

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*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Simona Štraus Kavšek

Gospodarjenje z voznimi površinami

Diplomska naloga št.: 90

Mentor:
prof. dr. Janez Žmavc

Somentor:
Julijana Jamnik

Ljubljana, 11. 12. 2007

POPRAVKI, ERRATA

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

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Simona Štraus Kavšek** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
» **Gospodarjenje z voznimi površinami** ».

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

Ljubljana, 19.11.2007

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK: 625. 76(043.2)
Avtor: Simona Štraus Kavšek
Mentor: prof. dr. Janez Žmavc
Somentor: Julijana Jamnik, univ. dipl. inž. gr.
Naslov: Gospodarjenje z voznimi površinami
Obseg in oprema: 150 str., 38pregl., 56 sl., 46 en., 1 pril.
Ključne besede: analizirano obdobje, prometna obremenitev, lastnosti voznih površin, vzdrževanje, katalog ukrepov, optimizacija

Izvleček:

Vozišče je linijska struktura, namenjena za potovanje z motornimi vozili. Površina vozišča ali vozna površina je ves čas izpostavljena različnim obremenitvam (prometna, klimatska ipd.), kar povzroča njihovo preoblikovanje in poslabšanje (spreminjanje stanja). Nastanek poškodb vpliva na kvaliteto vožnje in stroške uporabnikov. Zato se uveljavlja "gospodarjenje z voznimi površinami" ali "PMS". To je aktivnost, kjer upravljavec z optimalnim finančnim vlaganjem smotrno vzdržuje vozišče v primernem stanju. Primerno stanje pomeni takšno stanje, ki omogoča uporabnikom vozišča varno, udobno in gospodarno vožnjo. V ta namen se je podjetje DARS, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji kot upravljavec avtocest odločilo za nakup programskega orodja za gospodarjenje z vozišči. Kot najprimernejše orodje za gospodarjenje z vozišči na področju slovenskih avtocest je bila s pomočjo podjetja DDC svetovanje inženiring d.o.o. izbrana programska oprema dTIMS_CT (Deighton Total Infrastructure Management System, Concurrent Transformation), ki tudi razvija ekspertni sistem za gospodarjenje z vozišči, imenovan PMS-DARS. Omenjeni sistem na podlagi podatkov o lastnosti stanja vozne površine in vstavljenih modelov propadanja za analizirano obdobje (21 let) generira več strategij vzdrževanja. Posamezna strategija predstavlja določene stroške upravljavcu in koristi uporabnikom. Z optimizacijo se za določene pogoje proračuna za vzdrževanje določi tista strategija vzdrževanja, ki zagotavlja največje skupne koristi družbe kot celote. Za analizirano obdobje se izdelata plan sanacije avtocestnega omrežja v Sloveniji. Trenutno se sistem uporablja le na avtocestnem omrežju, vendar je njegov razvoj usmerjen tudi na druga cestna omrežja v Sloveniji.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK: 625. 76(043.2)
Author: Simona Štraus Kavšek
Supervisor: prof. PhD Janez Žmavc
Co Supervisor: Julijana Jamnik, B. Sc. Civ. Eng.
Title: Pavement Management System
Notes: 150 p., 38 tab., 56 fig., 46 eq., 1 an.
Key words : period of analysis, traffic load, pavement characteristic, maintenance, treatment catalogue, optimisation

Abstract:

All kinds of motorways enable motor vehicles to travel. Pavement structures and pavement surfaces are exposed to various loadings (traffic, climate etc.) which cause deformations and deterioration (changes of condition). Pavement deteriorations effect the driving quality and user costs. Therefore Pavement Management Systems (PMS) are applied. PMS is an activity where the administrator with optimal financial investments maintains an appropriate condition of pavements. The appropriate condition is a condition of pavement, which enables the users safe, comfortable and economical driving. For this purpose the Motorway company in the Republic of Slovenia (DARS d.d.) decided to buy a pavement management system software dTIMS_CT (Deighton Total Infrastructure Management System, Concurrent Transformation). It was chosen by an independent company DDC Consulting & Engineering Ltd, who is developing the expert system named PMS-DARS. On the basis of pavement characteristic data and pavement deterioration models PMS-DARS generates several maintenance strategies for the analysis period (15 years). Each strategy represents particular costs to the administrator and benefits for users. With the optimisation the maintenance strategy is chosen that assures the highest common benefits to the society as a whole. The maintenance plan is elaborated for analysis period for Slovene motorway network.

At this point the system is applied only on motorways bur the development strives to comprise the rest road networks in Slovenia.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Janezu Žmavcu in somentorici Julijani Jamnik, univ.dipl.inž.grad. Hvala tudi vsem na fakulteti, ki so mi odobrili prijavo teme diplomske naloge in podjetju DDC svetovanje inženiring d.o.o., ki mi je omogočil prijetno delovno vzdušje.

Zahvalila bi se tudi svojim staršema, ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč in mi pomagala vsak dan narediti lepši.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	SPLOŠNE ZNAČILNOSTI VGRAJENEGA MATERIALA	4
3	INVENTURNI PODATKI.....	10
3.1	Opis inventurnih podatkov	11
3.2	Podatki o prometu.....	11
3.2.1	Gostota prometa (PLDP)	12
3.2.2	Ekvivalentna prometna obremenitev	13
3.3	Praktični primer	19
4	POŠKODBE NA VOZNIH POVRŠINAH.....	27
4.1	Vzroki nastanka	27
4.1.1	Prometna obremenitev	27
4.1.2	Klimatske obremenitve.....	28
4.1.3	Pomanjkljiva izvedba	28
4.1.4	Pomanjkljivo vzdrževanje	29
4.1.5	Neprimerna uporaba	29
4.2	Vrste poškodb	29
4.2.1	Deformacije ali preoblikovanja	30
4.2.2	Razpoke	31
4.2.3	Razgraditve.....	32
4.2.4	Poškodbe površin.....	34
4.3	Popravila poškodb	35
4.3.1	Predhodni postopki.....	35
4.3.2	Postopki popravil.....	37
4.3.2.1	Preplastitve in ojačitve.....	37
4.3.2.2	Postopek "sendvič"	38
4.3.2.3	Rekonstrukcija	38
4.3.2.4	Obnova	38
4.3.2.5	Recikliranje.....	39
4.3.2.6	Postopki odstranjevanja materiala obstoječih voziščnih konstrukcij	39
4.3.2.7	Zapolnitev	40
4.3.2.8	Ohrabljevanje površin ali REGRIP	41
5	LASTNOSTI VOZNIH POVRŠIN	42
5.1	Ravnost	42
5.1.1	Značilnosti	42
5.1.2	Prečna ravnost	44
5.1.2.1	Merilne naprave.....	44
5.1.2.1.1	Merilna letev s klinom.....	44
5.1.2.1.2	Profilograf.....	46
5.1.2.2	Kriteriji za oceno prečnih ravnin	47
5.1.2.3	Praktični primer	48
5.1.3	Vzdolžna ravnost	49

5.1.3.1	Merilne naprave	49
5.1.3.1.1	Merilna letev s klinom in profilograf	49
5.1.3.1.2	Profilometer	50
5.1.3.2	Kriteriji za oceno	50
5.1.3.3	Praktični primer	51
5.2	Torna sposobnost	52
5.2.1	Značilnosti	52
5.2.2	Merilne naprave	56
5.2.3	Kriteriji za ocenjevanje stanja voznih površin	61
5.2.4	Praktični primer	63
5.3	Nosilnost	64
5.3.1	Značilnosti	64
5.3.2	Merilne naprave	66
5.3.3	Kriteriji za ocenjevanja stanja voziščne konstrukcije	71
5.4	Hrupnost	73
5.4.1	Značilnosti	73
5.4.2	Merilne naprave	74
5.4.2.1	Meritve ravni hrupa cestnega prometa	75
5.4.2.2	Meritve ravni hrupa kotaljenja	76
5.4.3	Kriteriji za oceno stanja vozišča	79
5.5	Svetlost	82
5.5.1	Značilnost in ocena	82
5.6	Vizualna ocena stanja voznih površin	84
5.6.1	Značilnosti	84
5.6.2	Merilne naprave	85
5.6.3	Kriteriji za oceno stanja	85
5.6.4	Praktični primer	87
5.7	Odvodnjavanje voznih površin	89
5.7.1	Splošno	89
5.7.2	Zaščita pred onesnaženjem	91
5.7.3	Dimenzioniranje odvodov	92
5.7.3.1	Osnove za dimenzioniranje	92
5.7.3.2	Odvod vode iz voznih površin	94
5.7.3.3	Naprave za odvodnjavanje	95
5.7.4	Navodila za redno upravljanje in vzdrževanje odvodnjavanja	99
6	MODELI PROPADANJA, BREZDIMENZIJSKI INDEKSI, ZDRUŽEVANJE INDEKSOV	101
6.1	Modeli propadanja	101
6.1.1	Model spreminjanja MSI	102
6.1.2	Model spreminjanja globine kolesnic	103
6.1.3	Model spreminjanja vzdolžne neravnosti	103
6.1.4	Model spreminjanja drsnega trenja	104
6.2	Brezdimenzijski indeksi	105
6.3	Združevanje indeksov	106
6.4	Praktični primer	108

7	VZDRŽEVANJE VOZIŠČ, DIMENZIONIRNJE, KATALOG UKREPOV ...	111
7.1	Vzdrževanje vozišč.....	111
7.2	Dimenzioniranje investicijskih ukrepov.....	113
7.2.1	Rekonstrukcija.....	113
7.2.2	Dimenzioniranje ojačitev.....	116
7.3	Katalog ukrepov.....	120
8	ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLUSA	123
8.1	Generacija ali nabor različnih strategij.....	123
8.2	Optimizacija.....	125
9	REZULTATI NA MREŽNEM IN PROJEKTNEM NIVOJU	128
10	ZAKLJUČEK	139
	VIRI	141
	PRILOGE.....	144

