vezano nosilno plast in obrabno plast ter med nevezano nosilno plast in obrabno plast za srednje in lažje prometne obremenitve. V zgornjo vezano nosilno plast vgrajena asfaltna zmes mora prevzeti naloge, ki so enake nalogam spodnje vezane nosilne plasti. Za lahke prometne obremenitve se lahko vgradi za nosilnoobrabno plast asfaltna zmes BNOP 16, ki poleg nalog nosilne plasti prevzema tudi naloge obrabne plasti.

Osnovne vrste asfaltnih zmesi za to plast voziščne konstrukcije so bituminizirani prodcji in bituminizirani drobljenci. Za težke prometne obremenitve, kjer poteka promet večinoma po istih kolesnicah, počasen težek promet, vzpetine, mesta pogostega zaviranja in pospeševanja, stoječ promet in promet na avtocestah je treba uporabiti asfaltne zmesi, proizvedene izključno z drobljenimi kamnitimi zrn, označene kot BZNP 16S, BZNP 22S in BZNP 32S.

Tehnični pogoji in postopki za gradnjo vezanih zgornjih nosilnih plasti so podrobno opredeljeni v TSC 06.310.

Mehanske in prostorske lastnosti proizvedene asfaltne / bituminizirane zmesi je treba določiti z laboratorijskimi preskusi in morajo biti v mejah, kot je navedeno v *preglednici*.

Lastnost bituminizirane zmesi	Enota mere	Zahtevana vrednost za prometno obremenitev					Postopek za preskus
		izredno težko	zelo težko in težko	srednjo	lahko in zelo lahko BZNP BNOP		
stabilnost pri 60°C	kN	S_{min9}	S_{min8}	S_{min6}	S_{min5}	S_{min4}	SIST EN 12697-34
togost pri 60°C	kN/mm	$Q_{min2,8}$	$Q_{min2,5}$	$Q_{min2,2}$	$Q_{min1,8}$	$Q_{min1,5}$	SIST EN 12697-34
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	$V_{min6} - V_{max10}$	$V_{min5} - V_{max9}$	$V_{min4} - V_{max8}$	$V_{min3} - V_{max8}$	$V_{min1} - V_{max4}$	SIST EN 12697-8
vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	preskusiti					SIST EN 12697-8
zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom	%	VFB_{min50}	VFB_{min50}	VFB_{min50}	VFB_{min50}	VFB_{min75}	SIST EN 12697-8

Mejne vrednosti lastnosti proizvedene asfaltne zmesi (Povzeto po: Žmavc, 2006, str. 57)

Lastnosti asfaltne zmesi v vgrajenem stanju so podane v spodnji preglednici.

Lastnost vgrajene bituminizirane zmesi	Enota mere	Zahtevana vrednost za prometno obremenitev					Postopek za preskus
		izredno težko	zelo težko in težko	srednjo	lahko in zelo lahko BZNP BNOP		
zgoščenost plasti	%	≥ 98	≥ 98	≥ 98	≥ 97	≥ 96	TSC 06.711
vsebnost votlin v plasti	V.-%	$V_{min5} - V_{max9}$	$V_{min4} - V_{max9}$	$V_{min4} - V_{max9}$	V_{max9}	$V_{min1} - V_{max7}$	SIST EN 12697-8

Mejne vrednosti lastnosti vgrajene asfaltne zmesi (Povzeto po: Žmavc, 2006, str. 57)

5.2.2 Vezane spodnje nosilne plasti

Z bitumenskim vezivom stabilizirana zmes kamnitih zrn je namenjena predvsem za vgraditev v voziščne konstrukcije za težke prometne obremenitve, praviloma med nevezano nosilno plast in vezano zgornjo nosilno plast.

V spodnjo nosilno plast vgrajena asfaltna zmes mora prevzeti strižne in natezne napetosti, ki nastanejo pod prometno obremenitvijo, ter po potrebi premostiti lokalno slabša nosilna mesta v podlagi.

Tehnični pogoji in postopki za gradnjo vezanih spodnjih nosilnih plasti so podrobno opredeljeni v TSC 06.330. Mehanske in prostorske lastnosti proizvedene asfaltne/bituminizirane zmesi je treba določiti z laboratorijskimi preskusi in morajo biti v mejah, kot je navedeno v *spodnji preglednici*.

Lastnost bituminizirane zmesi	Enota mere	Zahtevana vrednost za prometno obremenitev			Postopek za preskus
		izredno težko, zelo težko	težko, srednjo	lahko in zelo lahko	
stabilnost pri 60°C	kN	$S_{\min 4}$	$S_{\min 3}$	$S_{\min 2,5}$	SIST EN 12697-34
togost pri 60°C	kN/mm	$Q_{\min 1,2}$	$Q_{\min 1,0}$	$Q_{\min 1,0}$	SIST EN 12697-34
vsebnost celokupnih votlin	V.-%	$V_{\max 12}$	$V_{\max 12}$	$V_{\max 12}$	SIST EN 12697-8
vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn	V.-%	preskusiti			SIST EN 12697-8
zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumnom	%	$VFB_{\min 40}$	$VFB_{\min 40}$	$VFB_{\min 40}$	SIST EN 12697-8

Mejne vrednosti lastnosti proizvedene asfaltne zmesi (Povzeto po: Žmavc, 2006, str. 54)

Povprečna zgoščenost vgrajene bituminizirane zmesi mora znašati najmanj 97 % pri predhodni sestavi. Skrajna spodnja mejna vrednost zgoščenosti je lahko 94 %.

V vgrajeni bituminizirani zmesi sme biti največ 12 V.-% votlin. Zapolnjenost votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumenskim vezivom pa mora znašati najmanj 40 %.

5.2.3 Nevezane nosilne plasti

Nevezana nosilna (tamponska plast) mora

- zagotoviti potrebno in trajno nosilnost in
- zaščititi morebitne občutljive materiale v podlagi proti škodljivim učinkom mraza.

Trajno nosilnost nevezane nosilne plasti je potrebno zagotoviti z izbrano (kontrolirano) zmesjo kamnitih zrn, obstojno v vodi in na mrazu. Potrebno nosilnost nevezane nosilne plasti pa je treba zagotoviti zato, da bo omogočena kakovostna vgraditev in zgostitev materialov v nadgrajenih plasteh voziščne konstrukcije.

Nevezane nosilne plasti so - v različnih debelinah - vgrajene v voziščnih konstrukcijah za vse skupine prometnih obremenitev. Minimalna debelina plasti je določena s pogoji vgrajevanja (tehnološkimi debelinami - drobljenje zrn).

6 VRSTE SANACIJSKIH UKREPOV

Pri popravilih poškodb na asfaltnih vozni površinah moramo ločiti med sanacijskimi deli za ohranitev uporabnosti (redno vzdrževanje) in deli za gradbeno ohranitev (investicijsko vzdrževanje).

Nadziranje stanja vozni površin se ne more omejiti samo na meritve. Nujni so podrobni občasni vizualni pregledi, pri katerih se ugotovijo manjše poškodbe. Najbolj primeren čas za preglede je ob koncu zime in po dežju, ko postanejo poškodbe vidne v večjem obsegu.

Poškodb na vozni površinah, katerih popravilo sodi v sklop rednega vzdrževanja, vnaprej ni mogoče predvideti. Takoj ko poškodba nastane, je možnih več postopkov, s katerimi jo je mogoče bolj ali manj uspešno odpraviti in se tako izogniti večjim stroškom, pogojenim z morebitnim poznejšim popravilom.

Najpogostejša popravila poškodb, ki jih izvajamo na naših cestah in sodijo v sklop rednega vzdrževanja, lahko strnemo v tri osnovne ukrepe:

- zalivanje razpok,
- krpanje udarnih jam in poškodb na vozišču,
- popravilo izrazitih neravnin in kolesnic (preoblikovanj asfaltnih površin).

Pomembno je tudi vzdrževanje betonskih vozišč, ki ga moramo obravnavati ločeno.

Kot značilne ukrepe, ki sodijo v sklop del investicijskega vzdrževanja in predstavljajo ureditev stanja večjih poškodb na obstoječih voziščih, pa je mogoče privzeti

- preplastitev oziroma ojačitev,
- lokalne sanacije,
- postopek »sendvič«,
- recikliranje,
- obnovitev in
- rezkanje.

Izhodišče za določitev potrebnih debelin pri navedenih sanacijskih ukrepih - razen rezkanja - je podobno, to je novogradnja.

6.1 Redno vzdrževanje

Za popravilo poškodb vozne površine (razpok, obrabe, udarnih jam, preoblikovanj, stikov na betonskih ploščah) se tekoče izvajajo ukrepi rednega vzdrževanja.

To so ukrepi manjšega obsega, ki so namenjeni predvsem za hitro popravilo poškodb, tako da je zagotovljena varna in udobna vožnja. Postopki popravil navadno zajemajo samo obrabno

plast (krpanje, zalivanje razpok), kar pomeni, da z rednim vzdrževanjem ohranjamo oziroma izboljšujemo lastnosti vozne površine. V nadaljevanju so povzeta popravila poškodb, ki jih najpogosteje izvajamo na naših cestah.

6.1.1 Zalivanje razpok

Najbolj pogosta oblika poškodb na asfaltnih voziščih so razpoke. Ločimo med posameznimi ali mrežastimi razpokami in odprtimi stiki ali regami. Najprimernejši način za popravilo posameznih razpok (kadar na m² ni več kot m¹ razpok) je zalivanje razpok po postopku »predhodne obdelave razpoke z rezkanjem«.

Zalivanje razpok mora biti izvedeno z elastobitumenskimi materiali. Pri postopku »predhodne obdelave razpoke z rezkanjem« je potrebno:

- obstoječo razpoko z rezkanjem razširiti na min. 1,5 cm do max. 2,5 cm širine, do globine min. 2,0 cm in max. 3,0 cm;
- izrezkano razpoko očistiti s strojno jekleno krtačo in izpihati s komprimiranim zrakom;
- očiščeno in osušeno razpoko obdelati s primernim predpremazom, ki veže nase prašne delce in povečuje sprijemljivost.

Zalivanje razpok je potrebno izvajati strojno. Pri temperaturah vozišča nad 20°C je potrebno razpoko zaliti do vrha, pri temperaturah pod 20°C pa malo pod vrhom. Ne sme se zalivati preko robov. Zalivanje se lahko izvaja le v suhem vremenu, pri temperaturah nad 5°C.

Po končanem zalivanju je potrebno sveže zalite razpoke posipati s kameno moko ali podobnim primernim posipnim materialom, da ne pride do poškodb saniranih razpok.

6.1.2 Krpanje udarnih jam in poškodb na asfaltnih voziščih

Krpanje je popravilo zgornjih nosilnih in obrabnih plasti, kadar so le-te poškodovane zaradi vpliva prometne obtežbe, slabe kvalitete vgrajenih asfaltnih zmesi ali površinskega zmrzovanja. V teh primerih pride do nastanka poškodb, kot so:

- udarne jame,
- luščenje obrabne plasti,
- obraba,
- zmrzlinke poškodbe,
- razpoke.

Udarne jame povzročajo udarci in sunki koles ter prekomerne prometne obremenitve za določeno asfaltno utrditev.

Najpogostejši vzroki za luščenje obrabne plasti so pomanjkljivo očiščena podlaga, opustitev predhodnega pobrizga (med zgornjo vezano nosilno in obrabno plastjo), vgrajevanje asfaltne zmesi v neprimernem letnem času, vgrajevanje v neustreznih vremenskih razmerah ali neustrezno projektirane asfaltne zmesi.

Zmrzilske poškodbe običajno nastanejo zaradi pronicanja vode skozi nastale razpoke v zgornjo vezano ali nevezano nosilno plast.

S krpanjem je potrebno začeti takoj po nastanku poškodb, vsekakor pa v jesenskem in pomladnem času. Namen jesenskih popravil je predvsem ta, da zapremo razpokane površine in preprečimo dostop površinske vode v vozišče. Pomladanska popravila so pomembna zaradi vzpostavitve vozišča po zimi v vozno stanje.

Pri ponavljajočih se rednih vzdrževalnih delih (krpanjih) na istem odseku ceste je potrebno uporabljati materiale enakih lastnosti kot je obstoječe vozišče. S tem zagotavljamo enake lastnosti vozišča na celotnem odseku, kar omogoča varno vožnjo.

Odvisno od obsega načrtovanega popravila poškodb je dela mogoče izvajati ročno in/ali strojno. Za večja dela je potrebno izdelati tehnološko ekonomski elaborat - TEE, s katerim podrobno opišemo tehnološke postopke in podamo recepture ter dokažemo ustreznost za vse vgrajene materiale (potrdila o skladnosti).

Pri izvajanju krpanja je potrebno posebej paziti na naslednje:

- krpe naj bodo pravokotne oblike, s stranicami, vzporednimi in pravokotnimi na os ceste;
- robovi naj bodo navpično izsekani, jame skrbno očiščene (odstranitev nevezanega materiala);
- podlaga mora biti primerno pripravljena - suha in čista;
- pobrizg naj bo izveden po celotni površini z bitumensko emulzijo;
- v območju stikov je potrebno uporabiti bitumensko zalivno zmes oz. zalivni trak;
- količina pobrizga z bitumenskim vezivom mora biti primerna glede na hrapavost površine;
- po vgraditvi asfaltne zmesi (krpe) je potrebno zagotoviti ustrezno zgoščenost (nadvišanje) glede na niveleto vozišča.

V primeru izvedbe globinskih sanacij - zamenjave nevezanih materialov - je potrebno zagotoviti zadostno zgostitev vgrajene nevezane plasti (izvajati krpe primerne velikosti, da lahko z ustreznim zgoščevalnim strojem »pokrijemo« celotno površino).

6.1.3 Popravilo izrazitih neravnin in kolesnic

Popravilo preoblikovanj – neravnin na asfaltnih vozniških površinah je mogoče izvršiti kot

- začasno - kratkotrajno ali
- trajnejše - dolgotrajno.

Začasna popravila preoblikovanj, ki so praviloma v omejenem obsegu, sodijo v sklop del za ohranitev uporabnosti. Trajnejša popravila praviloma v večjem obsegu pa se izvajajo v sklopu del za gradbeno ohranitev (*glej poglavje 6.2*).