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.1: Dolžine in imena celotnih odsekov severne ljubljanske obvoznice	19
Preglednica 3.2: Dolžine in imena posameznih homogenih odsekov severne ljubljanske obvoznice.....	20
Preglednica 3.3: Širine posameznih prometnih pasov na določenem homogenem odseku in tipi vzdrževanih del na njih	21
Preglednica 3.4: Uporabljeni materiali in debelina posamezne plasti voziščne konstrukcije	23
Preglednica 3.5: Podatki o prometni gostoti in prometnih obremenitvah	25
Preglednica 3.6: Gostota prometa in prometna obremenitev v letu 2007	26
Preglednica 5.1: Globina kolesnic voznega pasu na severni ljubljanski obvoznici	48
Preglednica 5.2: Vzdolžna ravnost	52
Preglednica 5.3: Koeficient drsnega trenja.....	64
Preglednica 5.4: Vizualna ocena stanja vozne površine MSI.....	88
Preglednica 6.1: Indeksi stanja vozne površine na severni ljubljanski obvoznici.....	108

KAZALO SLIK

Slika 5.1: Zaledne in lastne vode.....	90
Slika 8.1: Mejna učinkovitost homogenega odseka	127

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

PMS	Pavement Management System, tj. Gospodarjenje z voznimi površinami
dTIMS_CT	Programska oprema za gospodarjenje z voznimi površinami (Deighton Total Infrastructure Management System, Concurrent Transformation),
PMS-DARS	ekspertni sistem za gospodarjenje z voznimi površinami na slovenskih avtocestah, ki ga podjetje DDC svetovanje inženiring razvija za DARS, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji d.d.
PLDP	Povprečni Letni Dnevni Promet
NOO	Normirana Osna Obremenitev karakterističnih vozil
AASHO Road Test	Test za ovrednotenje različnih osnih obremenitev voziščne konstrukcije s faktorjem ekvivalentnosti (American Association of State Highway Officials Road Test)
IRI	Mednarodna mera za določanje vzdolžne ravnosti (International Roughness Indeks)
SRT	Oprema za preskušanje torne sposobnosti (Skid Resistance Tester)
SCRIMTEX	Merilno vozilo oziroma prikolica, ki se uporablja za merjenje torne sposobnosti (Side-way force Coefficient Routine Investigation Machine – Texture)
SN	Vrednost torne sposobnosti, merjena z napravo SCRIMTEX na homogenih merilnih odsekih
TNI	indeks prometnega hrupa
MSI	Merilo poškodovanosti voznih površin (Modificirani švicarski indeks)
WFD	Water Frame Directive; vodna direktiva, ki daje smernice za zaščito voda, čiščenju voda, in druge smernice povezane z vodo. V diplomski nalogi so predvsem pomembne smernice za odvajanje voda z voznih površin (odvodnjavanje) in zaščita vodnih virov.
IPPC	preprečevanja in nadzora onesnaženja (Integrated Pollution prevention Control)
GIS	Geografsko Informacijski Sistem
I_IRI	Brezdimenzijski indeks vzdolžne ravnosti, ki se upošteva pri skupni oceni

	stanja lastnosti voznih površin
I_Rut	Brezdimenzijski indeks prečne ravnosti (kolesnice), ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_SR	Brezdimenzijski indeks koeficienta drsnega trenja, ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_MSI	Brezdimenzijski indeks poškodovanosti vozne površine, ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_Age_WC	Brezdimenzijski indeks starosti obrabne plasti vozišča, ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_Age_BBC	Brezdimenzijski indeks starosti ostalih z bitumnom vezanih plasti, ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_CSI	Brezdimenzijski indeks udobnosti in varnosti vožnje, ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_St	Brezdimenzijski strukturni indeks, ki se upošteva pri skupni oceni stanja lastnosti voznih površin
I_Total	Skupni brezdimenzijski indeks za določanje stanja voznih površin

1 UVOD

Gospodarjenje z voznimi površinami oziroma vozišči (PMS – Pavement Management System) je vodenje aktivnosti, ki prispevajo k ohranjanju vozišč v stanju, sprejemljivem za uporabnike ob optimalnih stroških vzdrževanja. Potreba po njem se je pojavila, ko se je povečala gradnja cest in s tem potreba po racionalizaciji razpoložljivih finančnih sredstev.

Vsak upravljavec mora gospodarno oziroma smotrno ravnati s sredstvi za obnovo oziroma vzdrževanje vozišča v primeru presežka ali pa primanjkljaja sredstev, pri tem pa mora vključevati zahtevo po izboljševanju kakovosti cestne mreže, ki zagotavlja zmanjšanje stroškov uporabnika, kar je možno doseči le s povečanjem stroškov upravljavca. Iz tega naslova se mora upravljavec odločiti, kdaj in kako izvajati sanacijske ukrepe, da so stroški upravljavca in uporabnika (tj. skupni stroški) minimalni. Poiskati se mora optimum, kar prikazuje »Diagram stanja cestnega omrežja v odvisnosti od višine stroškov upravjalca in uporabnika«. Iz tega sledi, da je smiselno izvajati ukrepe preden preide stanje vozišča v zelo slabo stanje. Stroški upravjalca in uporabnika se primerjajo z Analizo stroškov in koristi, tj. Cost-Benefit analysis.

Iz diagrama na naslednji strani je razvidno, da se stroški posameznih skupin spreminjajo. S slabšanjem stanja cestnega omrežja se večajo stroški uporabnika in manjšajo stroški upravljavca. Optimum doseže krivulja skupnih stroškov takrat, ko so posamezni stroški uporabnikov in upravjalca skupaj najmanjši. Če se pomaknemo levo ali desno od optimuma, so skupni stroški vedno večji.

Vzdrževanje vozne površine se začne že z vgrajevanjem nove voziščne konstrukcije iz kvalitetnih materialov, primerne sestave in ustrezne izvedbe. Materiale za vgradnjo je potrebno predhodno ustrezno pripraviti, izbor le teh in izvedba pa je odvisna od pomembnosti ceste in predvidene rabe. Zagotovljene morajo biti naslednje karakteristike: varnost, udobnosti, gospodarna vožnja, poraba potovalnega časa in goriva, hitrost vožnje in nenazadnje trajnost zgrajenih cest, imenovano 'korist' za uporabnika. Korist se manjša z večanjem stroškov uporabnikov, kot posledica majhnega vlaganja finančnih sredstev v omrežje.

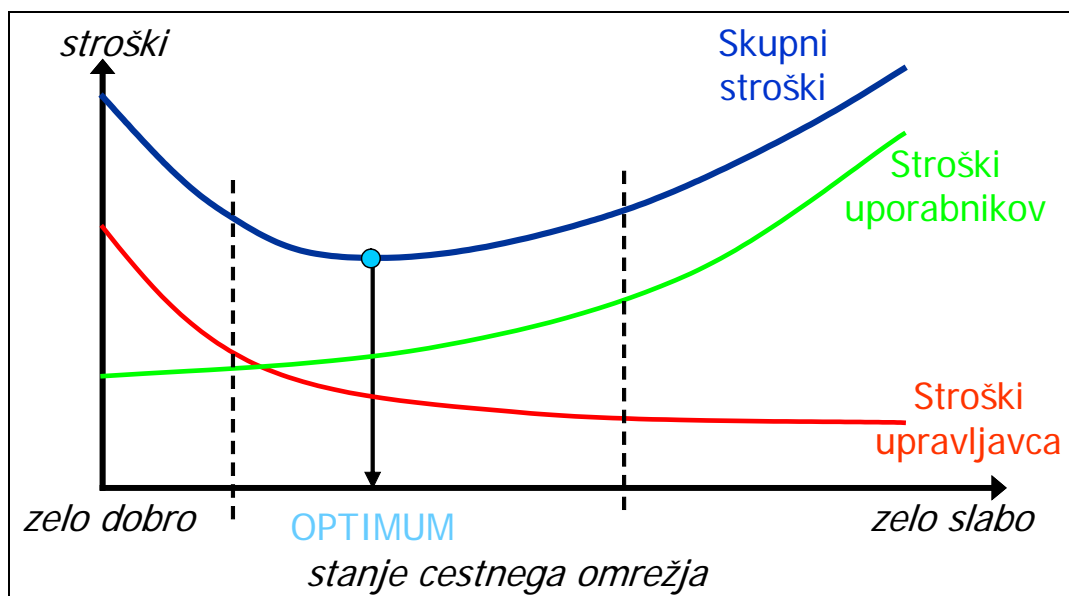


Diagram stanja cestnega omrežja v odvisnosti od stroškov upravljalca in uporabnikov (povzeto po: Jamnik, J., 2005: str. 4)

Cilj gospodarjenja z voznimi površinami je določiti najugodnejši plan vzdrževalnih ukrepov. V ta namen se je razvila paleta računalniških programov (software), ki omogočajo hitrejše in natančnejše izračune, hkrati pa zahteva poznavanje ustreznih vhodnih podatkov in izobraževanje uporabnikov programa.

DARS, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji d.d. uporablja za gospodarjenje z vozišči programsko opremo dTIMS_CT (Deighton Total Infrastructure Management System, Concurrent Transformation), na podlagi katerega podjetje DDC svetovanje inženiring d.o.o. razvija ekspertni sistem za gospodarjenje z vozišči PMS-DARS. Zaenkrat se ta aplikacija uporablja le na avtocestnem omrežju in deluje po principu vsakoletnega poslabšanja lastnosti vozne površine skladno po napovedih ali modelih propadanja, kar sproži vzdrževalne ukrepe za posamezne homogene odseke.

Rezultati omogočajo oceno potrebnih sredstev za vzdrževanje cest v želenem stanju, pogled v prihodnost cestnega omrežja v odvisnosti od vloženih sredstev, vpogled v posledice premajhnega vlaganja v vzdrževanje, pripravo planov vzdrževanja za analizirano obdobje z upoštevanjem omejitve proračuna ipd.