Pri obstoječih voziščih lahko za izboljšanje ravnosti izvedemo delno odstranitev krovne plasti asfaltne vozne površine - rezkanje. Postopek rezkanja lahko uporabimo v primeru poškodb zaradi odzivanja in preoblikovanja in sicer:

- premikov asfalta (kolesnice, perilniki),
- sprememb vzdolžnega ali prečnega nagiba (grebenov, valov),
- drugih pomanjkljivosti v pogledu ravnosti.

Neravne površine lahko odpravimo z rezkanjem hladne asfaltne zmesi in/ali po postopku segrevanja, mešanja in ponovne vgradnje (remix postopek).

Osnovne značilnosti in pogoji za rezkanje v sklopu del za začasno popravilo preoblikovanj so:

- struktura asfaltne zmesi je predvsem pri hladnem postopku rezkanja prizadeta, odvisno od uporabljenega rezkalnika, namestitve in oblike nožev, hitrosti vožnje rezkalnika ter vrste odstranjene asfaltne zmesi;
- podlaga pod rezkano plastjo mora biti trdna in nosilna;
- ravnost z rezkanjem ustvarjene površine je odvisna predvsem od ravnosti obdelovalne površine, zlepljenosti plasti, oblike, razvrstitve in obrabljenosti nožev.

Hladno rezkanje je izvedljivo v različnih širinah in do različne globine. Pri hladnem rezkanju se zrna v rezkancu delno zdrobijo, na bitumensko vezivo v rezkani asfaltni zmesi pa ne vplivajo.

Toplo rezkanje pogojuje predhodno segrevanje asfaltne zmesi z grelniki z infrardečimi žarki, ki je praviloma omejeno na globino do 4 cm. Zrnavost odrezkane asfaltne zmesi se pri tem postopku ne spremeni, lahko pa se spremenijo lastnosti bitumenskega veziva v rezkancu.

V primeru uporabe vroče asfaltne zmesi je čas pripustitve prometa na popravljeno asfaltno vozno površino odvisen od temperature vgrajene asfaltne zmesi, ki mora znašati manj kot 50°C, oziroma da pade temperatura vsaj za 50 % pod točko zmečičišča uporabljenega bitumna. Za stoječi promet pa mora biti temperatura vgrajene vroče asfaltne zmesi podobna temperaturi bližnje obstoječe asfaltne zmesi.

Globina rezkanja mora biti prilagojena pogojeni debelini vgrajenih novih asfaltnih plasti. Četudi je z rezkanjem zagotovljena primerna ravnost površine in dobra torna sposobnost, je odrezkana vozna površina praviloma uporabna le začasno, sicer pa primerna za nadgraditev.

Ponovni nastanek neravnin na vozišču lahko preprečimo samo, če odstranimo ves material, ki je »občutljiv« na preoblikovanje in ga nadomestimo z novim – ustreznim materialom. Ne/ustreznost je potrebno preveriti z laboratorijskimi preskusi (preiskavami posameznih asfaltnih plasti) iz asfaltnih izvrtin ali izsekov.

6.1.4 Vzdrževanje betonskih vozišč

Pri vzdrževanju betonskih vozišč je potrebno ločiti med

- vzdrževanjem stikov in sanacijami razpok ter
- poškodbami betonskih plošč.

Stike med betonskimi ploščami je potrebno redno čistiti, v kolikor pride do poškodb tesnilne mase, je potrebno le-to zamenjati.

Razpoke na betonskih ploščah lahko saniramo:

- s penetriranjem (zalivanje manjših razpok s polimerno zalivno zmesjo) ali
- z injektiranjem (sanacije večjih globinskih razpok s polimernimi mikroarmiranimi sanacijskimi maltami po posebnih postopkih).

V primeru močnih poškodb posameznih plošč se izvede zamenjava poškodovanih plošč.

Če gre za večje odseke, kjer se pojavljajo številne močne razpoke in poškodbe plošč, lahko izvedemo nadgradnjo z asfaltnimi plastmi. Pri tem je potrebno zagotoviti zadostno debelino nadgradnje (najmanj 12 cm), da preprečimo reflektiranje razpok - stikov med betonskimi ploščami - na površino vozišča. Območja stikov med betonskimi ploščami dodatno ojačimo z vgradnjo armaturnih mrež.

V primeru, da so vidne večje deformacije (ugrezi) betonskih plošč zaradi slabe nosilnosti podlage (»pumpanja« in zmrzlinjskih pojavov), je treba plošče razbiti in/ali jih odstraniti.

6.2 Gradbeno vzdrževanje

6.2.1 Preplastitev in ojačitev

Z ukrepi preplastitev vozišča v pretežni meri izboljšujemo ravnost in torno sposobnost vozišča. Izvajamo jih takrat, ko je nosilnost voziščne konstrukcije zagotovljena, kar pomeni, da je voziščna konstrukcija z obstoječimi debelinami plasti in vgrajenimi materiali sposobna prevzeti predvidene prometne obremenitve. Izvajamo jih lahko z različnimi vrstami asfaltnih zmesi kot so:

- bitumenski betoni - BB
- drobirji z bitumenskim mastiksom - DBM
- drenažni asfalti - DA
- diskontinuirani bitumenski betoni - DBB

Preplastitve vozišča so primerne za vse skupine prometnih obremenitev. Z uporabo asfaltne zmesi DBM v obrabni plasti se zmanjša tudi hrupnost in sicer za najmanj 2 dB.

Z ojačitvami vozišča pa izboljšujemo – povečujemo - nosilnost voziščne konstrukcije, da je sposobna v določenem časovnem obdobju prevzeti povečane prometne obremenitve.

Voziščne konstrukcije lahko ojačimo z:

- vezano zgornjo nosilno in obrabno plastjo = nadgradnja z asfaltnimi plastmi ali
- nevezano in vezano nosilno in obrabno plastjo = sendvič sistem (opisan v *točki 6.2.3*).

Izbira postopka ojačitve je odvisna

- od primernosti obstoječih plasti za del nove voziščne konstrukcije,
- od vnaprej določenih omejitev (npr. omejena višina vozišča ali nosilnost objektov ipd.) ter
- od vplivov na okolje in
- od gospodarnosti.

Zelo deformabilne materiale v obstoječi voziščni konstrukciji je praviloma treba odstraniti. Uporabiti jih je mogoče samo, če so z ustreznim postopkom predelani ali pa nadgrajeni z dovolj stabilnimi plastmi.

Na odsekih cest, kjer je promet s težkimi tovornimi vozili upočasnen ali kanaliziran, ali kjer je velik učinek horizontalnih sil prometa na vozišče (zaradi zaviranja ali pospeševanja), je treba te vplive upoštevati z izbiro ustreznih materialov za ojačitev.

Predvsem pri ojačitvah na bolj obremenjenih voziščih je priporočljivo uporabiti različne armaturne mreže (iz steklenih vlaken) in izboljšana veziva (s polimeri modificiranih bitumnov) v nosilnih in/ali obrabnih plasteh.

Osnovni pogoj za potrebno analizo vzrokov za nastale poškodbe in odločitev o nujnosti in možnosti ustrezne ojačitve obstoječe voziščne konstrukcije, je raziskava in presoja stanja celotne obstoječe voziščne konstrukcije kot tudi posameznih v njo vgrajenih materialov.

Določitev potrebne debeline preplastitve oziroma ojačitve se izvede po postopkih, opisanih v *točki 4.2*:

- na osnovi vizualne ocene stanja po MSI in/ali
- na osnovi meritev podajnosti.

6.2.2 Lokalne sanacije

Preplastitev ali ojačitev obstoječe voziščne konstrukcije v številnih primerih pogojuje za ustrezno ureditev stanja in odpravo vzrokov poškodb tudi lokalne sanacije.

Navadno saniramo zelo poškodovane mrežasto razpokane površine, na katerih je lokalno zmanjšana nosilnost voziščne konstrukcije.

Lokalne sanacije posameznih poškodovanih površin (delno ali na celotnem pasu) vozišča in/ali deformacij (posedkov) izvajamo lahko z nevezanimi in/ali vezanimi plastmi, v odvisnosti od obstoječe voziščne konstrukcije in prometnih obremenitev.

Izvedba lokalnih sanacij je ekonomična v primerih, ko se sanira od 10 % (na avtocestah) do 20 % (na državnih cestah) vozne površine.

6.2.3 Postopek "sendvič"

Postopek "sendvič" je postopek popravila z nadgradnjo na obstoječo voziščno konstrukcijo. Izvede se z izključno nevezano drobljeno kamnito zmesjo zrn v spodnji plasti nadgradnje in krovno plastjo iz asfaltnih zmesi. Pri določitvi potrebnih dimenzij je potrebno kot podlago upoštevati obstoječo poškodovano voziščno konstrukcijo z vrednostjo nosilnosti podlage CBR = 15 %. Debelina nadgradnje se izvede po postopkih, opredeljenih v *točki 4.1*.

Ob predpostavki, da so poškodbe obstoječega vozišča posledica utrujenosti in/ali preoblikovanja v krovno plast voziščne konstrukcije vgrajenih materialov (posledica česar je zelo velika merodajna podajnost v odvisnosti od predvidene prometne obremenitve in/ali velike deformacije vozišča, ki se odražajo v zelo veliki vzdolžni in/ali prečni neravnosti), je mogoče ovrednotiti pogoje podlage za nadgraditev po postopku "sendvič" kot ugodne.

Ojačitev voziščne konstrukcije po postopku "sendvič" je smiselna tudi, kadar je nadgradnja samo z asfaltnimi plastmi neekonomična (če so merodajne podajnosti izven definirane območja po *diagramu na str. 75*).

Vzrok za odločitev za "sendvič" je lahko tudi nezadostna debelina proti mrazu odpornih materialov v obstoječi voziščni konstrukciji, predvsem na voziščih z majhnimi prometnimi obremenitvami.

Pri obstoječih poškodovanih voziščnih konstrukcijah z lahko in srednjo prometno obremenitvijo, je debelina nevezane nosilne plasti iz drobljenega kamnitega materiala, odpornega proti škodljivim učinkom mraza, najmanj 15 cm, pri voziščnih konstrukcijah s težko prometno obremenitvijo pa je plast takšnega materiala debela najmanj 20 cm.

Uporaba postopka "sendvič" za popravilo poškodovanega obstoječega vozišča pogojuje ustrezno prosto višino za dvig nivelete, zato je omejena.

6.2.4 Recikliranje

Predvsem na cestah z manjšimi prometnimi obremenitvami lahko postopek reciklaže uspešno uporabljamo kot nadomestilo veliko tehnično zahtevnejše, prometno neugodnejše in dražje zamenjave, pri čemer moramo vedeti, da zmrzilske odpornosti ne zagotavljamo v celoti.

Najpogosteje se pri nas izvaja sanacija vozišča po postopku hladne reciklaže z dodajanjem penjenega bitumna, pri katerem se popolnoma neustrezna konstrukcija homogenizira in ojači z minimalno preplastitvijo, ki ji spet zagotavlja primerno nosilnost.

Glede na specifičnost priprave predhodne delovne sestave - recepture, pri kateri je potrebno upoštevati zahteve načrtovanja in zahteve tehnologije za pripravo kvalitetnega recikliranega sloja, vse skupaj pa je potrebno uskladiti z razpoložljivimi materiali, je potrebno, da v celotnem postopku od priprave do izvedbe dobro sodelujejo projektanti, tvorci recepture in izvajalci del.

Pri izvedbi reciklaže z uporabo penjenega bitumna je zelo pomembno, da se izvedejo laboratorijske analize recikliranega sloja. Postopki, ki so potrebni pri tem, se delijo na preiskave, ki se izvajajo v laboratoriju, in preiskave, ki se izvajajo na terenu, in sicer najmanj:

- v laboratoriju:
 - maksimalna prostorninska masa in optimalna vlaga
 - delež bituminoznih materialov
 - granulometrična analiza
 - suha in mokra ITS vrednost
 - kontrolna preiskava bitumna
- na terenu:
 - globina recikliranega sloja
 - temperatura bitumna
 - karakteristike penjenja
 - zgoščenost recikliranega sloja

Uporaba postopka recikliranja v obstoječo voziščno konstrukcijo vgrajenega materiala pogojuje,

- da je v sicer poškodovano obstoječo voziščno konstrukcijo v zadostni debelini vgrajen material, odporen proti škodljivim učinkom mraza, kar pogojuje pripravo ustrezne recepture,
- klimatske pogoje, kjer globina prodiranja mraza ne pogojuje dodatnih ukrepov.

Za določitev voziških konstrukcij z recikliranjem v obstoječe voziščne konstrukcije vgrajenega materiala lahko privzamemo, da je pri voziščih z lahko in srednjo prometno obremenitvijo najmanj 25 cm debela vrhnja plast materiala z vmešanjem ustreznega veziva

primerna za ponovno uporabo (recikliranje), pri voziščih s težko prometno obremenitvijo pa plast za ponovno uporabo primerne materiala debela najmanj 30 cm.

Za določitev debelinskega indeksa voziščne konstrukcije s plastjo recikliranega materiala D_{rec} lahko privzamemo količnik ekvivalentnosti $a = 0,18$.

Prednosti uporabe tehnologije reciklaže s penjenim bitumnom so:

- ojačitev voziščne konstrukcije,
- nastanek nosilnega fleksibilnega sloja, dobro odpornega na deformacije in staranje,
- uporaba obstoječih materialov voziščne konstrukcije in s tem zniževanje, transportnih stroškov, ni skladiščenja odpadnih materialov, ...
- lahko se izvaja »in-situ«,
- znižanje časa potrebnega za izvedbo sanacije,
- takojšnja sprostitvev prometa po zgoščevanju.

Omejitve pri uporabi tehnologije:

- neustrezna (prešibka) voziščna konstrukcija,
- premokri materiali in materiali s prenizkim deležem finih delcev niso primerni,
- potrebna je posebna strojna oprema in usposobljeno osebje za izvedbo,
- odseki skozi naselja (kjer dvig nivelete ni možen, komunalni vodi, jaški ...),

6.2.5 Obnova

Obnovo (rekonstrukcijo) tj. kompletno zamenjavo plasti voziščne konstrukcije, izvedemo takrat, kadar določen material ni več primeren oziroma ni sposoben prevzemati prometnih obremenitev = zmanjšana je nosilnost voziščne konstrukcije, ki se kaže v preoblikovanju oziroma deformiranju. Neustrezen material (asfaltne plasti, nevezane nosilne plasti ali oboje) je potrebno odstraniti in ga nadomestiti z ustreznim.

Obnova obstoječe voziščne konstrukcije pogojuje, poleg ukrepa novogradnje, še odstranitev obstoječe voziščne konstrukcije v obsegu, kot ga pogojuje nova niveleta vozišča.

Vzroki za potrebno zamenjavo obstoječih voziščnih konstrukcij so v glavnem:

- neustrezno odvodnjavanje,
- neustrezni materiali, vgrajeni v nevezane nosilne plasti,
- premajhne debeline nevezane nosilne plasti (posledica neustrezno dimenzionirane voziščne konstrukcije = zagotavljanje odpornosti proti škodljivim vplivom zmrzovanja),
- neustrezne debeline in materiali vgrajeni v vezane nosilne ali/in obrabne plasti.

Obnovitev voziščne konstrukcije je smiselna, kadar

- je več lastnosti voznih površin v zelo slabem stanju in
- je hkrati potrebno tudi izboljšati elemente ceste (širitev vozišča, spreminjanje radijev zaokrožitev ...) in
- v poškodovano obstoječo voziščno konstrukcijo ni v zadostni debelini vgrajen material, odporen proti škodljivim učinkom mraza in/ali
- kadar globina prodiranja mraza pogojuje debelejšo nadgradnjo

in hkrati

- nadgradnja ni mogoča (npr. zaradi omejitve višine nivelete – v naseljenih območjih).

Določitev voziščne konstrukcije v primeru novogradnje se, na osnovi nosilnosti podlage, merodajne prometne obremenitve ter klimatskih in hidroloških pogojev, izvaja po TSC 06.520 Projektiranje, Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij.

Minimalne voziščne konstrukcije so za posamezne srednje vrednosti prometnih obremenitev v odvisnosti od osnovnih parametrov podane v naslednjih *preglednicah*:

	Enota mere	Pogoji								
		neugodni – CBR = 3 %				ugodni – CBR = 10 %				
Voziščna konstrukcija:										
- krovna plast (asfalt)	cm	8				8				
- nevezana nosilna plast	cm	44				25				
Skupaj:	cm	52				33				
Debelina zaščite:		0,8 h _m				0,6 h _m				
- h _m	cm	70	80	90	100	60	70	80	90	100
- h _{min}	cm	56	64	72	80	36	42	48	54	60
Voziščna konstrukcija:										
- obrabna plast BB ⁽¹⁾		3				3				
- vez. nosilna plast BD ⁽²⁾		5				5				
- nevezana nosilna plast		48	41	44	42	28	34	40	46	37
Skupaj:		56	49	52	50	36	42	48	54	45
Posteljica		-	15	20	30	-	-	-	-	15
Utrditev skupaj		56	64	72	80	36	42	48	54	60

⁽¹⁾ BB – bitumenski beton

⁽²⁾ BD – bituminizirani drobljenec

Dimenzioniranje novogradnje za zelo lahko prometno obremenitev: 2×10^5 prehodov NOO 82 kN (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 41)

	Enota mere	Pogoji								
		neugodni – CBR = 3 %				ugodni – CBR = 10 %				
Voziščna konstrukcija:										
- krovna plast (asfalt)	cm	9				9				
- nevezana nosilna plast	cm	48				27				
Skupaj:	cm	57				36				
Debelina zaščite:		0,8 h _m				0,6 h _m				
- h _m	cm	70	80	90	100	60	70	80	90	100
- h _{min}	cm	56	64	72	80	36	42	48	54	60
Voziščna konstrukcija:										
- obrabna plast BB		3				3				
- vez. nosilna plast BD		6				6				
- nevezana nosilna plast		48	40	43	41	27	33	39	45	36
Skupaj:		57	49	52	50	36	42	48	54	45
Posteljica		-	15	20	30	-	-	-	-	15
Utrditev skupaj		57	64	72	80	36	42	48	54	60

Dimenzioniranje novogradnje za lahko prometno obremenitev: 4 x 10⁵ prehodov NOO 82 kN (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 41)

	Enota mere	Pogoji								
		neugodni – CBR = 3 %				ugodni – CBR = 10 %				
Voziščna konstrukcija:										
- krovna plast (asfalt)	cm	12				12				
- nevezana nosilna plast	cm	56				30				
Skupaj:	cm	68				42				
Debelina zaščite:		0,8 h _m				0,6 h _m				
- h _m	cm	70	80	90	100	60	70	80	90	100
- h _{min}	cm	56	64	72	80	36	42	48	54	60
Voziščna konstrukcija:										
- obrabna plast BB s ⁽³⁾		3				3				
- vez. nosilna plast BD S ⁽⁴⁾		9				9				
- nevezana nosilna plast		41	41	40	38	30	30	36	42	33
Skupaj:		53	53	52	50	42	42	48	54	45
Posteljica		15	15	20	30	-	-	-	-	15
Utrditev skupaj		68	68	72	80	42	42	48	54	60

⁽³⁾ s – silikatna sestava zmesi kamnitih zrn

⁽⁴⁾ S – skeletna sestava

Dimenzioniranje novogradnje za srednjo prometno obremenitev: 1,3 x 10⁶ prehodov NOO 82 kN (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 42)

	Enota mere	Pogoji								
		neugodni – CBR = 3 %				ugodni – CBR = 10 %				
Voziščna konstrukcija:										
- krovna plast (asfalt)	cm	15				15				
- nevezana nosilna plast	cm	62				33				
Skupaj:	cm	77				48				
Debelina zaščite:		0,8 h _m				0,6 h _m				
- h _m	cm	70	80	90	100	60	70	80	90	100
- h _{min}	cm	56	64	72	80	36	42	48	54	60
Voziščna konstrukcija:										
- obrabna plast BB s		3				3				
- vez. nosilna plast BD S		2 x 6				2 x 6				
- nevezana nosilna plast		42	42	42	35	33	33	33	39	45
Skupaj:		57	57	57	50	48	48	48	54	60
Posteljica		20	20	20	30	-	-	-	-	-
Utrditev skupaj		77	77	77	80	48	48	48	54	60

Dimenzioniranje novogradnje za težko prometno obremenitev: 4×10^6 prehodov NOO 82 kN (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 42)

	Enota mere	Pogoji								
		neugodni – CBR = 3 %				ugodni – CBR = 10 %				
Voziščna konstrukcija:										
- krovna plast (asfalt)	cm	19				19				
- nevezana nosilna plast	cm	66				34				
Skupaj:	cm	85				53				
Debelina zaščite:		0,8 h _m				0,6 h _m				
- h _m	cm	70	80	90	100	60	70	80	90	100
- h _{min}	cm	56	64	72	80	36	42	48	54	60
Voziščna konstrukcija:										
- obrabna plast BB s		3				3				
- vez. nosilna plast BD S		2 x 8				2 x 8				
- nevezana nosilna plast		41				34	34	34	35	41
Skupaj:		60				53	53	53	54	60
Posteljica		25				-	-	-	-	-
Utrditev skupaj		85				53	53	53	54	60

Dimenzioniranje novogradnje za zelo težko prometno obremenitev: $1,3 \times 10^7$ prehodov NOO 82 kN (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 43)

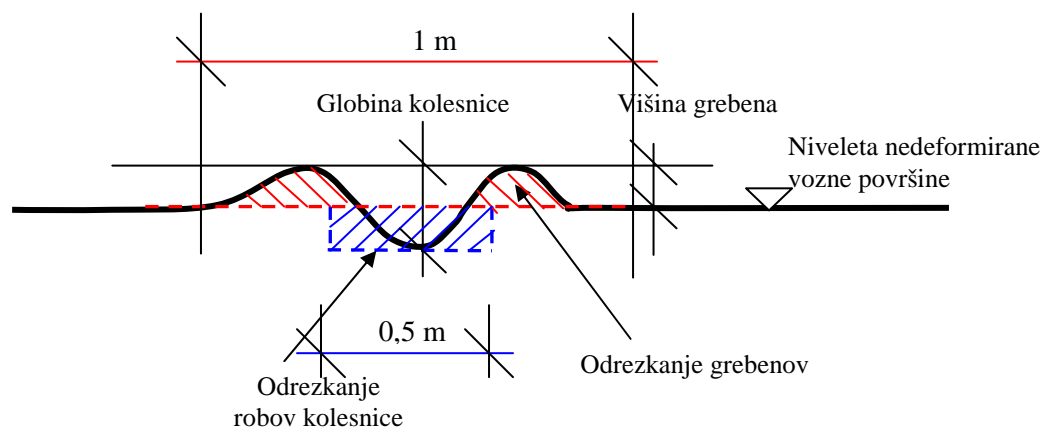
	Enota mere	Pogoji								
		neugodni – CBR = 3 %				ugodni – CBR = 10 %				
Voziščna konstrukcija: - krovna plast (asfalt) - nevezana nosilna plast	cm	21				21				
	cm	67				34				
Skupaj:	cm	88				55				
Debelina zaščite:		0,8 h _m				0,6 h _m				
	cm	70	80	90	100	60	70	80	90	100
- h _{min}	cm	56	64	72	80	36	42	48	54	60
Voziščna konstrukcija: - obrabna plast BB s - vez. nosilna plast BD S - nevezana nosilna plast Skupaj:		3				3				
		2 x 9				2 x 9				
		42				34	34	34	34	39
		63				55	55	55	55	60
Posteljica		25				-	-	-	-	-
Utrditev skupaj		88				55	55	55	55	60

Dimenzioniranje novogradnje za izredno težko prometno obremenitev: 2×10^7 prehodov NOO 82 kN (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 43)

6.2.6 Rezkanje

Postopek rezkanja se uporablja v primerih, ko je vozišče poškodovano s kolesnicami in/ali je potrebno izboljšati torne karakteristike vozne površine (ohrapavljenje površine), pri čemer neustreznost obstoječih asfaltnih zmesi pogojuje odstranitev le-teh.

Predhodna sanacija kolesnic se lahko izvede, kot je prikazano na *sliki*.



Primer predhodne sanacije vozišča, poškodovanega s kolesnicami (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 47)

Stanje	Globina kolesnice [mm]	Predhodni sanacijski ukrep
dobro	< 15	/
mejno	15 do 30	rezkanje grebena ob kolesnici
slabo	30 do 60	rezkanje grebena in robov kolesnice + izravnava kolesnice
zelo slabo	> 60	rezkanje grebena in robov kolesnice + izravnava kolesnice

Predhodni sanacijski ukrepi za vozne površine, kjer so poleg kolesnic na vozišču v slabšem stanju od mejnega še druge lastnosti vozne površine (Povzeto po: Jamnik, Žmavc, Cezar, 2005, str. 48)

Območje okrog kolesnice se sanira z odrezkanjem grebenov ob kolesnici do nivelete nedeformirane vozne površine ob kolesnici (v širini 1 m), nato pa se odrezka še robove kolesnice do dna kolesnice (v širini 0,5 m).

Izravnava kolesnice se izvede z vgradnjo asfaltne zmesi za obrabne plasti bitumenskega betona (ali obrabne plasti skeletne sestave diskontinuiranega bitumenskega betona ali drobirja z bitumenskim mastiksom), pri čemer je zaradi posedanja pri zgoščevanju potrebno upoštevati ustrezno nadvišanje.

Tako izvedeni predhodni sanaciji kolesnice sledi ureditev površine vozišča, ki je odvisna od razreda prometne obremenitve in ostalih poškodb vozne površine.

V primeru plastičnega preoblikovanja obrabne in nosilne plasti na celotni površini (več kolesnic) je potrebno izvesti kompletno zamenjavo deformabilnih asfaltnih zmesi.

7 PRAKTIČNI PRIMERI UTRUJANJA MATERIALOV NA POSAMEZNIH TESTNIH ODSEKIH

Cilj praktičnega dela naloge je na osnovi pridobljenih podatkov o lastnostih materialov v vgrajenih asfaltnih zmesih ugotoviti stopnjo utrujanja po projektirani dobi trajanja (18 do 20 let). Ta pomeni razmerje po vgraditvi in sedaj med lastnostmi bitumna in vgrajenih asfaltnih zmesi.



Slika 8: Odvzem asfaltnih jeder na testnem odseku

Figure 8: Asphalt boring on test section



Slika 9: Odvzeti vzorci v laboratoriju

Figure 9: Asphalt boreholes in laboratory

7.1 Osnovne preiskave asfaltnih zmesi in bitumnov

Na obravnavanih desetih testnih odsekih so bili na istih mestih, kjer so bili (iz poročil) pridobljeni podatki oziroma ugotovljene lastnosti asfaltnih zmesi in bitumnov za vgrajeno novo stanje, ponovno odvzeti vzorci asfaltnih jeder premera 15 cm. Za potrebe te raziskave so bile v laboratoriju CMCelje, Asphalt - kamnolom, Velika Pirešica izvedene nekatere osnovne preiskave bitumnov, asfaltnih zmesi in zlepljenost plasti.

Penetracija je merilo trdote bitumna pri 25°C (tkim. poltrdno območje). Izmerimo globino vtisa ustrezno oblikovane igle, obremenjene s 100g 5 sekund, v 1/10 mm. Vzorec eno uro prej temperiramo (odvisno od vrste bitumna). Preiskava se izvaja v vodi.

Penetracija bitumnov je osnova za njihovo razvrstitev v tipe (*glej preglednico na strani 99*).

Zmehčišče, določeno po postopku prstana in kroglice (PK), predstavlja temperaturo začetka tečenja bitumna - obnašanje bitumna pri visokih temperaturah. Pri temperaturi zmehčišča se plast bitumna, ki je za preskus vgrajena v prstan in jo enakomerno segrevamo, pod kroglico z določeno maso preoblikuje iz trdega v tekoče stanje. Zmehčišče bitumna je izhodišče za oceno njegovega obnašanja pri temperaturah poleti oziroma pri temperaturi, pri kateri ima bitumen penetracijo približno 800 dmm. Za cestogradbene bitumne se izvaja v vodi, za PmB pa v glicerinu. Pove največ o lastnostih bitumna.

Indeks penetracije kaže temperaturno občutljivost bitumna, t.j. spremembo viskoznosti v odvisnosti od temperature. Izračunamo ga iz izmerjenih vrednosti zmehčišča in penetracije. Vrednosti morajo biti najmanj - 1.

Pretrgališče (točka loma po Frassu) pokaže začetek krhkega območja bitumna pri nizkih temperaturah. Preizkus s ponavljanjem določenega upogiba kovinske ploščice, na kateri je na eni strani tanka plast bitumna, pri vedno nižji temperaturi (ohlajevanje) pokaže, kdaj bitumen doseže določeno krhkost oziroma nastanejo na plasti bitumna razpoke.