Diplomska naloga vsebuje nabor potrebnih podatkov za gospodarjenje z vozišči (inventurni podatki – poglavje 3 in podatki o stanju vozišča – poglavje 5), modele propadanja oziroma staranja (tj. slabšanje posameznih lastnosti voznih površin zaradi staranja, prometnih in klimatskih obremenitev, slabega vgrajenega materiala ali slabe izvedbe ipd.) – poglavje 6, določitev strategij sanacijskih ukrepov oziroma nabor obnovitvenih ukrepov (katalog ukrepov – poglavje 7) in analize življenjskega ciklusa, ki vključuje nabor strategij vzdrževanja in njihova optimizacija – poglavje 8. Na koncu vsakega poglavja je kot praktični primer izbran del slovenskega avtocestnega omrežja, na katerem se postopek gospodarjenja z vozišči izvaja s pomočjo omenjene programske opreme.

Izbran primer zavzema odsek severne ljubljanske obvoznice (priloga na koncu diplomske naloge), kjer vsaka preglednica prikazuje potrebne podatke za gospodarjenje z vozišči. Rezultati so zaradi večje preglednosti obarvani, in sicer zelo dobri odseki so obarvani bleščeče zeleno, dobri s svetlo modro, zadovoljivi z rumeno, slabi z oranžno in zelo slabi z rdečo barvo. Te barve si sledijo do konca diplomske naloge, kjer so nato prikazani še rezultati na mrežnem nivoju (poglavje 9) za celotno avtocestno omrežje Republike Slovenije.

Kot osnova h gospodarjenju z voznimi površinami so v diplomski nalogi najprej v poglavju 2 opisani osnovni cestogradbeni materiali, kjer so povzete njihove značilnosti in uporaba. Prav tako je potrebno prepoznavati možne poškodbe nastale na vozni površini pod določenimi vplivi, ki so opisane v poglavju 4. Poglavje 7 vsebuje osnove rednega in investicijskega vzdrževanja ter postopkov dimenzioniranja v Sloveniji. Navedeno poznavanje omogoča lažje dojetje lastnosti voznih površin in njihovo spreminjanje ter njihovo gospodarno vzdrževanje.

2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI VGRAJENEGA MATERIALA

V cestogradnji obstajata dve vrsti materiala, ki se jih vgrajuje v vezane zgornje nosilne plasti in obrabne plasti pri novogradnjah ali pa pri sanacijah. To so cementno-betonske mešanice in asfaltne zmesi, ki imajo vsaka svoje različice. V Sloveniji se uporablja predvsem slednja vrsta zmesi, saj je na podlagi raziskav učinkov in pogojev na območju Slovenije najustreznejša. Iz tega vzroka diplomska naloga sloni prav na asfaltnih voznih površinah, na katerih se v Sloveniji izvajajo meritve in gospodarjenje z vozišči.

Asfaltno zmes sestavljajo tri komponente, tj. trdna ali inertna snov, tekoča in plinasta komponenta. Prva komponenta predstavlja kamnita zrna, druga vezivo in tretja votline. Kamnita zrna, ki predstavljajo skelet v asfaltni zmesi, morajo biti odporna proti drobljenju, zglajevanju, visokim in nizkim temperaturam, zmrzovanju in tajanju ter ostalim vplivom vremena. Uporabljene zmesi zrn morajo vsebovati različne velikosti zrn od največjega do najmanjšega, če predpis ne zahteva drugače (npr. drenažni cementni beton z enakomernimi zrnji v zmesi). Zmesi zrn same po sebi niso stabilne, zato se je v ta namen uveljavilo stabiliziranje zmesi, ki se izvaja z dodajanjem različnih veziv. Navadno se uporablja hidravlično ali bitumensko vezivo. Bitumenskega veziva mora biti v zmesi zaradi močne odvisnosti od temperature zadosten in ne prevelik delež.

Bitumen je lahko potencialno nevarna snov v asfaltni industriji, posledično pa tudi delo z asfaltnimi zmesmi. V ta namen je potrebno pri delu z njim upoštevati določene omejitve, pravila in ukrepe pri uporabi. Delo je potrebno skrbno nadzirati in ob tem upoštevati varstvo pri delu v proizvodnji, prenosu in vgrajevanju asfaltne zmesi.

Sestava asfaltne zmesi se spreminja glede na namembnost ter predpisane oziroma zahtevane lastnosti. Določi se na osnovi predhodnih laboratorijskih preskusov, in sicer primerno količino bitumenskega veziva glede na izbrano sestavo zmesi zrn, da bo zmes zadosti obstojna in stabilna oziroma nosilna glede na predvideno prometno obremenitev ter da bo vsebovala zadosti votlin in imela primerno torno sposobnost. Ker je vezivo tekoča komponenta, morajo biti uporabljene količine točno določene in ne smejo odstopati.

Optimalni delež bitumna v asfaltni zmesi se lahko določi z različnimi postopki, kateri imajo določene karakteristike in temeljijo na različnih teorijah (Žmavc, J., 1997: str. 113-120), to so teorija votlin, malte, površine, na modelu prostora in modelu optimalnih mehanskih lastnosti. Najbolj se je v Sloveniji uveljavlja *teorija votlin* dopolnjena s postopkom prostorskega načrtovanja asfaltne zmesi oziroma modelom prostora.

Model prostora obravnava tri podsisteme, to so skelet kamnitih zrn, bitumen in votline, ki so obravnavani kot posamezni deleži v skupnem prostoru. Pri obravnavanju zmesi zrn se upošteva sestava zmesi in njena prostornina, pri čemer se določi zrnastost, vsebnost votlin in gostoto. Veživu se z določenimi postopki določi penetracija, zmehčišče, indeks penetracije in gostota. Vsak podsistem mora biti preverjen z ustreznimi preskusi in dokazan z izjavami o skladnosti. Postopek predhodne sestave asfaltne zmesi vsebuje naslednje aktivnosti:

- zbiranje informacij o prometnih in klimatskih obremenitvah
- zbiranje informacij o položaju asfaltne plasti v konstrukciji
- vzorčenje v asfaltni zmesi uporabljenih materialov (zrna, bitumen, polnilo, dodatki)
- določitev vzorčnih materialov po standardiziranih preskusih
- priprava asfaltnih zmesi z različnim deležem bitumna
- določitev prostorske in specifične gostote, vsebnosti votlin in stopnje zapolnjenosti votlin v zmesi zrn z bitumenskim vezivom
- določitev napetostno–deformacijskega stanja.

Poročilo mora vsebovati splošne podatke o pripravi in osnovne podatke o sestavi asfaltne zmesi, rezultate preskusov in predlog za sestavo optimalne sestave asfaltnih zmesi.

Vzorci izbrane zmesi zrn in različnega deleža veziva se zgoščujejo po Marshall-ovem postopku. Vsakemu vzorcu se določi stabilnost, mejo tečenja in togost ter izračuna gostoto in vsebnost votlin. Na podlagi teh rezultatov se izbere optimalni delež veziva, ki zadostuje predpisanim lastnostim asfaltne zmesi za določen namen.

Mehanske lastnosti asfaltne zmesi morajo biti sposobne prevzeti vse obremenitve in preprečiti preoblikovanje, kar je odvisno od viskoznosti in kohezije veziva (tekoča komponenta) ter notranjega trenja zmesi zrn (trdna komponenta). Preoblikovanje je glede na kombinacijo

obremenitve oziroma prevzem notranjih sil lahko zelo različno. Obremenitev je lahko mirujoča, ki jo prevzamejo predvsem kamnita zrna in povzroči trenjsko preoblikovanje. Tekoč promet pa povzroča tudi horizontalne in tangencialne sile, ki jih prevzame predvsem vezivo, pri čemer nastane plastično oziroma viskozno preoblikovanje.

Mehanske lastnosti asfaltnih zmesi so v veliki meri odvisne od vgrajenih materialov (značilnosti in usmerjenost zrn, porazdelitev votlin, ipd), zgoščenosti in temperature, zato je preoblikovanje težko napovedati. V veliko pomoč so različni laboratorijski preskusi določenih vzorcev, ki se izvajajo pod statičnimi obremenitvami in dinamičnimi obremenitvami z izbrano frekvenco. Določa se porušne tlačne, natezne, potisne in natezno-upogibne napetosti z različnimi načini obremenitev, kakovost zmesi pa na osnovi značilnosti preoblikovanja, utrujanja materiala na osnovi števila obremenjevanj in deleža trajnega preoblikovanja. Iz časovnega poteka preoblikovanj oziroma deformacij je možno iz porušne napetosti določiti različne deformacije (Žmavc, J., 1997: str. 143):

➤ raztezek pri lezenju $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$ enačba 2.1

➤ hitrost raztezanja $\varepsilon_{lh} = \frac{d\varepsilon}{dt}$ enačba 2.2

➤ delež povratnega in trajnega preoblikovanja $\varepsilon = \varepsilon_{rev} + \varepsilon_{irr}$ enačba 2.3

➤ modul togosti $S_{mix}(T, t) = \frac{\sigma}{\varepsilon(T, t)}$ enačba 2.4

Preoblikovanje ima več stopenj:

- zgodnja deformacija, ko vezivo ni zadosti viskozno ali ohlajeno, promet po vgrajeni plasti pa že poteka
- poletne deformacije nastanejo zaradi visokih temperatur, še posebej pri presežku veziva
- naraščajoča deformacija, ki je posledica vgrajevanja, če je nosilnost podlage slabša, material slabše kakovosti ali pa neustrezna zgostitev
- zaporedne deformacije, ki nastajajo pri nadgradnjah ali ojačitvah.

Preprečitev preoblikovanja je mogoče s povečanjem odpornosti skeletnega dela oziroma tekočega dela, odvisno kateri del prenaša večji delež obremenitve, pogoj pa je

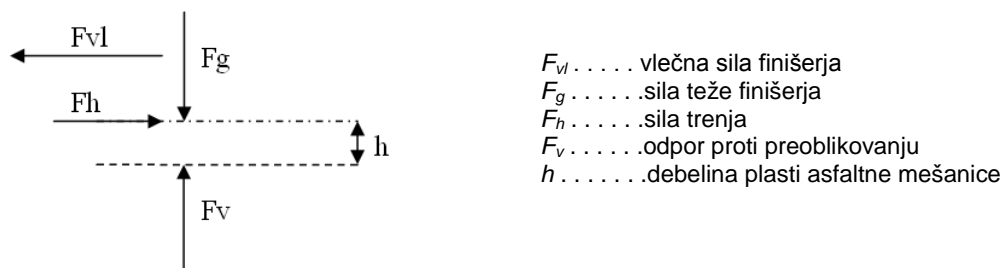
- primerna predzgoditev (minimalna vsebnost votlin, da se vezivo lahko pri višjih temperaturah vanje umakne), ustrezna debelina filma okoli zrn, zaklinjenje kamnitih zrn, prilagojena stopnja zapolnjenosti votlin z vezivom)
- uporaba drobljenih kamnitih zrn in čim večja zrna v skeletu
- uporaba polnila z ustreznim stabilizacijskim učinkom
- zmanjšanje vpliva temperature na viskoznost in kohezivnost veziva z izbiro trših bitumnov ali uporabo ustreznih dodatkov
- pospeševanje otrdelosti bitumenskega veziva (zagotovitev nad 5% votlin v asfaltni zmesi)
- prestavitev vgradnje na jesen, ko so temperature nižje
- višanje temperature mešanja in vgradnje (hitrejše strjevanje, enakomernejša razporeditev materialov in hitrejši doseg primerne zgoščenosti)
- ustrezni prevozi brez energetskih in temperaturnih izgub
- optimalna debelina in število plasti asfaltna zmesi, predvsem zaradi učinka ohlajanja.

Dejstvo je, da se vsak proizvod začne v proizvodnji, od koder ga je potrebno pripeljati na mesto uporabe, nato pa še vgraditi na določeno mesto. Ta skupek zaporednih faz imenujemo proizvodnja asfaltnih zmesi.

Proizvodnja se razlikuje glede na mesto priprave, ki je lahko v centralni mešalni napravi ali pa na mestu vgraditve, tj. na gradbišču, in glede na način priprave (kontinuirani ali šaržni postopek). V skladu s temi postopki se določa tudi transport in čas vgraditve asfaltna zmesi. Transport mora biti skrbno načrtovan, saj je zaradi staranja oziroma strjevanja zmesi časovno omejen. Asfaltna zmes mora ostati od centralne naprave do mesta vgraditve nespremenjena in homogena, zato se izvajajo prevozi v skrbno termo- in hidroizoliranih tovornih vozilih ali kesonih, ki jih je potrebno predhodno pobrizgati s sredstvom proti zlepljenju ter onemogočiti razmešanje zmesi.

Vgrajevanje na predhodno pripravljeno stabilno in zadosti hrapavo podlago se navadno izvaja s finišerji ali asfaltnimi razdelilniki, ki bituminizirano zmes enakomerno razdelijo. Poleg tega

zagotavlja predzgotitev (od 85 do 90 %, lahko pa tudi do 95 %) in ustvari ravno površino z določeno debelino h , ki je nastavljiva in odvisna od prijemališča vlečne sile (spodnja slika) ter od debeline največjega kamnitega zrna (navadno dvakratni premer).



Razgrinjanje asfaltne zmesi s finišerjem (povzeto po: Henigman, S. in sod. 2006: str. 125)

Asfaltne zmesi se dodatno zgoščuje z valjanjem in s tem se doseže zahtevano 97 ali 98 %-no zgoščenost. Zgoščevanje je pomembno predvsem, ker se pri tem povečuje odpornost proti preoblikovanju, tj. usmerjanje zrn, zmanjšanje votlin, primerna razvrstitev vseh materialov v zmesi. Za zgoščevanje se uporablja več različnih vrst valjarjev, ki so odvisni od vrste in temperature asfaltne zmesi ter debeline plasti.

Valjanje mora potekati enakomerno s prekrivanjem pasov prehodov valjarja, ki se ne sme sunkovito ali z vibracijskim učinkom ustavljati, v nasprotnem primeru se pojavijo neravnine. Asfaltne zmesi se delijo glede na način vgrajevanja na valjane in lite, glede prenašanja sil pa na nosilne in obrabne plasti asfaltne zmesi.

Nosilne plasti morajo zagotavljati ustrezno nosilnost, tj. prevzem strižnih in nateznih sil med in znotraj plasti, raznos obremenitev (predvsem prometnih) in ustrezno specifično obremenitev posameznega zrna. V teh plasteh je predvsem pomembna sestava zrn, ki se izbirajo na podlagi prognoziranega prometa.

Obrabne plasti morajo zagotavljati predvsem prevzem horizontalnih sil (tj. tangencialnih in transverzalnih sil), prav tako pa morajo zagotavljati ustrezno ravnost, torno sposobnost za varno kot tudi udobno vožnjo. Plast mora biti odporna proti vremenskim vplivom, sesalnim silam vozil, preoblikovanju, zglajevanju in zagotoviti odpornost proti razpokam, učinkom mraza in soli. Poleg tega je potrebno, da se z obrabno plastjo zagotovi ustrezna tesnitev in

dreniranje, absorbcija hrupa in ustrezna svetlost. Najpogostejše asfaltne zmesi za obrabne plasti so :

- bitumenski betoni
- drobirji z bitumenskim mastiksom

Slednji spadajo med asfaltne zmesi z debelejšim filmom veziva, ki so zelo odporne proti obrabi in preoblikovanju, prav tako pa je njihovo staranje upočasnjeno. Ta zmes ima tudi protihrupne lastnosti.

- drenažni asfalti

Omogočajo odvajanje vode z vozne površine skozi plast in s tem preprečujejo hidroplaning, prav tako pa imajo protihrupni učinek. Vgrajena zmes mora vsebovati do 25 V-% votlin, podložna plast pa mora biti vodotesna. Takšna asfaltna zmes se uporablja predvsem na cestah za velike hitrosti in tam, kjer so vzdolžni oziroma prečni nagibi (pre)majhni.

- liti asfalti

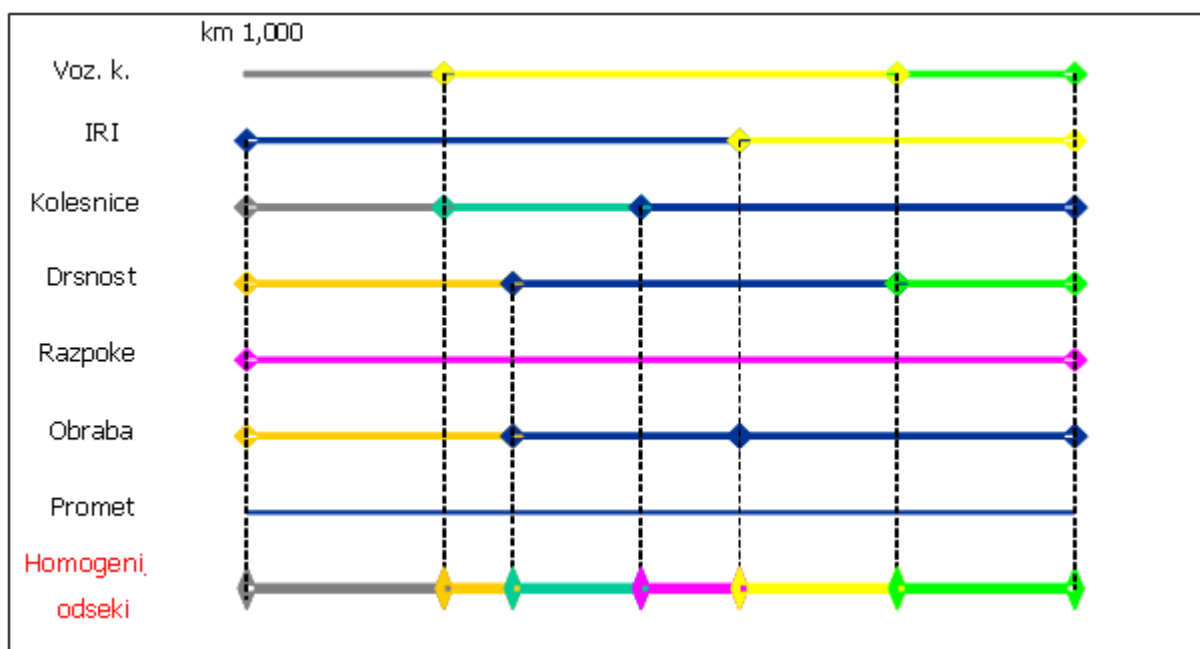
Navadno se jih uporablja za obrabne plasti voziščnih konstrukcij, izpostavljenih težjim obremenitvam, pa tudi kot zaščitne plasti pri hidroizolaciji premostitvenih objektov ali pa kot zaporne plasti pod odprto obrabno plastjo.

3 INVENTURNI PODATKI

Inventurni podatki (Jamnik, J., 2005: str. 54-59) o cestnem omrežju so predvsem tisti, ki opisujejo geometrijske lastnosti cestnega omrežja, lokacijo določenega obravnavanega odseka in promet, ki so osnova za nadaljnje izvajanje gospodarjenja z voznimi površinami. Iz tega naslova prepoznamo podatke o fizikalnih količinah in podatke o prometu:

- številka in ime ceste
- številka in ime odseka
- začetek in konec odseka
- dolžina odseka
- število in širine prometnih pasov
- voziščne konstrukcije (material, vrste, debeline plasti..)
- podatki o prometu

Nekateri podatki se lahko na enem odseku ceste večkrat spremenijo, zato je potrebno za gospodarjenje z vozišči določiti homogene odseke, na katerih se posamezne lastnosti oziroma podatki ne spreminjajo.



Shematski prikaz tvorbe homogenih odsekov (povzeto po: Jamnik, J., 2004: str. 235)

dTIMS_CT omogoča avtomatično tvorbo homogenih odsekov po zahtevah uporabnika, pri čemer se vrednosti na posameznih homogenih odsekih izračunavajo kot povprečna vrednost, maksimalna ali minimalna vrednost ali z dolžino utežena vrednost itd. Postopek homogenizacije je prikazan na prejšnjem prikazu homogenizacije.