Duktilnost (raztegljivost) določa tekoče območje oziroma meje raztezanja bitumna, predno se pretrga. Vzorec bitumna, vgrajen v poseben kalup, v temperirani vodni kopeli (pri 25°C) raztegnemo z določeno hitrostjo v nitko. Merimo silo in raztezek pri tem. Pri cestogradbenih bitumnih vlečemo v dolžino 150 cm, pri PmB pa do 70 cm.

Vse preiskave cestogradbenih bitumnov (ki so vgrajeni na zadevnih testnih odsekih) so bile za potrebe te raziskave (sedanje stanje) izvajane po postopkih, opisanih v veljavnih standardih, skladno s *preglednico*, kjer so tudi podane zahteve za posamezno lastnost bitumna.

Lastnosti	Enota mere	Postopek za preskus	Tip bitumna							
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetracija pri 25°C	0.1 mm	EN 1426	20 - 30	30 - 45	35 - 50	40 - 60	50 - 70	70 - 100	100 - 150	160 - 220
Zmehčišče	°C	EN 1427	55 - 63	52 - 60	50 - 58	48 - 56	46 - 54	43 - 51	39 - 47	35 - 43
Odpornost proti otrjevanju pri 163°C:		EN 12607-1								
- ohranjena vrednost penetracije	%		≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
- zvišanje zmehčišča, največ- zahtevnost 1 ali - zvišanje zmehčišča, največ- zahtevnost 2	°C °C		≤ 8 ≤ 10	≤ 8 ≤ 11	≤ 8 ≤ 11	≤ 9 ≤ 11	≤ 9 ≤ 11	≤ 9 ≤ 11	≤ 10 ≤ 12	≤ 11 ≤ 12
Plamenišče	°C	EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Topnost	%	EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Sprememba mase po RTFOT	%	EN 12607-1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Posebni nacionalni pogoji: - Indeks penetracije		SIST EN 12591 Dodatek B	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7
- Kinematična viskoznost pri 135°C	mm ² /s	EN 12595	≥ 530	≥ 400	≥ 370	≥ 325	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135
- Dinamična viskoznost pri 60°C	Pa.s	EN 12596	≥ 440	≥ 260	≥ 225	≥ 175	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
- Pretrgališče po Fraass-u	°C	EN 12593	-	≤ - 5	≤ - 5	≤ - 7	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 12	≤ - 15

Okvirne specifikacije za kakovostne zahteve za standardne cestogradbene bitumne (Povzeto po: ZAS, Asfalt, 2006, str. 28)

Enake preiskave (za primerjavo) v letih 1988 - 89 (vgrajeno novo stanje) so bile izvedene skladno s takrat veljavnimi jugoslovanskimi standardi (JUS-i) in sicer:

- vsebnost bitumna (ekstrakcija s CHCl₃) po JUS U.M8.100
- penetracija po JUS B.H8.612
- zmehčišče (po prstan – kroglici) po JUS B.H8.613
- pretrgališče po Fraassu po JUS B.H8.616
- duktilnost pri 25°C po JUS B.H8.615.

Zlepljenost plasti ocenjujemo s silo zlepljenja, ki smo jo določili v Marshallovi stiskalnici na valjastih vzorcih premera 150 mm (*slika 10*). Merimo silo pri kateri pride do ločevanja dveh plasti (*slika 11*).



Slika 10: Marshall stiskalnica za določitev sile zlepljenosti (laboratorij CM Celje)

Figure 10: Marshall press for determination of binding force



Slika 11: Primer ločene asfaltne izvrtine za nadaljnje preiskave na BB in BD (po poružitvi)

Figure 11: Example of separated borehole after destruction, for further investigation on AC_{surf} and AC_{base}

7.2 Lokacije in opisi testnih odsekov

Na posameznih stacionažah testnih odsekov, za katere je bilo mogoče pridobiti podatke o lastnostih asfaltnih zmesi (bitumenskih betonov in bituminiziranih drobljencev) v vgrajenem novem stanju, so bila v januarju in februarju 2007 ponovno odvzeta asfaltna jedra premera 15 mm (glej podatke v preglednicah 3 in 4).

Preglednica 3: Testni odseki za preverjanje utrujanja bitumenskih betonov

Table 3: Test sections for fatigue checks on Asphalt Concrete - surface (AC_{surf})

Cesta	Odsek št.	Ime odseka	Stacionaža km	Vozni pas	Prometna obremenitev (ob vgradnji)	Datum vgradnje	Obrabna plast	
							Vrsta asfaltnih zmesi	Projek-tirana debelina (cm)
R2-430	0278	Tepanje - Slovenske Konjice	2.740	LVP	srednja	22.11.1989	BB 11	4
R2-447	0290	Šentrupert - Ločica	3.250	DVP	težka	30.10.1989	BB 11	4
R3-688	1231	Slovenske Konjice - Žiče	0.620	LVP	lahka	20.10.1989	BB 8	3
R3-688	1231	Slovenske Konjice - Žiče	1.160	LVP	lahka	20.10.1989	BB 8	3
R3-688	1231	Slovenske Konjice - Žiče	1.320	DVP	lahka	20.10.1989	BB 8	3
R2-431	1350	Zg. Dolič - Stranice	5.400	DVP	lahka	13.10.1988	BB 8	3
G2-107	1274	Celje – Šentjur (Kidričeva)	0.150	desno vozišče, LVP	srednja	18.4.1989	BB 8	4
G1-5	0370	Medlog Celje (magistrala V-Z)	2.080	desno vozišče, DVP	srednja	20.10.1987	BB 11	4
G1-5	0370	Medlog Celje (magistrala V-Z)	2.300	desno vozišče, LVP	srednja	20.10.1987	BB 11	4

Preglednica 4: Testni odseki za preverjanje utrujanja bituminiziranih drobljencev

Table 4: Test sections for fatigue checks on Asphalt Concrete - base (AC_{base})

Cesta	Odsek št.	Ime odseka	Stacionaža v km	Vozni pas	Prometna obremenitev (ob vgradnji)	Datum vgradnje	Zgornja vezana nosilna plast	
							Vrsta asfaltne zmesi	Projek-tirana debelina (cm)
R2-430	0278	Tepanje – Slovenske Konjice	2.740	LVP	srednja	21.11.1989	BD32S	izravnava
R2-431	1350	Zg. Dolič - Stranice	5.060	LVP	lahka	18.11.1988	BD 16	5
R2-431	1350	Zg. Dolič - Stranice	5.400	DVP	lahka	18.11.1988	BD 32	5
G2-107	1274	Celje - Šentjur (Kidričeva)	0.150	desno vozišče, LVP	srednja	18.4.1989	BD 32	6
G1-5	0370	Medlog Celje (magistrala V-Z)	2.080	desno vozišče, DVP	srednja	19.10.1987	BD 22S	8

Izbrani testni odseki se med seboj razlikujejo po naslednjih parametrih:

- prometna obremenitev (lahka, srednja, težka)
- vgrajena voziščna konstrukcija (različne debeline asfaltnih plasti BB in BD)
- geološke razmere (nosilnost podlage, določena na osnovi meritev s FWD)
- lokalni potek trase in klimatski pogoji (nasip, vkop, ...)
- stanje vozne površine (posamezne lastnosti vozne površine na osnovi izvedenih meritev)
- lastnosti bitumna in vgrajenih asfaltnih zmesi.

Izmerjene vrednosti in ugotovitve so za posamezni testni odsek podane opisno in v preglednicah ugotovljenih lastnosti vgrajenih asfaltnih zmesi in bitumnov, splošne ugotovitve na osnovi vseh izvedenih meritev in raziskav pa v analizi rezultatov in v zaključku naloge.

7.2.1 Odsek R2-430/0278 Tepanje - Slovenske Konjice

Lokacija: Križišče ceste M 10-1 in obvoznice Slovenske Konjice, km 2.740, levi vozni pas - smer Slovenske Konjice



Slika 12: Odsek R2-430/0278 Tepanje - Slovenske Konjice: testni odsek 1

Figure 12: Section R2-430/0278 Tepanje - Slovenske Konjice: test section 1

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
težka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečne debelin):

- BB 11 - 3,08 cm (projektirana: 4 cm)
- BD 32 S - 3,43 cm (projektirana: izravnava)
- BB - 2,58 cm
- BD - 3,28 cm
- BB - 2,83 cm
- BB - 1,38 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 0,758N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 94 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni } CBR = 9 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka skozi naselje v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):



Slika 13: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 1

Figure 13: Pavement condition at the place of boring: test section 1

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):
 $MSI = 1,2$
razred stanja vozišča: dobro

- Podajnost (meritve s FWD izvedene 16.6.2004):
 $d_{FWD} = 204 \text{ mm}/1000$
razred stanja vozišča: zelo dobro
 $P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$

- Prečna ravnost (ocena):
razred stanja: dobro

- Vzdolžna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro

- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2006):
 $SN = 46$
razred stanja: slabo

Preglednica 5: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 1

Table 5: AC_{surf} properties on test section 1

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 1 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,6	5,1
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	49,0	33,7
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	56,5	58,0
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 13	- 6
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1504,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	2,00	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	86,98	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	12,00	
9	Tečenje pri 60°C	mm	5,5	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	3,6	
12	Stopnja zgostitve	%	97,23	
13	Vsebnost votlin	V.-%	4,71	

Preglednica 6: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 1

Table 6: AC_{base} properties on test section 1

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bituminizirani drobljenec (vzorec št. 1 - BD)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	3,6	3,6
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	37,0	28,4
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	55,5	60,8
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 11	-1
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1504
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	9,45	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	46,47	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	9,9	
9	Tečenje pri 60°C	mm	3,5	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		ni podatkov	
11	Debelina	cm	ni podatkov	
12	Stopnja zgostitve	%	ni podatkov	
13	Vsebnost votlin	V.-%	ni podatkov	

7.2.2 Odsek R2-447/0290 Šentrupert - Ločica

Lokacija: Km 3.250, desni vozni pas - smer Ljubljana (A drog P 27 – 28)



Slika 14: Odsek R2-447/0290 Šentrupert - Ločica: testni odsek 2

Figure 14: Section R2-447/0290 Šentrupert - Ločica: test section 2

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
težka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečne debelin):

BB 11 - 3,41 cm (projektirana: 4 cm)

BB - 3,15 cm

BB - 3,71 cm

BD - 10,57 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 1,082 N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

ocenjeni CBR > 15 %

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka izven naselja v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):
MSI = 0,8
razred stanja vozišča: zelo dobro
- Podajnost (meritve s FWD izvedene 23.6.2004):
 $d_{FWD} = 136 \text{ mm}/1000$
razred stanja vozišča: zelo dobro
PŽD ≥ 20 let
- Prečna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Vzdolžna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex niso bile izvedene - ocena):
razred stanja: dobro



Slika 15: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 2

Figure 15: Pavement condition at the place of boring: test section 2

Preglednica 7: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 2

Table 7: AC_{surf} properties on test section 2

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 2 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,6	5,0
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	52,0	30,2
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	56,5	59,7
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 17	- 6
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1500,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	1,62	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	89,26	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	13,30	
9	Tečenje pri 60°C	mm	4,9	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	5,0	
12	Stopnja zgostitve	%	99,19	
13	Vsebnost votlin	V.-%	2,42	

7.2.3 Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice- Žiče

Lokacija: Km 0.620, P 42, levi vozni pas - smer Žiče



Slika 16: Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: testni odsek 3

Figure 16: Section R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: test section 3

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
lahka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečje debelin):

BB 8 - 2,65 cm (projektirana: 3 cm)

BD - 7,04 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 0,985 N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 165 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni CBR} = 16 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek je obvoznica mimo naselja v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):
 $MSI = 0,0$
razred stanja vozišča: zelo dobro
- Podajnost (meritve s FWD izvedene 23.7.2001):
 $d_{FWD} = 292 \text{ mm}/1000$
razred stanja vozišča: zelo dobro
 $P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$
- Prečna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Vzdolžna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2004):
 $SN = 45$
razred stanja: slabo



Slika 17: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 3

Figure 17: Pavement condition at the place of boring: test section 3

Preglednica 8: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 3

Table 8: AC_{surf} properties on test section 3

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 3 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,8	5,5
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	49,0	43,7
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	57,0	61,1
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 19	- 12
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1000,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	2,49	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	84,52	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	11,4	
9	Tečenje pri 60°C	mm	4,0	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	2,5	
12	Stopnja zgostitve	%	97,28	
13	Vsebnost votlin	V.-%	5,15	

7.2.4 Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče

Lokacija: Km 1.160, P 67, levi vozni pas - smer Žiče



Slika 18: Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: testni odsek 4

Figure 18: Section R3-688/1231 Slovenske Konjice – Žiče: test section 4

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
lahka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečje debelin):
BB 8 - 3,07 cm (projektirana: 3 cm)
BD - 7,13 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 1,124 N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 103 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni CBR} = 10 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek je obvoznica mimo naselja v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):
 $MSI = 0,8$
razred stanja vozišča: zelo dobro
- Podajnost (meritve s FWD izvedene 23.7.2001):
 $d_{FWD} = 341 \text{ mm}/1000$
razred stanja vozišča: zelo dobro
 $P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$
- Prečna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Vzdolžna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2004):
 $SN = 72$
razred stanja: zelo dobro



Slika 19: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 4

Figure 19: Pavement condition at the place of boring: test section 4

Preglednica 9: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 4

Table 9: AC_{surf} properties on test section 4

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 4 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,6	5,5
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	44,0	26,7
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	61,5	67,7
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 12	- 9
5	Duktilnost pri 25°C	mm		800,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	3,00	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	81,43	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	13,0	
9	Tečenje pri 60°C	mm	3,9	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	3,8	
12	Stopnja zgostitve	%	98,15	
13	Vsebnost votlin	V.-%	4,80	

7.2.5 Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče

Lokacija: Km 1.320, P 80, desni vozni pas - smer Žiče



Slika 20: Odsek R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: testni odsek 5

Figure 20: Section R3-688/1231 Slovenske Konjice - Žiče: test section 5

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
lahka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečje debelin):
BB 8 - 2,24 cm (projektirana: 3 cm)
BD - 7,27 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 0,94 N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 189 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni CBR} = 19 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek je obvoznica mimo naselja v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):

$$MSI = 2,0$$

razred stanja vozišča: mejno

- Podajnost (meritve s FWD izvedene 23.7.2001):

$$d_{FWD} = 232 \text{ mm}/1000$$

razred stanja vozišča: zelo dobro

$$P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$$

- Prečna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Vzdolžna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2004):

$$SN = 45$$

razred stanja: slabo



Slika 21: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 5

Figure 21: Pavement condition at the place of boring: test section 5

Preglednica 10: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 5

Table 10: AC_{surf} properties on test section 5

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 5 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,5	5,3
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	53,0	27,0
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	57,0	69,8
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 16	- 6
5	Duktilnost pri 25°C	mm		353,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	3,70	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	77,76	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	10,5	
9	Tečenje pri 60°C	mm	3,7	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	2,8	
12	Stopnja zgostitve	%	97,73	
13	Vsebnost votlin	V.-%	5,88	

7.2.6 Odsek R2-431/1350 Zgornji Dolič - Stranice

Lokacija: Km 5.060, P 16, levi vozni pas - smer Stranice



Slika 22: Odsek R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: testni odsek 6

Figure 22: Section R2-431/1350 Zg. Dolič – Stranice: test section 6

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
srednja

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečne debelin):

BB 11 - 4,22 cm (projektirana: 3 cm)

BD 16 - 5,86 cm (projektirana: 5 cm)

Sila zlepljenja:

$$\beta_{ZS} = 1,035 N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 64 \text{ MPa}$$

$$\text{ocenjeni CBR} = 6 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka izven naselja v vzponu in v visokem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):

$$MSI = 1,2$$

razred stanja vozišča: dobro

- Podajnost (meritve s FWD izvedene 23.6.2004):

$$d_{FWD} = 462 \text{ mm}/1000$$

razred stanja vozišča: zelo dobro

$$P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$$

- Prečna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Vzdolžna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Torna sposobnost (ocena):

razred stanja: dobro



Slika 23: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih izvrtin: testni odsek 6

Figure 23: Pavement condition at the place of boring: test section 6

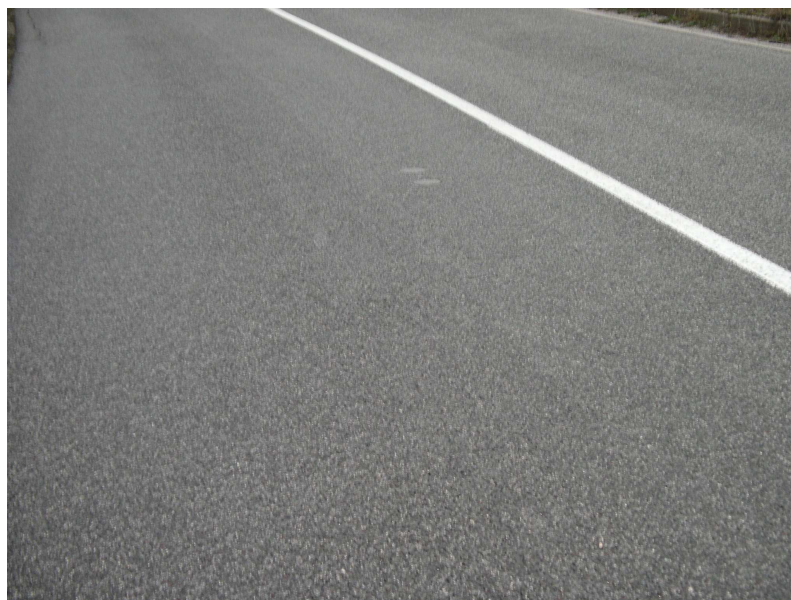
Preglednica 11: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 6

Table 11: AC_{base} properties on test section 6

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bituminizirani drobljenec (vzorec št. 2 - BD)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1988)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	4,1	3,7
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	27,0	25,7
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	68,0	62,8
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 13	- 8
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1500,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	7,65	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	54,70	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	13,8	
9	Tečenje pri 60°C	mm	4,1	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		ni podatkov	
11	Debelina	cm	5,8	
12	Stopnja zgostitve	%	95,94	
13	Vsebnost votlin	V.-%	11,40	

7.2.7 Odsek R2-431/1350 Zgornji Dolič - Stranice

Lokacija: Km 5.400, P 48, levi vozni pas - smer Stranice



Slika 24: Odsek R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: testni odsek 7

Figure 24: Section R2-431/1350 Zg. Dolič - Stranice: test section 7

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
srednja

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečje debelin):

BB 8 - 4,1 cm (projektirana: 3 cm)

BD 32 - 8,29 cm (projektirana: 5 cm)

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 1,091N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 125 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni CBR} = 12 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka izven naselja v vzponu in v visokem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):

$$MSI = 1,2$$

razred stanja vozišča: dobro

- Podajnost (meritve s FWD izvedene 23.6.2004):

$$d_{FWD} = 322 \text{ mm}/1000$$

razred stanja vozišča: zelo dobro

$$P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$$

- Prečna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Vz dolžna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2006):

$$SN = 59$$

razred stanja: dobro



Slika 25: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 7

Figure 25: Pavement condition at the place of boring: test section 7

Preglednica 12: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 7

Table 12: AC_{surf} properties on test section 7

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 6 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1988)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,5	5,1
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	48,0	30,8
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	55,0	60,6
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 16	- 6
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1500,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	5,01	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	71,75	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	9,3	
9	Tečenje pri 60°C	mm	3,2	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	2,2	
12	Stopnja zgostitve	%	99,79	
13	Vsebnost votlin	V.-%	5,21	

Preglednica 13: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 7

Table 13: AC_{base} properties on test section 7

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bituminizirani drobljenec (vzorec št. 3 - BD)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1988)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	3,8	3,7
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	33,0	28,4
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	58,0	62,5
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 8	- 6
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1500,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	7,67	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	53,66	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	7,9	
9	Tečenje pri 60°C	mm	2,9	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago			
11	Debelina	cm	4,5	
12	Stopnja zgostitve	%	96,97	
13	Vsebnost votlin	V.-%	10,47	

7.2.8 Odsek G2-107/1274 Celje – Šentjur

Lokacija: Km 0.150, P 5, desno vozišče, levi vozni pas (Kidričeva ulica) - smer Celje



Slika 26: Odsek G2-107/1274 Celje - Šentjur: testni odsek 8

Figure 26: Section G2-107/1274 Celje - Šentjur: test section 8

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
težka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečje debelin):

- BB 8 - 2,46 cm (projektirana: 4 cm)
- BD 32 - 4,87 cm (projektirana: 6 cm)
- BD - 13,3 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 1,430 N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 128 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni } CBR = 13 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka skozi naseljeni del mesta v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):

$$MSI = 1,2$$

razred stanja vozišča: dobro

- Podajnost (meritve s FWD izvedene 22.9.2003):

$$d_{FWD} = 140 \text{ mm}/1000$$

razred stanja vozišča: zelo dobro

$$P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$$



Slika 27: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 8

Figure 27: Pavement condition at the place of boring: test section 8

- Prečna ravnost (ocena):

razred stanja: mejno

- Vzdolžna ravnost (ocena):

razred stanja: zelo dobro

- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2005):

$$SN = 54$$

razred stanja: dobro

Preglednica 14: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 8

Table 14: AC_{surf} properties on test section 8

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 7 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,6	5,2
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	54,0	20,8
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	52,5	69,5
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 11	- 2
5	Duktilnost pri 25°C	mm		300,4
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	3,44	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	79,40	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	10,0	
9	Tečenje pri 60°C	mm	3,9	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	3,3	
12	Stopnja zgostitve	%	99,55	
13	Vsebnost votlin	V.-%	3,88	

Preglednica 15: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 8

Table 15: AC_{base} properties on test section 8

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bituminizirani drobljenec (vzorec št. 4 - BD)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1989)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	3,3	3,2
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	51,0	19,5
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	53,0	68,4
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 11	- 2
5	Duktilnost pri 25°C	mm		253,1
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	10,46	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	41,80	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	8,0	
9	Tečenje pri 60°C	mm	2,9	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago			
11	Debelina	cm	5,8	
12	Stopnja zgostitve	%	100,77	
13	Vsebnost votlin	V.-%	9,77	

7.2.9 Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje

Lokacija: Km 2.080, P 99, desno vozišče, desni vozni pas, magistrala Vzhod - Zahod v Celju



Slika 28: Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje: testni odsek 9

Figure 28: Section G1-5/0370 Medlog - Celje: test section 9

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
težka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečne debelin):
BB 11 - 4,16 cm (projektirana: 4 cm)
BD 22 S - 7,13 cm (projektirana: 8 cm)

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 1,143N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 148 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni } CBR = 15 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka skozi naseljeni del mesta v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):
 $MSI = 2,1$
razred stanja vozišča: slabo (posamezne prečne razpoke)
- Podajnost (meritve s FWD izvedene 18.9.2003):
 $d_{FWD} = 232 \text{ mm}/1000$
razred stanja vozišča: zelo dobro
 $P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$
- Prečna ravnost (ocena):
razred stanja: dobro (minimalna kolesnica)
- Vzdolžna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2005):
 $SN = 52$
razred stanja: mejno



Slika 29: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 9

Figure 29: Pavement condition at the place of boring: test section 9

Preglednica 16: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 9

Table 16: AC_{surf} properties on test section 9

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 8 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1987)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	5,2	5,1
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	65,0	40,7
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	53,0	60,3
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 22	- 15
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1500,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	1,6	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	88,7	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	10,3	
9	Tečenje pri 60°C	mm	4,0	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	4,7	
12	Stopnja zgostitve	%	99,2	
13	Vsebnost votlin	V.-%	2,4	

Preglednica 17: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BD na testnem odseku 9

Table 17: AC_{base} properties on test section 9

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bituminizirani drobljenec (vzorec št. 5 - BD)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1987)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	4,0	3,4
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	67,0	31,2
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	52,5	65,2
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 24	- 10
5	Duktilnost pri 25°C	mm		422,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	7,1	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	56,80	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	8,2	
9	Tečenje pri 60°C	mm	3,4	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		ni podatka	
11	Debelina	cm	8,5	
12	Stopnja zgostitve	%	97,4	
13	Vsebnost votlin	V.-%	9,5	

7.2.10 Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje

Lokacija: Km 2.300, P 116, desno vozišče, levi vozni pas, magistrala Vzhod - Zahod v Celju



Slika 30: Odsek G1-5/0370 Medlog - Celje: testni odsek 10

Figure 30: Section G1-5/0370 Medlog - Celje: test section 10

Prometna obremenitev po TSC 06.511 (za naslednje načrtovano obdobje 20 let):
težka

Vgrajene asfaltne plasti voziščne konstrukcije (iz asfaltnih jeder - povprečje debelin):
BB 11 - 4,21 cm (projektirana: 4 cm)
BD 22 S - 8,53 cm

Sila zlepljenja:

$$\beta_{zs} = 1,093N / mm^2$$

Nosilnost podlage (na osnovi meritev s FWD):

$$E_3 = 137 \text{ MPa} \quad \text{ocenjeni } CBR = 14 \%$$

Lokalni (potek trase) in klimatski pogoji: obravnavani odsek poteka skozi naseljeni del mesta v nizkem nasipu. Klimatski pogoji so ocenjeni kot ugodni.

Stanje vozne površine (po posameznih lastnostih vozne površine):

- Poškodbe vozne površine (meritve ocene stanja vozišča):
 $MSI = 2,1$
razred stanja vozišča: slabo (posamezne prečne razpoke)
- Podajnost (meritve s FWD izvedene 18.9.2003):
 $d_{FWD} = 206 \text{ mm}/1000$
razred stanja vozišča: zelo dobro
 $P\check{Z}D \geq 20 \text{ let}$
- Prečna ravnost (ocena):
razred stanja: dobro (minimalna kolesnica)
- Vzdolžna ravnost (ocena):
razred stanja: zelo dobro
- Torna sposobnost (meritve s Scrimtex izvedene v letu 2005):
 $SN = 48$
razred stanja: slabo



Slika 31: Stanje vozne površine na mestu odvzema asfaltnih jeder: testni odsek 10

Figure 31: Pavement condition at the place of boring: test section 10

Preglednica 18: Lastnosti vgrajene asfaltne zmesi BB na testnem odseku 10

Table 18: AC_{surf} properties on test section 10

Lastnosti vgrajene asfaltne plasti - bitumenski beton (vzorec št. 9 - BB)		Enota mere	Ob vgradnji (l. 1987)	Sedanje stanje (l. 2007)
Lastnosti bitumna				
1	Delež bitumna	m.-%	4,9	5,3
2	Penetracija pri 25°C	0.1 mm	55,0	50,3
3	Zmehčišče po prstan - kroglici (PK)	°C	54,5	57,6
4	Pretrgališče po Fraassu	°C	- 19	- 12
5	Duktilnost pri 25°C	mm		1222,0
Lastnosti asfaltne zmesi				
6	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi	V.-%	2,4	
7	Zapolnjenost votlin v kameni zmesi z bitumnom	%	83,4	
8	Stabilnost pri 60°C	kN	11,7	
9	Tečenje pri 60°C	mm	4,7	
Asfaltna plast				
10	Zlepljenost s podlago		dobra	
11	Debelina	cm	5,5	
12	Stopnja zgostitve	%	99,1	
13	Vsebnost votlin	V.-%	3,2	

7.3 Analiza rezultatov

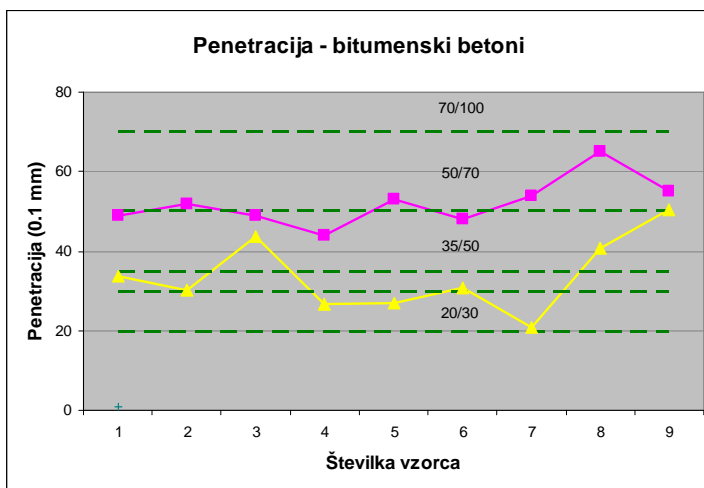
7.3.1 Bitumenski betoni

7.3.1.1 Lastnosti bitumna

Na odvzetih vzorcih bitumenskih betonov so bile preiskane naslednje lastnosti bitumna:

- penetracija
- zmehčišče po PK
- pretrgališče po Frassu.