3.1 Opis inventurnih podatkov

Številka in ime ceste oziroma odseka je pomembno za določitev lokacije na omrežju. Začetek in konec odseka so določeni v namen, da se lažje najdemo v prostoru. Dolžina in širina ter število prometnih pasov se navezuje na geometrijo, s katero določamo obseg vzdrževalnih del. Nenazadnje se s poznavanjem geometrije vozišča določi količina materiala, ki se ga potrebuje pri sanaciji nekega odseka, in dolžino zapor. V voziščno konstrukcijo so vgrajeni različni materiali, ki so predhodno raziskani in uporabljeni za določene namene. Voziščna konstrukcija mora poleg vrst uporabljenih materialov vsebovati tudi podatke o debelini vgrajenih plasti in njihove starosti. Podatki o prometu zajemajo gostoto prometa in prometno obremenitev. Ker je promet bistveni povzročitelj poškodb na voznih površinah, je v poglavju 3.2 tudi teoretično obdelan.

Z inventurnimi podatki se podajajo informacije, ki se v veliki meri ne spreminjajo oziroma se spreminjajo le ob sanacijah.

3.2 Podatki o prometu

Preden se poglobimo v lastnosti vozne površine, je potrebno opredeliti prometno obremenitev, saj je eden izmed ključnih podatkov pri načrtovanju voziščnih konstrukcij. Sem spadajo še nosilnost podlage (posteljice), značilnosti materialov ter lokalni klimatskimi pogoji.

Vozila v prometu obremenjujejo vozišča z različnimi silami. To so navpične ali vertikalne, vodoravne ali horizontalne in sesalne sile, ki vlivajo na materiale, vgrajene v voziščno konstrukcijo in povzročajo napetostno stanje. Navpične sile povzročajo predvsem tlačne, upogibno-natezne in strižne napetosti, vodoravne sile pa tangencialne (vzdolžne) in

transverzalne (prečne) napetosti predvsem v obrabni plasti vozišča. Sesalne sile so posebne sile, ki ustvarjajo podtlak pod pnevmatikami in ob vozilu, in delujejo le na obrabno plast.

Za javne ceste v Republiki Sloveniji obstajajo tehnične specifikacije, ki se jih uporablja pri načrtovanju in vzdrževanju cest. Tehnična specifikacija (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001) za ceste določa postopek za izvrednotenje merodajne prometne obremenitve, na osnovi katere se določijo dimenzije plasti voziščnih konstrukcij za novogradnje s cementno ali asfaltno krovno plastjo in za popravila in ojačitve obstoječih voziščnih konstrukcij.

Prometna obremenitev povzroča utrujanje v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov, ki je odvisno od številnih vplivov:

- značilnosti motornih vozil (osna obremenitev, razporeditev osi na vozilu in razporeditev koles na osi vozila; npr. vozilo z dvojnimi kolesi lahko naredi večje število prehodov kot enako obremenjeno vozilo s posameznimi kolesi na osi, če hočemo doseči podoben učinek utrujanja na materiale v voziščni konstrukciji) in
- števila obremenitev z motornimi vozili (tj. prehodi skozi prečni prerez vozišča).

Kvantitativno ovrednotenje vpliva motornih vozil na utrujanje materialov voziščne konstrukcije pretvorimo s faktorji ekvivalentnosti oziroma enakega vpliva.

3.2.1 Gostota prometa (PLDP)

Podatke o *povprečnem letnem dnevnem prometu (PLDP)* oziroma strukturi prometa se pridobiva glede na razvrstitev reprezentativnih motornih vozil:

- osebna vozila in kombinirana vozila (O)
- avtobusi (BUS)
- tovorna vozila
 - lahka – z nosilnostjo do 3 t (LT)
 - srednja – z nosilnostjo od 3 do 7 t (ST)
 - težka – z nosilnostjo nad 7 t (TT)
 - težka s prikolico in avtovlaki (TTP)

Temelji na podatkih o štetju prometa na karakterističnih prečnih prerezih na obstoječih cestah, hitrih cestah in ostalih državnih cestah, ki so zbrani v publikaciji »Promet« Direkcije RS za ceste. Na novogradnjah se PLDP določi po prognozi prometa, pri manj obremenjenih cestah pa ga ocenimo. Štetje prometa je lahko ročno ali pa avtomatizirano. Slednje je namenjeno zgolj za določitev števila vozil, ki prevozijo določen prerez ceste oziroma za podrobnejšo določitev prehodov izbranih osnih obremenitev.

3.2.2 Ekvivalentna prometna obremenitev

Ekvivalentna prometna obremenitev je obremenitev, izražena z enakovrednim številom prehodov nazivne osne obremenitve (NOO). Nazivno osno obremenitev imenujemo tudi normalna ali nominalna obremenitev enojne osi vozila, ki se prenaša z dvojnimi kolesi na vozno površino in znaša $4 \times 20.4 \text{ kN} = 81,6 \text{ (82) kN}$. Z njo se izraža prometna obremenitev. Osa obremenitev vozila predstavlja silo, ki se preko koles na eni osi vozila prenaša na vozišče. Le to je potrebno pretvoriti v ekvivalentno prometno obremenitev, pri čemer upoštevamo modificirano enačbo AASHO Road Test-a (American Association of State Highway Officials Road Test). S tem testom ovrednotimo različne osne obremenitve voziščne konstrukcije s faktorji ekvivalentnosti (enakega vpliva), ki so tudi tabelirano povzeti v specifikaciji po enačbi 3.1 (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 6).

$$FE_{naz} = 10^{-8} \cdot f_o \cdot (f_k \cdot L_{stat})^4 \quad \text{enačba 3.1}$$

kjer vrednosti označujejo

FE_{naz} faktor ekvivalentnega vpliva dejanske osne obremenitve motornega vozila na utrujanje v odnosu na vpliv nazivne osne obremenitve (NOO) 82 kN

f_o faktor razporeditve osi na vozilu

- za enojno (posamično) os $f_{o11} = 2,212$

- za dvojno os $f_{o2} = 0,1975$

- za trojno os $f_{o3} = 0,048$

- za posamezno os v zapregi $f_{o12} = 1,583$

f_k faktor razporeditve koles na osi vozila

- za enojno običajno kolo in za tehtane osi (začasno) $f_{k1} = 1,0$

- za dvojno običajno kolo (v paru) $f_{k2} = 0,9$
- za enojno široko kolo $f_{k3} = 0,97$

Iz tega sledi, da za podoben učinek utrujanja vozilo z dvojnimi kolesi opravi $1,0/0,9 \approx 1.5$ krat večjo število prehodov kot enako obremenjeno vozilo s posameznimi kolesi na osi, prav tako to velja za vozilo z enojnim širokim kolesom.

L_{stat} statično osna obremenitev izbrane vrste vozil, ki jo iz vrednotimo kot

$$\left(\frac{L_{nom}}{L_{stat}} \right)^4 = \frac{n_i}{n_{nom}} \quad \text{enačba 3.2}$$

- kjer je L_{nom} nazivna (nominalna, standardizirana) osna obremenitev; NOO
- n_i število prehodov ali osnih obremenitev izbrane vrste vozil
- n_{nom} število ekvivalentnih prehodov nominalne osne obremenitve

Faktor ekvivalentnosti reprezentativnega motornega vozila označimo z FE_v in ga določimo kot vsoto vseh faktorjev ekvivalentnosti osi za posamezna stanja obremenitve FE_{naz} po enačbi 3.3 (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 6).

$$FE_v = \sum FE_{naz} \quad \text{enačba 3.3}$$

Povprečne vrednosti reprezentativnega faktorja ekvivalentnosti obremenitev so navedene v spodnji preglednici.

Povprečna vrednost faktorjev ekvivalentnosti za reprezentativna vozila (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 8)

Reprezentativno vozilo	Povprečni faktor ekvivalentnosti
- osebno	0,00006
- avtobus	1,20
- tovorno:	
- lahko	0,01
- srednje	0,20
- težko	1,10
- težko s prikolico	2,00

V primeru, da ne poznamo sestave težkih tovornih vozil, lahko za faktorje ekvivalentnosti vzamemo informativne vrednosti, ki jih odčitamo iz spodnje preglednice.

Informativne vrednosti faktorjev ekvivalentnosti za tovorna vozila (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 9)

Povprečno število težkih tovornih vozil na dan	Povprečni faktor ekvivalentnosti
do 200	0,9
nad 200 do 1000	1,3
nad 1000	1,8

Ekvivalentno dnevno prometno obremenitev T_d v prečnem prerezu vozišča lahko določimo na dva načina:

- na osnovi dejanskih osnih obremenitev
- na osnovi povprečnih vrednosti faktorjev ekvivalentnosti

Prvi način lahko uporabimo, če so poznane dejanske obremenitve, kot je vsota vseh izmerjenih osnih obremenitev po enačbi 3.4 (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 9).

$$T_d = \sum FE_{naz} \quad \text{enačba 3.4}$$

V primeru, da sistem tehtanja ne podaja direktno vrednost faktorja ekvivalentnega vpliva osne obremenitve FE_{naz} , ga določimo iz histogramov oziroma se izračuna iz prispevkov vsot osnih obremenitev za posamezno razporeditev osi $FE_{o,i}$ po enačbi 3.5 (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 9).

$$FE_{o,i} = \sum_{j=1}^R N_{ij} \cdot FE_{naz,j} \quad \text{enačba 3.5}$$

kjer predstavljajo

i enojna, dvojna ali trojna os

R število razporedov v histogramih osnih obremenitvah

N_j število osi v j-tem razredu

Prispevke posameznih razporeditev osi na motornih vozilih določimo na tri načine, določene z enačbami 3.6 – 3.8 (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 9), kjer L_j pomeni osna obremenitev v j-tem razredu:

- enojna os $FE_{o1} = 10^{-8} \cdot 2,212 \cdot \sum_{j=1}^R N_{j1} \cdot L_j^4$ enačba 3.6

- dvojna os $FE_{o2} = 10^{-8} \cdot 0,1975 \cdot \sum_{j=1}^R N_{j2} \cdot L_j^4$ enačba 3.7

- trojna os $FE_{o3} = 10^{-8} \cdot 0,048 \cdot \sum_{j=1}^R N_{j3} \cdot L_j^4$ enačba 3.8

Skupno ekvivalentno dnevno prometno obremenitev v prečnem prerezu vozišča pa določimo s povprečnimi vrednostmi faktorja ekvivalentnosti na osnovi načrtovanega povprečnega dnevnega števila motornih vozil v prvem letu uporabe ceste po enačbi 3.9 (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 9):

$$T_d = \sum FE_v \cdot n_v \quad \text{enačba 3.9}$$

kjer pomeni FE_v faktor ekvivalentnosti reprezentativnega vozila
 n_v povprečno število motornih vozil določene vrste
(reprezentativnih) na dan na začetku uporabe ceste

Poleg navedenih vplivov na prometno obremenitev vplivajo značilnosti ceste kot so

- število prometnih pasov
- širina prometnih pasov
- vzdolžni nagib nivelete vozišča.

Število prometnih pasov se upošteva s faktorjem prečnega prereza f_{pp} , ki se glede na razdelitev prometne obremenitve spreminja. Spreminjanje prikazuje naslednja preglednica. Faktor f_{pp} ima vrednost 1, če je prometna obremenitev samo na enem prometnem pasu.

Faktorji vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove (Prometne ..., 2001: str. 10)

Število prometnih pasov	Faktor razdelitve obremenitve na prometne pasove							
	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

Vpliv širine prometnih pasov vozišča na prometno obremenitev prikažemo s faktorji širine prometnega pasu f_{sp} , ki je podan v spodnji preglednici.

Faktorji vpliva širine prometnih pasov na prometno obremenitev (Prometne obremenitve..., 2001: str. 10)

Širina prometnega pasu (m)	Faktor širine prometnega pasu
do 2,50	2,00
2,50 do 2,75	1,80
2,76 do 3,25	1,40
3,25 do 3,75	1,10
nad 3,75	1,00

Vpliv vzdolžnega nagiba nivelete opišemo s faktorjem vzdolžnega nagibe nivelete f_{nn} , ki je prikazan v spodaj podani preglednici.

Faktorji vpliva vzdolžnega nagiba nivelete vozišča na prometno obremenitev (Prometne..., 2001: str. 10)

Nagib nivelete (%)	Faktor vzdolžnega nagiba nivelete
do 2	1,00
nad 2 do 4	1,02
nad 4 do 5	1,05
nad 5 do 6	1,09
nad 6 do 7	1,14
nad 7 do 8	1,20
nad 8 do 9	1,27
nad 9 do 10	1,35
10 in več	1,45

Poleg naštetih vplivov se pojavlja tudi dinamičen vpliv, ki nastaja zaradi *nihanja motornih vozil* pri vožnji po neravnih voziščih. Dodatne dinamične obremenitve se ovrednoti s faktorjem f_{dv} , katerega vrednosti so odvisne predvsem od kakovosti izvedenih del. Faktor f_{dv} znaša:

- za dobre pogoje vožnje $f_{dv} = 1,03$
- za povprečne pogoje vožnje $f_{dv} = 1,08$

Trajanje in povečanje prometne obremenitve je potrebno pri načrtovanju upoštevati s faktorjem f_{tp} , saj v dobi načrtovanja promet narašča, kar je navedeno v spodnji preglednici.

Faktorji povečanja prometnih obremenitev v odvisnosti od načrtovane letne stopnje rasti prometa in načrtovanega trajanja (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 11)

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

Merodajna prometna obremenitev je opredeljena z načrtovano

- ekvivalentno dnevno prometno obremenitvijo
- dodatnimi vplivi značilnosti ceste
- trajanjem in letno stopnjo rasti prometa,

kar je prikazano z naslednjo enačbo 3.10 (Prometne obremenitve – določitev in ..., 2001: str. 11).

$$T_n = 365 \cdot T_d \cdot f_{pp} \cdot f_{šp} \cdot f_{nm} \cdot f_{dv} \cdot f_{tp} \qquad \text{enačba 3.10}$$

Povprečne dnevne in merodajne prometne obremenitve se razvrstijo v šest značilnih skupin za dobo trajanja 20 let ali pa na dan, kar je razvidno iz naslednje preglednice.

Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometnih obremenitev (Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev, 2001: str. 12)

Skupina prometne Obremenitve	Število prehodov nazivne osne obremenitve 82 kN	
	na dan	v 20. letih
- izredno težka	nad 3000	nad 2×10^7
- zelo težka	nad 800 do 3000	nad 6×10^6 do 2×10^7
- težka	nad 300 do 800	nad 2×10^6 do 6×10^6
- srednja	nad 80 do 300	nad 6×10^5 do 2×10^6
- lahka	nad 30 do 80	nad 2×10^5 do 6×10^5
- zelo lahka	do 30	do 2×10^5

3.3 Praktični primer

V računalniškem programu za gospodarjenje z vozišči dTIMS_CT je prvotno potrebno definirati vhodne podatke, ki jih program potrebuje za obdelavo. To so inventurni podatki, ki jih prikazujejo naslednje preglednice. Preglednica 3.1 prikazuje identifikacijo odsekov, tj. ime ceste, odseka ter njegovo dolžino.

Preglednica 3.1: Dolžine in imena odsekov severne ljubljanske obvoznice

Odsek	Ime ceste	Ime odseka	Dolžina celotnega odseka (km)
0014	A2A	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,859
0015	A2A	LJ(BRDO-KOZARJE)	2,392
0085	H3A	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	1,511
0086	H3A	LJ(ŠMARTINSKA-TOMAČEVO)	2,084
0088	H3A	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	1,238
0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	2,654
0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,900
0614	A2V	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,856
0615	A2V	LJ(BRDO-KOZARJE)	2,471
0685	H3V	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	1,526
0686	H3V	LJ(ŠMARTINSKA-TOMAČEVO)	2,072
0688	H3V	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	1,238
0689	H3V	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	2,648
0690	H3V	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,894

Iz preglednice 3.2 je razvidna identifikacija izbranih homogenih odsekov severne ljubljanske obvoznice, tj. njegoa oznaka (Element ID) in dolžina. Dolžina celotnega obravnavnega

testnega dela je 27,343 km, dolžine posameznih homogenih odsekov pa znašajo od 0,109 do 2,072 km.

Preglednica 3.2: Dolžine in oznake posameznih homogenih odsekov severne ljubljanske obvoznice

Element ID	Odsek	Ime ceste	Ime odseka	OD km	DO km	Dolžina homogenega odseka
0014_0	0014	A2A	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,000	0,220	0,220
0014_0,22	0014	A2A	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,220	1,300	1,080
0014_1,3	0014	A2A	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,300	1,859	0,559
0015_0	0015	A2A	LJ(BRDO-KOZARJE)	1,859	2,159	0,300
0015_0,3	0015	A2A	LJ(BRDO-KOZARJE)	2,159	3,059	0,900
0015_1,2	0015	A2A	LJ(BRDO-KOZARJE)	3,059	3,459	0,400
0015_1,6	0015	A2A	LJ(BRDO-KOZARJE)	3,459	4,251	0,792
0085_0	0085	H3A	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	4,251	4,851	0,600
0085_0,6	0085	H3A	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	4,851	5,762	0,911
0086_0	0086	H3A	LJ(ŠMARTINSKA-TOMAČEVO)	5,762	6,262	0,500
0086_0,5	0086	H3A	LJ(ŠMARTINSKA-TOMAČEVO)	6,262	7,846	1,584
0088_0	0088	H3A	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	7,846	8,146	0,300
0088_0,3	0088	H3A	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	8,146	8,796	0,649
0088_0,95	0088	H3A	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	8,796	9,084	0,288
0089_0	0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	9,084	9,404	0,320
0089_0,32	0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	9,404	9,924	0,520
0089_0,84	0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	9,924	10,034	0,109
0089_0,95	0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	10,034	10,634	0,600
0089_1,55	0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	10,634	11,184	0,549
0089_2,1	0089	H3A	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	11,184	11,738	0,554
0090_0	0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	11,738	11,988	0,250
0090_0,25	0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	11,988	12,138	0,150
0090_0,4	0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	12,138	12,438	0,299
0090_0,7	0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	12,438	12,988	0,550
0090_1,25	0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	12,988	13,458	0,470
0090_1,72	0090	H3A	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	13,458	13,638	0,180
0614_0	0614	A2V	LJ(KOSEZE-BRDO)	13,638	13,938	0,300
0614_0,3	0614	A2V	LJ(KOSEZE-BRDO)	13,938	14,238	0,299
0614_0,6	0614	A2V	LJ(KOSEZE-BRDO)	14,238	15,138	0,900
0614_1,5	0614	A2V	LJ(KOSEZE-BRDO)	15,138	15,494	0,356
0615_0	0615	A2V	LJ(BRDO-KOZARJE)	15,494	16,694	1,200
0615_1,2	0615	A2V	LJ(BRDO-KOZARJE)	16,694	17,965	1,271
0685_0	0685	H3V	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	17,965	18,565	0,600
0685_0,6	0685	H3V	LJ(ZADOBROVA-ŠMARTINSKA)	18,565	19,491	0,926
0686_0	0686	H3V	LJ(ŠMARTINSKA-TOMAČEVO)	19,491	21,563	2,072
0688_0	0688	H3V	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	21,563	21,963	0,399
0688_0,4	0688	H3V	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	21,963	22,213	0,250
0688_0,65	0688	H3V	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	22,213	22,583	0,370
0688_1,02	0688	H3V	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	22,583	22,801	0,218
0689_0	0689	H3V	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	22,801	23,101	0,300
0689_0,3	0689	H3V	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	23,101	23,951	0,849

“se nadaljuje”

“nadaljevanje”

Element ID	Odsek	Ime ceste	Ime odseka	OD km	DO km	Dolžina homogenega odseka
0689_1,15	0689	H3V	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	23,951	24,401	0,450
0689_1,6	0689	H3V	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	24,401	24,901	0,500
0689_2,1	0689	H3V	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	24,901	25,449	0,548
0690_0	0690	H3V	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	25,449	25,699	0,250
0690_0,25	0690	H3V	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	25,699	25,849	0,149
0690_0,4	0690	H3V	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	25,849	26,789	0,940
0690_1,34	0690	H3V	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	26,789	27,343	0,554

Širina posameznih odsekov prometnih pasov je pomemben podatek predvsem pri ocenjevanju količine potrebnega materiala, ki se porabi pri različnih vzdrževanih delih. Kot kaže preglednica 3.3, so odseki razdeljeni na vozni pas (VP), prehitevalni pas (PP), odstavni pas (OP), pas za počasni promet (PPP) in pospeševalni ali zaviralni pas (PZP), ki se v različnih odsekih pojavljajo v različnih povprečnih širinah (m).