Izmerjene vrednosti za stanje ob vgradnji (novo) in sedanje stanje so razvidne iz *grafikonov 4 do 6*.

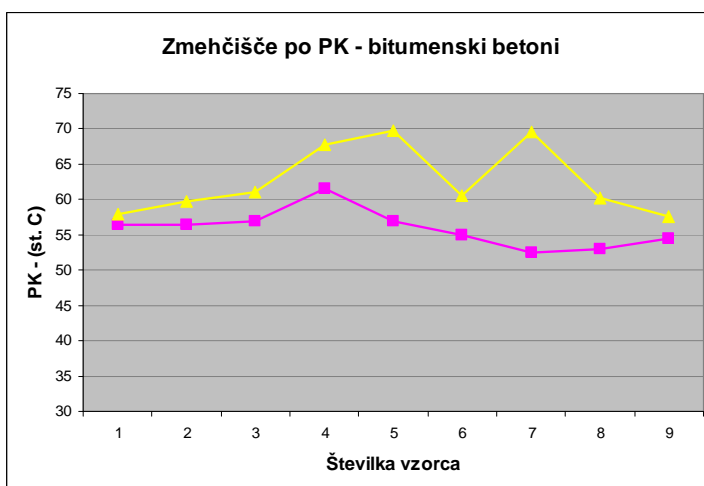


Legenda:

- ob vgradnji
- sedanje stanje

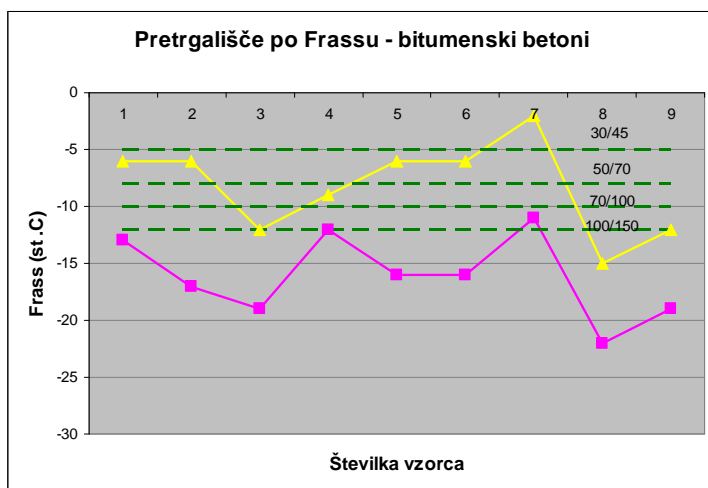
Grafikon 4: Vrednosti penetracije bitumenskih betonov na posameznih vzorcih

Graph 4: Penetration values of asphalt concretes for individual samples



Grafikon 5: Vrednosti zmehčišča bitumenskih betonov na posameznih vzorcih

Graph 5: Softening point values of asphalt concretes for individual samples



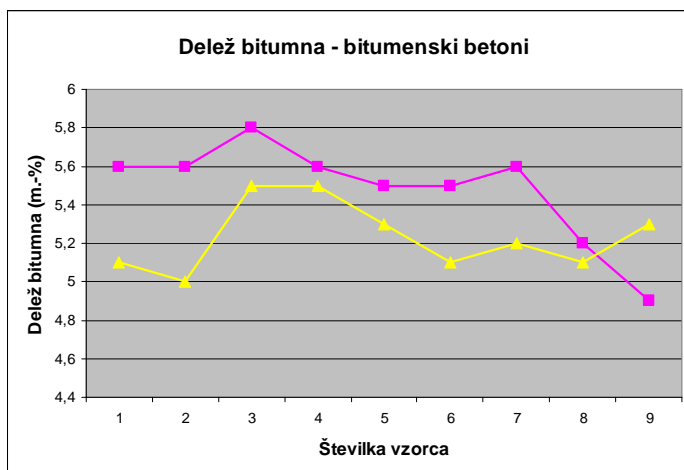
Legenda:

- ob vgradnji
- sedanje stanje

Grafikon 6: Vrednosti pretrgališča bitumenskih betonov na posameznih vzorcih

Graph 6: Fraas breaking points of asphalt concretes for individual samples

Za primerjavo je v grafikonu 7 prikazan delež bitumna ob vgradnji in danes na posameznih vzorcih.



Grafikon 7: Deleži bitumna v bitumenskih betonih na posameznih vzorcih

Graph 7: Bitumen contents in asphalt concretes for individual samples

Na osnovi analize rezultatov bitumnov v zmesih bitumenskih betonov je mogoče zaključiti naslednje:

Penetracija: V večini asfaltnih zmesi na obravnavanih testnih odsekih je bil uporabljen bitumen tipa 50/70 (stara oznaka BIT 60), razen v primeru vzorca 4 (Sl. Konjice - Žiče, testni odsek 4) in 6 (Zg. Dolič - Stranice, testni odsek 6), kjer je bil uporabljen bitumen tipa 35/50 (stara oznaka BIT 45). Izmerjene vrednosti penetracije v vgrajenem stanju so bile v dovoljenih mejah. Izmerjene vrednosti penetracije danes kažejo, da je bitumen otrdel za do dve stopnji. Izstopata vrednosti pri 3. vzorcu (Sl. Konjice - Žiče, testni odsek 3), kjer je bitumen minimalno otrdel in pri 7. vzorcu (Celje - Šentjur, testni odsek 8), kjer je bitumen otrdel za tri stopnje.

Pri podrobnejši analizi odstopanj bi bilo potrebno preveriti ali je prišlo do napake pri zapisu izmerjene vrednosti ali že pri meritvi oziroma kolikšen je delež silikatnih kamnin v zmesi kamnitih zrn ob vgradnji (po podatkih iz poročila je v obeh primerih kamena moka iz Velike Pirešice, zrnavost 0/4 mm in zrnavost 4/8 mm Ljubeščica). Natančno bi bilo potrebno analizirati predvsem vpliv značilnosti uporabljenih kamnin na lastnosti bitumenskih veziv.

Zmehčišče: Vrednosti zmehčišča v vgrajenem stanju in sedanjem stanju so ostale skoraj na isti stopnji, razen pri 5. (Sl. Konjice - Žiče, testni odsek 5) in 7. vzorcu (Celje - Šentjur, testni odsek 8), kjer so nekoliko višje. Vzrok je mogoče iskati predvsem v razmeroma majhni vsebnosti votlin in veliki zgoščenosti vgrajenih plasti asfaltnih zmesi.

Tudi ocenjene prečne ravnosti vozišča na testnih odsekih kažejo na majhno deformabilnost vgrajenih asfaltnih zmesi oziroma ustrezno odpornost proti plastičnemu preoblikovanju (ni kolesnic oziroma se le malo nakazujejo na posameznih odsekih – npr. ravno na testnih odsekih, kjer sta bila odvzeta vzorca 5 in 7).

Večje vrednosti zmehčišča samo v nekaterih primerih pomenijo manjšo penetracijo in s tem večjo otdritev bitumna, kar je razvidno iz *grafikonov 4* in *5*.

Pretrgališče po Frassu: Vrednosti pretrgališča so na vseh testnih odsekih zelo nizke. Navedeno kaže na veliko odpornost bitumna proti nastanku razpok. Še posebej izstopata vrednosti na vzorcu 3 (Sl. Konjice - Žiče, testni odsek 3) in 8 (Medlog - Celje, testni odsek 9), ki lahko kažeta tudi na to, da je bil bitumnu dodan dodatek.

7.3.1.2 Lastnosti asfaltne zmesi

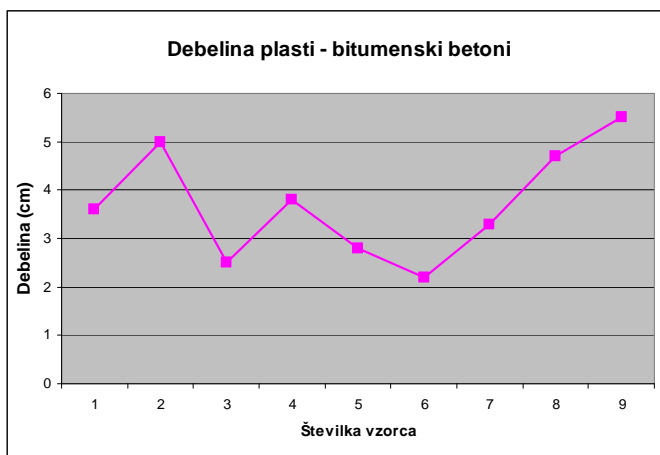
Podatke o vrednostih osnovnih lastnosti asfaltne zmesi, kot sta

- vsebnost votlin (*grafikon 9*) in
- zapolnjenost votlin v kamni zmesi z bitumnom (*grafikon 10*)

smo imeli na voljo samo za stanje ob vgradnji.

Ob tem smo analizirali tudi podatke za vgrajeno asfaltno plast in sicer

- debeline plasti (*grafikon 8*)
- vsebnost votlin v vgrajeni asfaltni plasti (*grafikon 11*) in
- stopnjo zgostitve (*grafikon 12*).



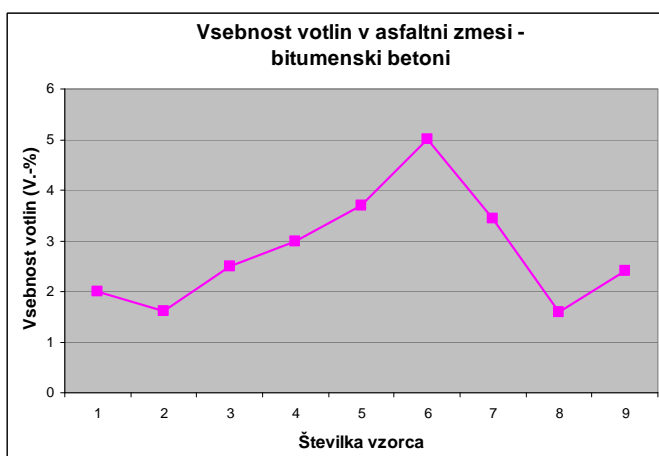
Legenda

— vgrajeno (novo) stanje

Grafikon 8: Debeline plasti bitumenskih betonov na posameznih vzorcih

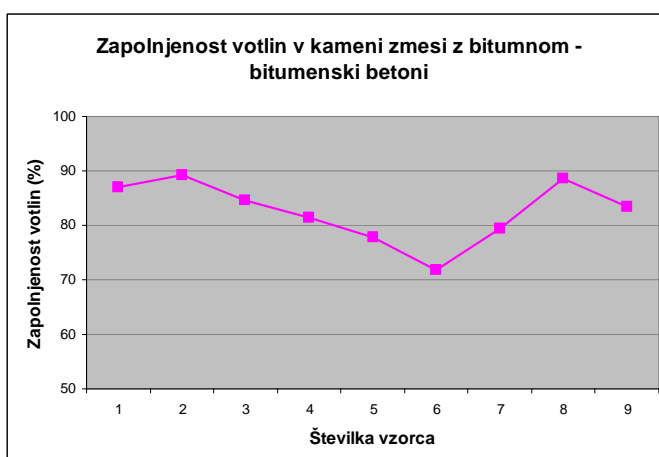
Graph 8: Layer thicknesses of asphalt concretes for individual samples

Iz *grafikonov 9 in 10* je razvidno logično razmerje, da je v primeru večje vsebnosti votlin v asfaltni zmesi zapolnjenost votlin manjša. Obe vrednosti sta v mejah dovoljenih za vgrajeno asfaltno zmes (po takratnih JUS standardih).



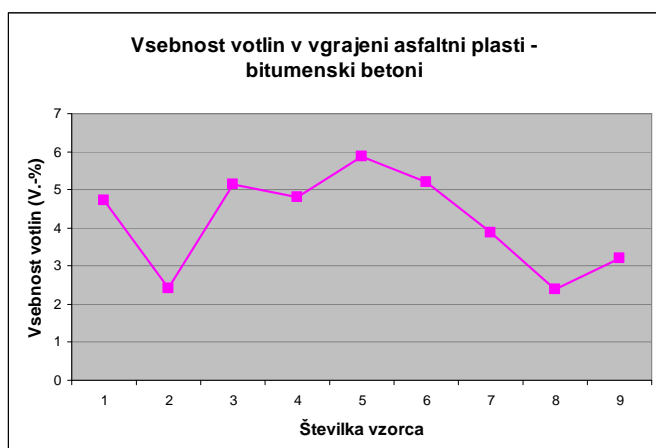
Grafikon 9: Vsebnosti votlin v asfaltni zmesi bitumenskega betona na posameznih vzorcih

Graph 9: Voids contents in asphalt concretes for individual samples



Grafikon 10: Zapolnjenosti votlin v kamni zmesi z bitumnom v bitumenskih betonih na posameznih vzorcih

Graph 10: Voids filled with bitumen in mineral aggregate in asphalt concretes for individual samples

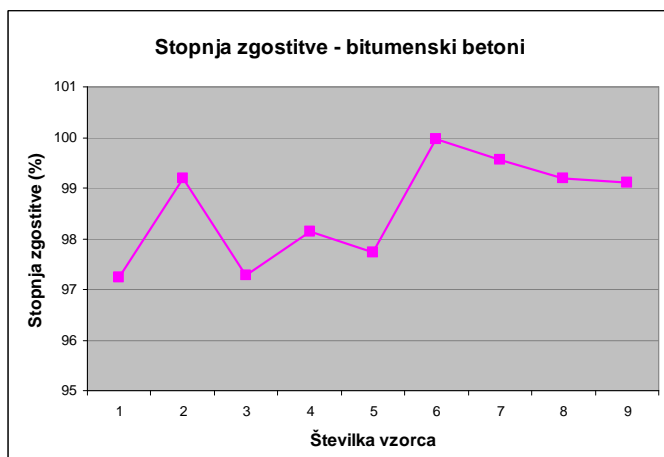


Legenda

— vgrajeno (novo) stanje

Grafikon 11: Vsebnosti votlin v vgrajeni asfaltni plasti bitumenskih betonov na posameznih vzorcih

Graph 11: Voids contents in asphalt concretes layer for individual samples



Grafikon 12: Stopnje zgostitev bitumenskih betonov na posameznih vzorcih

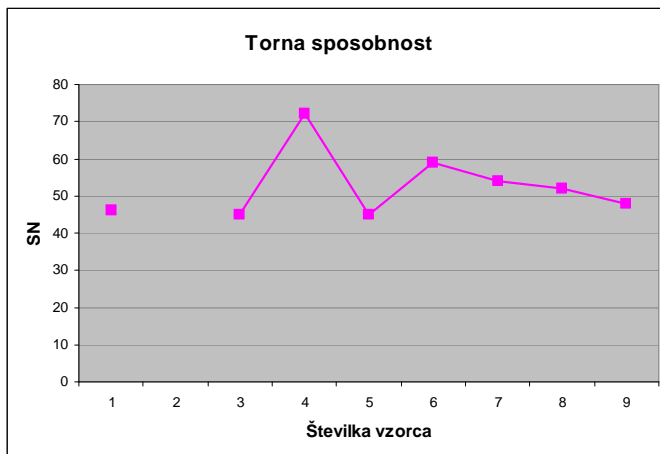
Graph 12: Rate of compaction of asphalt concretes for individual samples

7.3.1.3 Lastnosti vozne površine

Na osnovi izvedenih meritev (v zadnjih letih - glej po razpredelnicah za posamezni testni odsek) sta bili določeni

- torna sposobnost vozne površine - koeficient drsnega trenja SN - z merilno opremo Scrimtex in
- podajnost (defleksija) voziščne konstrukcije z deflektometrom s padajočo utežjo FWD.