Preglednica 3.3: Širine posameznih prometnih pasov na določenem homogenem odseku

Element ID	Širina VP	Širina PP	Širina OP	Širina PPP	Širina PZP
0014_0	3,75	4,25	1,36	0,00	1,91
0014_0,22	3,75	4,25	3,00	0,00	0,00
0014_1,3	3,75	4,25	1,88	0,00	1,31
0015_0	3,75	4,25	1,80	0,00	1,40
0015_0,3	3,75	4,25	3,00	0,00	0,00
0015_1,2	3,75	4,25	3,00	0,00	0,00
0015_1,6	3,75	4,25	3,00	0,00	0,00
0085_0	3,75	3,75	3,03	0,00	0,47
0085_0,6	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0086_0	3,75	3,75	0,00	0,00	3,50
0086_0,5	3,75	3,75	2,83	0,00	0,66
0088_0	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0088_0,3	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0088_0,95	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0089_0	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0089_0,32	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0089_0,84	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0089_0,95	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0089_1,55	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0089_2,1	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0090_0	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0090_0,25	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0090_0,4	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0090_0,7	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0090_1,25	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50

“se nadaljuje”

“nadaljevanje”

Element ID	Širina VP	Širina PP	Širina OP	Širina PPP	Širina PZP
0090_1,72	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0614_0	3,75	3,75	2,20	0,00	0,93
0614_0,3	3,75	3,75	3,00	0,00	0,00
0614_0,6	3,75	3,75	3,00	0,00	0,00
0614_1,5	3,75	3,75	2,11	0,00	1,04
0615_0	3,75	3,75	2,50	0,00	0,58
0615_1,2	3,75	3,75	3,00	0,00	0,00
0685_0	3,75	3,75	3,03	0,00	0,47
0685_0,6	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0686_0	3,5	3,5	3,09	0,00	0,41
0688_0	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0688_0,4	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0688_0,65	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0688_1,02	3,75	3,75	3,50	0,00	0,00
0689_0	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0689_0,3	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0689_1,15	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0689_1,6	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0689_2,1	3,5	3,5	3,50	0,00	0,00
0690_0	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0690_0,25	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0690_0,4	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50
0690_1,34	3,5	3,5	0,00	0,00	3,50

Voziščne konstrukcije (preglednica 3.4) so opisane z vrsto materiala (Mat1–Mat6) v posamezni plasti, njeno debelino (Deb1–Deb6) ter letom vgradnje (Leto1–Leto6). Številke od 1 do 6 predstavljajo plasti od najvišje (obrabne) do najnižje (nevezane). Tip VK predstavlja tip voziščne konstrukcije, saj so bili lahko od njene izgradnje do danes že izvedena določena vzdrževalna dela: preplastitev voziščne konstrukcije z novo obrabno plastjo (OVL), ojačitev s predhodnim rezkanjem (OjacRez) in nadomestitev plasti na posameznem prometnem pasu (INL). Nekateri deli severne ljubljanske obvoznice so še vedno originalni (ORIG). Iz preglednici 3.4 je razvidno, da sta se najnižji nosilni plast na večini odsekov vgradili leta 1981. Letnica 1900 pomeni, da ni plasti. Zadnja popravila voziščne konstrukcije so se na severni ljubljanski obvoznici izvrševala v letu 2005.

Preglednica 3.4: Tip VK, uporabljeni materiali, debeline posamezne plasti in leto vgradnje voziščnih konstrukcij na severni ljubljanski obvoznici

Element ID	Tip VK	Mat 1	Mat 2	Mat 3	Mat 4	Mat 5	Mat 6	Deb 1	Deb 2	Deb 3	Deb 4	Deb 5	Deb 6	Leto 1	Leto 2	Leto 3	Leto 4	Leto 5	Leto 6
0014_0	ORIG	BB11s	BD32	CS32	P32	-	-	4	8	24	10	0	0	1981	1981	1981	1981	1900	1900
0014_0,22	OVL	BB11s	BB11s	BD32	CS32	D32	-	4	4	8	24	10	0	1985	1981	1981	1981	1981	1900
0014_1,3	OVL	BB11s	BB11s	BD32	CS32	D32	-	4	4	8	24	10	0	1985	1981	1981	1981	1981	1900
0015_0	OjacRez	DBM11s	BD32S	BD32	CS32	D32	-	4	7	8	24	10	0	2005	2005	1981	1981	1981	1900
0015_0,3	OjacRez	DBM11s	BD32S	BD32	CS32	D32	-	4	7	8	24	10	0	2005	2005	1981	1981	1981	1900
0015_1,2	OjacRez	DBM11s	BD32S	BD32	CS32	D32	-	4	7	8	24	10	0	2005	2005	1981	1981	1981	1900
0015_1,6	OjacRez	DBM11s	BD32S	BD32	CS32	D32	-	4	7	8	24	10	0	2005	2005	1981	1981	1981	1900
0085_0	ORIG	DBM8s	BD32S	CS45	P45	-	-	3	10	25	20	0	0	1998	1998	1998	1998	1900	1900
0085_0,6	ORIG	DBM8s	BD32S	CS45	P45	-	-	3	10	25	20	0	0	1997	1997	1997	1997	1900	1900
0086_0	ORIG	BB11sPmB	BD32S	CS32	D32	-	-	4	10	45	15	0	0	1996	1996	1996	1996	1900	1900
0086_0,5	ORIG	BB11sPmB	BD32S	CS32	D32	-	-	4	10	45	15	0	0	1996	1996	1996	1996	1900	1900
0088_0	INL	BB11sPmB	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	1996	1983	1983	1983	1900	1900
0088_0,3	INL	BB11sPmB	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	1996	1983	1983	1983	1900	1900
0088_0,95	INL	BB11sPmB	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	1996	1983	1983	1983	1900	1900
0089_0	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1983	1983	1983	1900	1900
0089_0,32	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1983	1983	1983	1900	1900
0089_0,84	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1983	1983	1983	1900	1900
0089_0,95	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	2003	1983	1983	1983	1900	1900
0089_1,55	INL	BB11sPmB	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1996	1983	1983	1983	1900	1900
0089_2,1	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	2000	1983	1983	1983	1900	1900
0090_0	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1981	1981	1981	1900	1900
0090_0,25	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1981	1981	1981	1900	1900
0090_0,4	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1998	1981	1981	1981	1900	1900
0090_0,7	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1998	1981	1981	1981	1900	1900
0090_1,25	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1998	1981	1981	1981	1900	1900
0090_1,72	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1981	1981	1981	1900	1900
0614_0	ORIG	BB11s	BD22	CS32	D32	-	-	4	12	24	10	0	0	1981	1981	1981	1981	1900	1900
0614_0,3	OVL	BB11s	BB11s	BD32	CS32	D32	-	4	4	12	24	10	0	1985	1981	1981	1981	1981	1900
0614_0,6	OVL	BB11s	BB11s	BD32	CS32	D32	-	4	4	12	24	10	0	1985	1981	1981	1981	1981	1900
0614_1,5	OVL	BB11s	BB11s	BD32	CS32	D32	-	4	4	12	24	10	0	1985	1981	1981	1981	1981	1900
0615_0	OVL	BB11s	BB11s	BD32	CS32	D32	-	4	4	8	24	10	0	1985	1981	1981	1981	1981	1900
0615_1,2	REIN	DBM11s	BD22S	BB11s	BB11s	BD32	CS32	4	6	4	4	8	24	2004	2004	1985	1981	1981	1981

“se nadaljuje”

“nadaljevanje”

Element ID	Tip VK	Mat 1	Mat 2	Mat 3	Mat 4	Mat 5	Mat 6	Deb 1	Deb 2	Deb 3	Deb 4	Deb 5	Deb 6	Leto 1	Leto 2	Leto 3	Leto 4	Leto 5	Leto 6
0685_0	ORIG	DBM8s	BD32S	CS45	P45	-	-	3	10	25	20	0	0	1998	1998	1998	1998	1900	1900
0685_0,6	ORIG	DBM8s	BD32S	CS45	P45	-	-	3	10	25	20	0	0	1997	1997	1997	1997	1900	1900
0686_0	ORIG	BB11sPmB	BD32S	CS32	D32	-	-	4	10	45	15	0	0	1996	1996	1996	1996	1900	1900
0688_0	INL	BB11sPmB	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	1996	1983	1983	1983	1900	1900
0688_0,4	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	2003	1983	1983	1983	1900	1900
0688_0,65	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	1993	1983	1983	1983	1900	1900
0688_1,02	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	35	0	0	1993	1983	1983	1983	1900	1900
0689_0	INL	BB11sPmB	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1996	1983	1983	1983	1900	1900
0689_0,3	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	2001	1983	1983	1983	1900	1900
0689_1,15	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1992	1983	1983	1983	1900	1900
0689_1,6	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	2000	1983	1983	1983	1900	1900
0689_2,1	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1992	1983	1983	1983	1900	1900
0690_0	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1997	1981	1981	1981	1900	1900
0690_0,25	INL	DBM11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1997	1981	1981	1981	1900	1900
0690_0,4	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1981	1981	1981	1900	1900
0690_1,34	INL	BB11s	BD32	CS32	D32	-	-	4	8	25	25	0	0	1990	1981	1981	1981	1900	1900

Legenda:

- obrabna plast
 - BB11s – Bitumenski beton 11s
 - BB11sPmB – Bitumenski beton 11sPmB
 - DBM11s – Drobir z bitumenskim mastiksom 11s
 - DBM8s – Drobir z bitumenskim mastiksom 8s
- vezana zgornja nosilna plast
 - BD32 – Bituminizirani drobljenec 32
 - BD32S – Bituminizirani drobljenec 32S
- vezana spodnja nosilna plast
 - CS32 – Cementna stabilizacija 32
 - CS45 – Cementna stabilizacija 45
- nevezana nosilna plast
 - P32 – Prodec 32
 - P45 – Prodec 45
 - D32 – Drobljenec 23

Prometna gostota se podaja v PLDP (povprečnem letnem dnevnom prometu) na podlagi štetja prometa, ločeno za posamezne tipe vozil. Preglednica 3.5 prikazuje število prehodov posameznih tipov vozil za leto 2005 v eno smeri, zato je PLDP polovičen. PLDP se preračuna v nominalno osno obremenitev (NOO 82). Za izračun v programu PMS-DARS se upošteva 90% PLDP, kar predstavlja število vozil na voznem prometnem pasu, ki je v povprečju najbolj obremenjen in zato najbolj poškodovan.