Izmerjene vrednosti količnikov *SN* (na testnem odseku 2 meritve ni bila izvedena) in podajnosti so razvidne iz *grafikonov 13* in *14*.

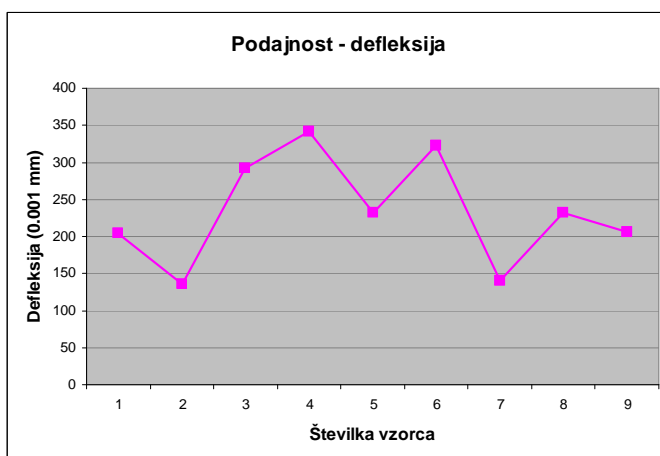


Legenda

— sedanje stanje

Grafikon 13: Vrednosti količnikov *SN* (torne sposobnosti) na posameznih testnih poljih

Graph 13: Skid resistance coefficients *SN* for individual test fields



Grafikon 14: Vrednosti podajnosti na posameznih testnih poljih

Graph 14: Deflections for individual test fields

Iz *grafikona 13* je razvidno, da je torne sposobnost večja pri večji odtitvi bitumna (penetraciji), na primer pri vzorcih 4 in 6.

Vrednosti podajnosti (*razvidne iz grafikona 14*) so v splošnem zelo majhne za dejanske prometne obremenitve, kar kaže na zelo dobro stanje nosilnosti na vseh obravnavanih voziščnih konstrukcijah.

V primerih večjih zapoljenosti votlin z bitumnom je ravnost nekoliko manjša, ker je zmes bolj deformabilna.

7.3.2 Bituminizirani drobljenci

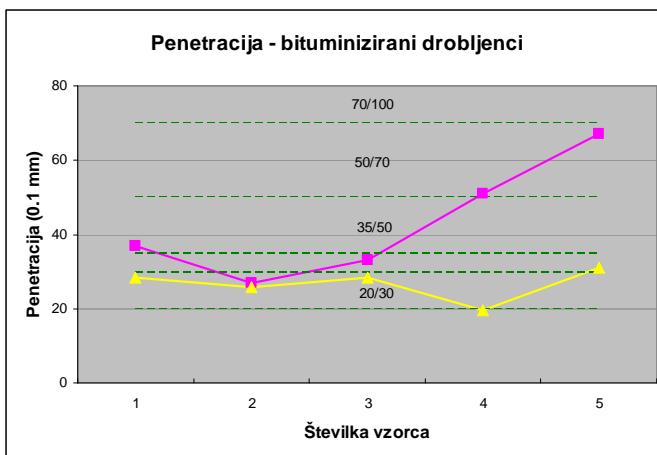
7.3.2.1 Lastnosti bitumna

Na odvzetih vzorcih bituminiziranih drobljencev so bile za vgrajeno in sedanje stanje preiskane naslednje lastnosti bitumna:

- penetracija (*grafikon 15*)
- zmečkščice po PK (*grafikon 16*)
- pretrgališče po Frassu (*grafikon 17*) in
- duktilnost.

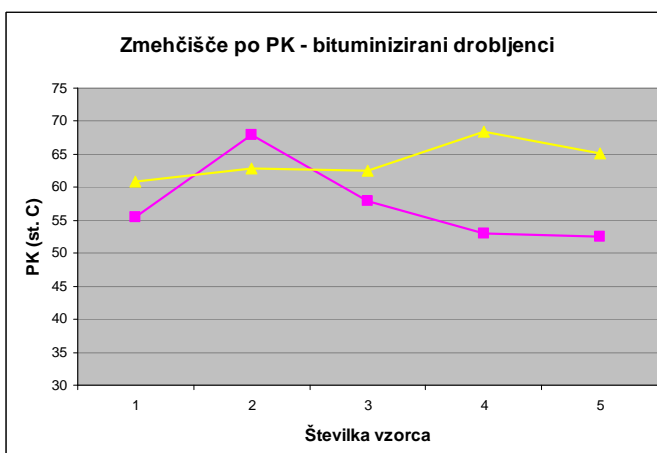
Legenda:

- vgrajeno (novo) stanje
- sedanje stanje



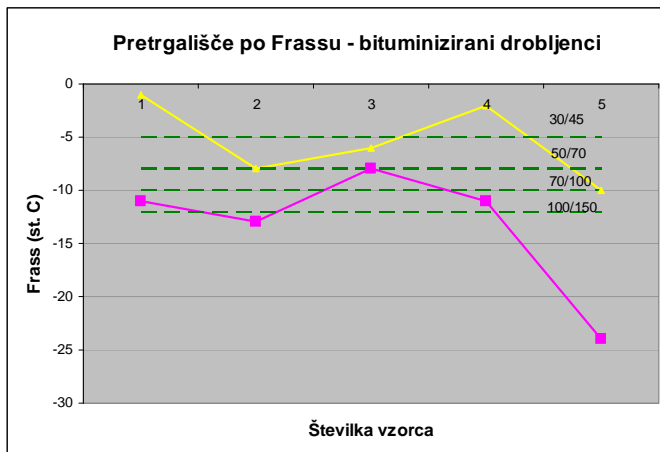
Grafikon 15: Vrednosti penetracije bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih

Graph 15: Penetration values of base asphalt concretes for individual samples



Grafikon 16: Vrednosti zmečkščice bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih

Graph 16: Softening point values of base asphalt concretes for individual samples

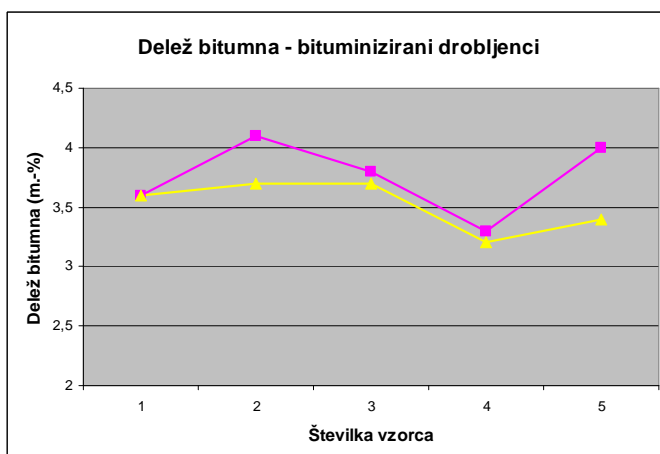


Legenda:

- vgrajeno (novo) stanje
- sedanje stanje

Grafikon 17: Vrednosti pretrgališča bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih

Graph 17: Fraas breaking points of base asphalt concretes for individual samples



Grafikon 18: Deleži bitumna v bituminiziranih drobljenci na posameznih vzorcih

Graph 18: Bitumen contents in base asphalt concretes for individual samples

Na osnovi analize rezultatov bitumnov na zmesih bituminiziranih drobljencev je mogoče zaključiti naslednje:

Penetracija: Na testnih odsekih, kjer so bil preiskovani bituminizirani drobljenci, so bili v asfaltnih zmesih BD uporabljeni različni tipi bitumnov 20/30 (BIT 25), 35/50 (BIT 45) in 50/70 (BIT 60). V primeru vzorcev 1, 2 in 3 (manjša vsebnost votlin v nadgrajeni plasti BB) so bitumni v BD otrdeli manj kot pri BB in sicer samo za eno stopnjo. V primeru vzorcev 4 in 5 je bila ta otrditev za 3 stopnje.

Zmehčišče: Večje vrednosti zmehčišča pomenijo manjšo penetracijo in s tem večjo otrditev bitumna, kar je razvidno iz *grafikonov 15 in 16*. Pri vzorcu 2 je očitna napaka pri zapisu vrednosti zmehčišča oziroma pri meritvi. Pri vzorcih 4 in 5 je očiten velik vpliv na zmehčišče bitumna pri vgrajevanju BD.

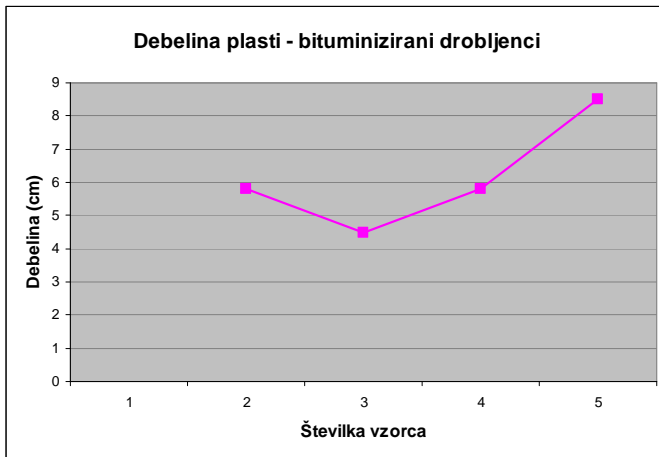
Pretrgališče po Frassu: Vrednosti pretrgališča so na vseh testnih odsekih majhne. To kaže na manjšo odpornost pri nizkih temperaturah. Izstopa vrednost na vzorcu 5 (Medlog - Celje, testni odsek 9), ki ponovno lahko kaže na to, da je bil bitumnu dodan dodatek.

7.3.2.2 Lastnosti asfaltne zmesi

Podatke o vrednostih osnovnih lastnosti bituminiziranih drobljencev, kot sta

- vsebnost votlin in
- zapolnjenost votlin z bitumnom,

smo imeli na voljo samo za stanje ob vgradnji.

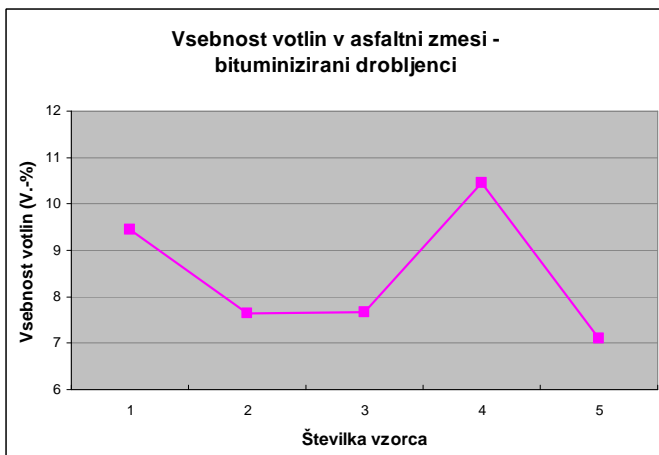


Legenda:

— vgrajeno (novo) stanje

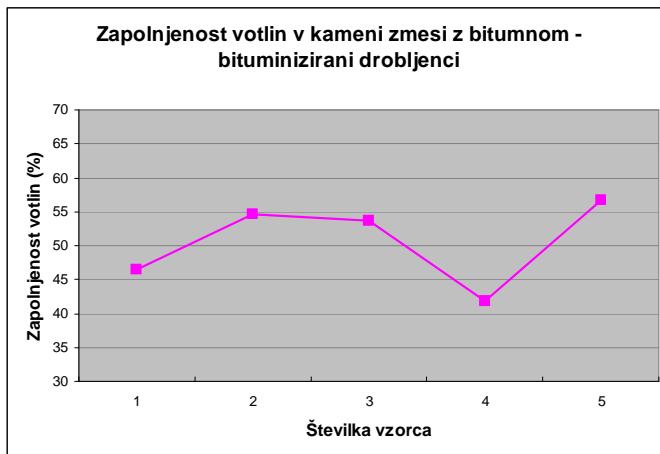
Grafikon 19: Debeline vgrajenih plasti bituminiziranih drobljencev

Graph 19: Layer thicknesses of base asphalt concretes



Grafikon 20: Vsebnosti votlin v zmesih bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih

Graph 20: Voids contents in base asphalt concretes for individual samples



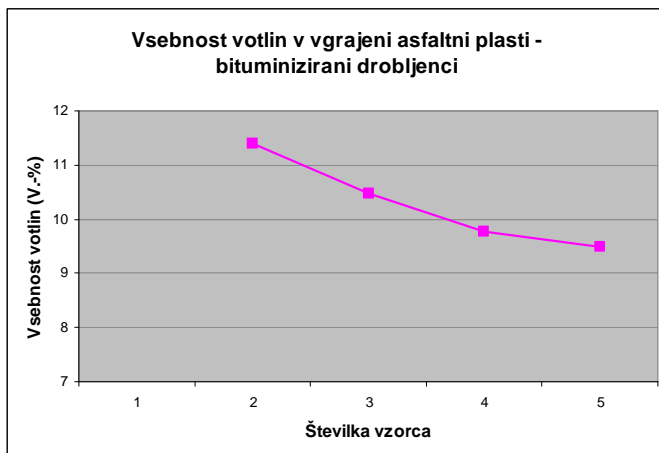
Legenda:

— vgrajeno (novo) stanje

Grafikon 21: Zapolnjenosi votlin v kamni zmesi z bitumnom v bituminiziranih drobljencih na posameznih vzorcih

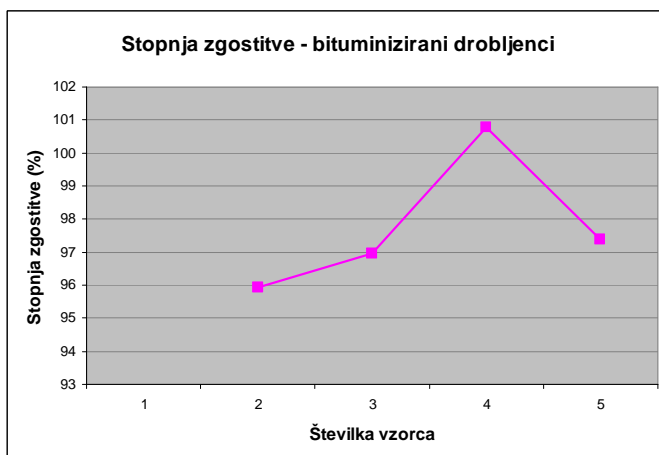
Graph 21: Voids filled with bitumen in mineral aggregate in base asphalt concretes for individual samples

Tako kot pri bitumenskih betonih je iz *grafikonov 20 in 21* razvidno logično razmerje, da je v primeru večje vsebnosti votlin v asfaltni zmesi zapolnjenost votlin manjša. Obe vrednosti sta v mejah dovoljenih za vgrajeno asfaltno zmes.



Grafikon 22: Vsebnosti votlin v vgrajenih asfaltnih plasteh bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih

Graph 22: Voids contents in base asphalt concrete layers for individual samples



Grafikon 23: Stopnje zgostitve v zmesi bituminiziranih drobljencev na posameznih vzorcih

Graph 23: Rates of compaction of base asphalt concretes for individual samples

8 ZAKLJUČKI

8.1 Izkušnje iz praktičnih primerov

8.1.1 Splošno

Na izbranih testnih odsekih so bile ob vgradnji določene prometne obremenitve (lahka do težka) za načrtovano 20 letno dobo trajanja, za kar so bile tudi projektirane asfaltne zmesi. Po preveritvi prometnih obremenitev (PO) danes je ugotovljeno, da so se na posameznih odsekih prometne obremenitve nekoliko povečale in sicer na odsekih Tepanje - Slovenske Konjice (iz srednje v težko PO), Zgornji Dolič - Stranice (iz lahke v srednjo PO), Celje - Šentjur (iz srednje v težko PO) in Medlog - Celje (iz srednje v težko PO).

Iz izmerjenih vrednosti deformacijskih modulov E_3 , na osnovi katerih je določena vrednost nosilnosti CBR na temeljnih tleh, lahko ugotovimo, da so na vseh obravnavanih odsekih nosilnosti temeljnih tal zelo dobre. Vrednosti indeksa CBR se v povprečju gibljejo od 10 do 15 %, razen na testnem odseku 6 (Zgornji Dolič - Stranice), kjer znaša $CBR = 6$ %. Iz tega lahko sklepamo, da je bila na teh odsekih vgrajena posteljica oziroma je podlaga v osnovi iz kamnitih (dobro nosilnih) materialov.

Klimatski in hidrološki pogoji so bili na vseh odsekih ocenjeni kot ugodni. Prav tako so bili vsi obravnavani odseki grajeni pretežno v nasipu.

Povečanje prometnih obremenitev ni pomembneje vplivalo na zmanjšanje nosilnosti podlage in posledično tudi voziščne konstrukcije. Vse izmerjene vrednosti podajnosti voziščne konstrukcije so danes pod mejno vrednostjo za dejanske prometne obremenitve oziroma v zelo dobrem stanju nosilnosti ($P\check{Z}D > 20$ let).

Čeprav so ugotovljene debeline vgrajenih asfaltnih plasti kar v nekaj primerih manjše od projektiranih oziroma tehnološko pogojenih po veljavni tehnični regulativi (*glej grafikona 8 in 9*), so dejanske in povečane prometne obremenitve prenesle brez značilnih poškodb za utrujenost. Razlog za nakazovanje posameznih in mrežastih razpok na lokalnih mestih gre iskati v kvaliteti osnovnih materialov predvsem bitumnov (velike otrdelosti - penetracije).

Na osnovi rezultatov meritev in ocen stanja obravnavanih odsekov cest ter preskusov vgrajenih materialov je mogoče zaključiti,

- da je v vgrajenih bituminiziranih zmesih stopnja zapolnjenosti votlin v zmesih kamnitih zrn z bitumenskim vezivom v pretežnih primerih na zgornji meji, vendar vozna površina ni preoblikovana; razlog za to je treba iskati tudi v majhnih prometnih obremenitvah in uporabljenem tipu trdega bitumna,

- da je debelejša plast bituminizirane zmesi omogočila večjo zgostitev, ki je imela za posledico manjšo spremembo lastnosti uporabljenega bitumenskega veziva,
- da tudi prekomerna vrednost tečenja, ugotovljena pri preskusu po Marshallu, absolutno ne pogojuje večje deformabilnosti bituminizirane zmesi pod prometno obremenitvijo,
- da sestava zmesi kamnitih zrn v bituminizirani zmesi, vgrajeni v obrabno plast, vpliva na torno sposobnost vozne površine, vendar pri izvršenem obsegu preiskav ni significantnih razlik.

8.1.2 Preiskave bitumnov in asfaltnih zmesi

Rezultati preiskanih vzorcev bitumenskih betonov in bituminiziranih drobljencev nakazujejo zmanjšanje penetracije vsebovanega bitumenskega veziva z naraščajočo vsebnostjo votlin v bituminizirani zmesi oziroma s padajočo zapolnjenostjo votlin. Nekoliko bolj izrazito je to pri nosilnih plasteh bituminiziranih drobljencev.

Kljub podobni sestavi asfaltnih zmesi na posameznih testnih poljih so spremembe vgrajenih materialov zelo različne. Med njimi ni značilnih razlik za vpliv na stanje vozne površine, ki je kljub spremembam lastnosti bitumenskih veziv in značilnosti vgrajenih asfaltnih zmesi razmeroma dobro.

Kljub razmeroma veliki zapolnjenosti votlin v zmesi kamnitih zrn z bitumenskim vezivom in srednjo do težko prometno obremenitvijo niso nastala vidnejša preoblikovanja vozne površine.

8.1.3 Značilnosti voznih površin

Meritve ocene stanja vozne površine po metodologiji MSI kažejo na zelo dobro, dobro oziroma mejno stanje vozišča. Vrednosti indeksa MSI znašajo od 0,0 (zelo dobro stanje) do 2,1 (mejno stanje). Na lokalnih mestih se pojavljajo ozke do srednje široke posamezne razpoke, ki kažejo na lokalno zmanjšano nosilnost oziroma površinske poškodbe obrabne plasti.

Podajnost voziščne konstrukcije je danes na vseh obravnavanih odsekih zelo dobra.

Tudi prečna in vzdolžna ravnost je po oceni na vseh testnih odsekih zelo dobra. Meritve torne sposobnosti, ki so bile izvedene z napravo Scrimtex, kažejo v nekaj primerih na nezadovoljivo stanje vozni površin, v majhni meri odvisno od prometnih obremenitev.

Današnje stanje vozni površin v celotnem pogledu dokazuje, da je bila izbira sestave voziščnih konstrukcij pri postopku dimenzioniranja primerna za takrat načrtovane prometne obremenitve. Varnost, ki je bila upoštevana pri dimenzioniranju, je omogočila, da so bile zgrajene voziščne konstrukcije sposobne prevzeti nekoliko večje prometne obremenitve od načrtovanih brez znatnih poškodb vozne površine in voziščne konstrukcije.

Po preveritvi količnikov poškodovanosti k_s v odvisnosti od stanja vozišča in prometnih obremenitev (glej preglednico na strani 73), ki jih upoštevamo pri dimenzioniranju ojačitev voziščnih konstrukcij, znašajo le ti 1,0 (dobro stanje) oziroma 0,9 (mejno stanje), kar dokazujejo tudi izvedene preiskave kakovosti asfaltnih zmesi, ki so praktično v vseh primerih v pogojenih mejah za uporabnost vozišč.

8.2 Usmeritve za nadaljnje delo

V zaključku podane ugotovitve lahko privzamemo za obravnavana vozišča oziroma za ceste, pri katerih se v projektu (oziroma ob vgradnji) določene prometne in klimatske obremenitve niso bistveno razlikovale od načrtovanih. To velja verjetno za veliko večino državnih cest (ne avtocest!), pri čemer bi bilo potrebno preveriti dejanske prometne obremenitve po letih.

Analiza je bila izvedena na osnovi minimalnega števila (14) vzorcev, za katere smo pridobili podatke o lastnostih asfaltnih zmesi v vgrajenem stanju. Vzorci so bili odvzeti iz obstoječih vozišč na državnem cestnem omrežju z različno prometno obremenitvijo.

Za natančno opredelitev vplivov prometnih in klimatskih obremenitev na utrujanje v voziščno konstrukcijo vgrajenih materialov predlagamo izvedbo dodatnih preskusnih vozišč (testnih polj), kjer bo mogoče podrobno preveriti vse spremembe v vgrajenih materialih in vplive, ki so jih povzročili.

Pri nadaljnji analizi bi bilo predvsem potrebno podrobno poznati vrsto uporabljenih zmesi kamnitih zrn in delež karbonatnih oziroma silikatnih kamnin v asfaltnih zmesih ter analizirati vpliv značilnosti uporabljenih kamnin na lastnosti bitumenskih veziv.

VIRI

Bohinc, D. 2007. Poročilo št. P-760 o preiskavah ekstrahiranega bitumna. Ljubljana, ZAG, Oddelek za geotehniko in prometnice: 2 f.

Britovšek, Z. 2001. Sila zlepljenja med asfaltnimi plastmi - načini določanja in merila. 6. kolokvij o bitumnih. Zbornik referatov. Gozd Martuljek, Združenje asfalterjev Slovenije: f. 2 - 13.

Britovšek, Z. 2007. Obdelava vrtin. Poročilo. Celje, CMCelje: 10 f.

Cezar, J., Henigman, S. 2004. Smernice za načrtovanje in vzdrževanje vozišč na državnih cestah. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 42 str.

Christory, J. – P. (ur.). 2003. Innovative Pavement Design. World Road Association, PIARC Technical Committee on Road Pavements (C7/8): 143 str.

Jamnik, J., Žmavc, J., Cezar, J. 2005. Katalog ukrepov za novogradnje in vzdrževanje voziščnih konstrukcij in algoritem za izbiro postopka popravila. Končno poročilo. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring: 65 f.

Kolar, M. 1989. Cesta R-367 Zg. Dolič - Vitanje, odsek Srednji Dolič od km 3.0+80 do km 5.4+60, št. odseka 1350, POD, št. projekta: 1110, situacija od prof. 0 do prof. 53. Ljubljana, Skupnost za ceste Slovenije: 1 f.

Kovačič, F. 1989. Zvezna cesta Slovenske Konjice, odsek 1231, št. projekta: 571/89, situacija. Slovenske Konjice, Sklad za urejanje stavbnih zemljišč občine Slovenske Konjice: 1 f.

Litzka, J., Jamnik, J., Leben, B., Willenpart, B., Gruber, J., Weninger - Vycudil, A., Maurer, P., Breyer, G., Reininger, H., Žmavc, J., Henigman, S. 2003. Zbornik referatov. Lastnosti vozniških površin. Maribor, DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Österreichische Forschungsgemeinschaft Strasse und Verkehr: 125 str.

Marinko, B. 2005. Ocena stanja vozišč na hitrih, glavnih in regionalnih cestah v Republiki Sloveniji po ocenjevanju v letu 2005. Poročilo. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring: 30 f.

Maurer, P. 2002. Strassenzustandserfassung mit dem RoadSTAR, Messsystem und Genauigkeit. Research Report. Wien, Arsenal Research: 88 str.

Zajec, T., Cezar, J. 2003. Analiza izvedenih dimenzioniranj in predlaganih sanacijskih ukrepov v DDC svetovanje inženiring v obdobju od 1998 do vključno 2002. Poročilo. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring: 22 f.

Žmavc, J. (ur.). 2006. Asfalt. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 285 str.

Žmavc, J. 1997. Gradnja cest, voziščne konstrukcije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki: 360 str.

Žorga, M. 1990. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/437. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1990. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/354. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1990. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/355. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1990. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/405. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1989. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/296. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1989. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/298. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1990. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 196/86-11/173. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1989. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/137. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1989. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/160. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1989. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/259. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1989. Poročilo o preiskavi vzorca asfalta DN št. 783/05-208/273. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 6 f.

Žorga, M. 1987. Poročilo št. 196/86-11/122 o preiskavi vzorca asfaltne zmesi. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 5 f.

Žorga, M. 1988. Poročilo št. 196/86-11/120 o preiskavi vzorca asfaltne zmesi. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 5 f.

Žorga, M. 1988. Poročilo št. 196/86-11/121 o preiskavi vzorca asfaltne zmesi. Ljubljana, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij: 5 f.

Standardi:

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2003. TSC 08.311/1 Redno vzdrževanje cest, Vzdrževanje prometnih površin, Asfaltna vozišča, Predlog: 45 f.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2001. TSC 06.511 Prometne obremenitve, Določitev in razvrstitev: 17 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2003. TSC 06.512 Projektiranje, Klimatski in hidrološki pogoji: 13 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2003. TSC 06.520 Projektiranje, Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij: 12 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2003. TSC 06.541 Projektiranje, Dimenzioniranje ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij: 13 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2002. TSC 06.630 Lastnosti vozni površin, Podajnost: 16 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2002. TSC 06.620 Lastnosti vozni površin, Torna sposobnost: 13 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2003. TSC 06.610 Lastnosti vozni površin, Ravnost: 12 str.

Direkcija Republike Slovenije za ceste. 2003. TSC 06.640 Lastnosti vozni površin, Hrupnost: 12 str.

PRILOGA

Tabela: Obdelava rezultatov laboratorijskih preiskav iz asfaltnih vrtin
(Povzeto po: Britovšek, 2007, f. 1)