Preglednica 3.5: Podatki o prometni gostoti in prometnih obremenitvah na severni ljubljanski obvoznici

Odsek	Osebna vozila	Mot-orji	Avto-busi	Tovornjaki			Priklop-niki	Leto štetja prometa	PLDP		NOO 82 na leto
				lahki	srednji	težki			1/2	90%	
0014	29.161	122	121	1.882	515	434	1.120	2005	33.355	30.020	980.957
0015	23.652	22	94	1.937	371	502	1.020	2005	27.596	24.836	919.796
0085	27.060	48	58	1.698	380	482	826	2005	30.551	27.496	770.794
0086	29.260	55	60	1.725	560	425	915	2005	33.000	29.700	821.416
0088	31.315	65	70	1.775	610	355	810	2005	35.000	31.500	734.568
0089	25.444	51	46	1.648	374	440	840	2005	28.842	25.958	759.494
0090	26.380	21	94	2.013	407	444	990	2005	30.348	27.313	881.797
0614	29.161	122	121	1.882	515	434	1.120	2005	33.355	30.020	980.957
0615	23.652	22	94	1.937	371	502	1.020	2005	27.596	24.836	919.796
0685	27.060	48	58	1.698	380	482	826	2005	30.551	27.496	770.794
0686	29.260	55	60	1.725	560	425	915	2005	33.000	29.700	821.416
0688	31.315	65	70	1.775	610	355	810	2005	35.000	31.500	734.568
0689	25.444	51	46	1.648	374	440	840	2005	28.842	25.958	759.494
0690	26.380	21	94	2.013	407	444	990	2005	30.348	27.313	881.797

Preglednica 3.6 kaže prometno stanje v trenutnem letu (tj. 2007). V primerjavi s prejšnjo preglednico so njeni rezultati precej večji. Vzrok tega je predvidena rast prometa, ki naj bi se v enem letu spremenila za 3 % oziroma za 1,03krat.

Naraščanje prometa povzroča večje poškodbe in zato zahteva večja popravila, kar je opisano v naslednjem poglavju.

Preglednica 3.6: Gostota prometa in prometna obremenitev na severni ljubljanski obvoznici v letu 2007

Element ID	Promet v letu 2007		Element ID	Promet v letu 2007	
	PLDP 90%	NOO 82		PLDP 90%	NOO 82
0014_0	31.848	1.040.697	0090_1,25	28.976	935.498
0014_0,22	31.848	1.040.697	0090_1,72	28.976	935.498
0014_1,3	31.848	1.040.697	0614_0	31.848	1.040.697
0015_0	26.349	975.812	0614_0,3	31.848	1.040.697
0015_0,3	26.349	975.812	0614_0,6	31.848	1.040.697
0015_1,2	26.349	975.812	0614_1,5	31.848	1.040.697
0015_1,6	26.349	975.812	0615_0	26.349	975.812
0085_0	29.171	817.735	0615_1,2	26.349	975.812
0085_0,6	29.171	817.735	0685_0	29.171	817.735
0086_0	31.509	871.440	0685_0,6	29.171	817.735
0086_0,5	31.509	871.440	0686_0	31.509	871.440
0088_0	33.418	779.303	0688_0	33.418	779.303
0088_0,3	33.418	779.303	0688_0,4	33.418	779.303
0088_0,95	33.418	779.303	0688_0,65	33.418	779.303
0089_0	27.539	805.747	0688_1,02	33.418	779.303
0089_0,32	27.539	805.747	0689_0	27.539	805.747
0089_0,84	27.539	805.747	0689_0,3	27.539	805.747
0089_0,95	27.539	805.747	0689_1,15	27.539	805.747
0089_1,55	27.539	805.747	0689_1,6	27.539	805.747
0089_2,1	27.539	805.747	0689_2,1	27.539	805.747
0090_0	28.976	935.498	0690_0	28.976	935.498
0090_0,25	28.976	935.498	0690_0,25	28.976	935.498
0090_0,4	28.976	935.498	0690_0,4	28.976	935.498
0090_0,7	28.976	935.498	0690_1,34	28.976	935.498

4 POŠKODBE NA VOZNIH POVRŠINAH

Poškodbe so spremembe (poslabšanje, staranje) na vozišču, ki se jih ugotavlja s cikličnimi meritvami in jih opisujemo z modeli propadanja. Nastanejo zaradi različnih zunanjih vplivov in negativno učinkujejo na varnost in udobnost vožnje ter gospodarnost prometa. Slej kot prej jih je potrebno odstraniti ali vsaj izboljšati oziroma popraviti z vzdrževalnimi deli oziroma ukrepi.

Poškodbe navadno nastanejo zaradi vgrajevanja neprimernih materialov ali njihovega utrujanja ter obrabe pri normalni uporabi, ki so posledica prometnih in klimatskih obremenitev, pomanjkljivosti izvedbe in vzdrževanja ter neprimerne uporabe vozišča.

Glede na našete učinke in vplive nastanejo različne poškodbe, kot so preoblikovanja ali deformacije, razpoke, razgraditve in druge poškodbe površine, ki jih je možno popraviti na različne načine in z različnimi postopki. Pomembno je, da se poškodbe čim prej odpravijo, saj so morebitne nastale poškodbe opozorilni znak za prihodnje praviloma večje poškodbe, ki jih je potrebno na gospodaren način popraviti. Opredeljuje se stanje poškodb ter ocenjujejo se vrste in obseg poškodb, od česar je merilo slednjega odvisno od časa, ki je pretekel od nastanka poškodbe. Od tega je odvisen uspeh popravila poškodbe.

4.1 Vzroki nastanka

Spreminjanje značilnosti vgrajenih materialov v voziščni konstrukciji se začne že v času vgradnje, v škodljivem obsegu pa (nastanek poškodb) nastopi največkrat šele po poteku načrtovane dobe trajanja. Poškodbe so lahko dalj časa skrite, lahko pa se hitro pokažejo in nato verižno nadaljujejo. Hitrost njihovega nastajanja je odvisna od različnih vzrokov.

4.1.1 Prometna obremenitev

Te poškodbe nastanejo kot posledica velikih *prometnih obremenitev*, počasnega kanaliziranega prometa in velikih vzdolžnih nagibov nivelete vozne površine, ki povzročajo

povečano utrujanje in spreminjanje zgradbe materialov. Vzrok spremembe je v slabenju in trganju vezi med molekulami, pri čemer nastanejo začasne ali trajne deformacije in različni tipi razpok.

4.1.2 Klimatske obremenitve

Med *klimatske obremenitve* se prištevajo predvsem padavine in temperatura. Padavine namakajo voziščno konstrukcijo in škodljivo vplivajo na njeno nosilnost oziroma stabilnost. Pore v plasteh voziščne konstrukcije se zapolnijo preko prepustnih vrhnjih plasti, zaradi kapilarnega učinka ali iz strani konstrukcije, kamnita zrna pa se napijejo z vodo. Nihanje temperature povzroča preperevanje materiala, pri čemer imajo velik pomen skrajne vrednosti temperatur. Pri visoki temperaturi postane asfaltna zmes plastična in se začne pod obremenitvijo preoblikovati, zato je voziščna konstrukcija bolj dovzetna za deformacije. Pri nizkih temperaturah postane zmes trša oziroma toga, nastopajoče natezne napetosti povzročajo odstop veziva od zrn in s tem razpoke.

Vpliv klimatskih obremenitev je kritičen, če nastopita oba navedena vpliva hkrati. Voda v porah med zrn v času nizkih temperatur zmrzne in povzroča neenakomerno krčenje oziroma širjenje, pri čemer lahko toge plasti konstrukcije razpokajo, četudi niso obremenjene s prometom. Vzrok so tudi zmrzlinški dvigi, ki so posledica nastanka ledenih leč. V ta namen mora biti v voziščno konstrukcij vgrajen material, ki je odporen proti škodljivemu zmrzovanju vode. Nevarnost za nastajanje poškodb je tudi odtajanje zmrznjene vode, ki zastaja v konstrukciji in zmanjšuje nosilnost.

4.1.3 Pomanjkljiva izvedba

Izvedba voziščnih konstrukcij mora biti ustrezna v več pogledih, da jo zavarujemo pred prehitrimi in prekomernimi poškodbami. Voziščna konstrukcija mora imeti v prvi vrsti ustrezno pripravljeno podlago, nato pa mora biti zmes za vgradnjo pripravljena z ustreznimi materiali v vezanih in nevezanih plasteh ter primerno zgoščena. Prav tako se mora zagotoviti primerna nosilnost in zlepljenost za vsako plast posebej, primeren postopek vgradnje in

učinkovita zaščita pred prekomerno vodo (odvodnjavanje). V primeru, da je izvedba pomanjkljiva, nastanejo poškodbe prej in se hitreje širijo.

4.1.4 Pomanjkljivo vzdrževanje

Pomanjkljivo vzdrževanje zavzema predvsem postopke rednega vzdrževanja. Opisuje se s slabimi ali pa nepravočasnimi sanacijami poškodb, posledica česar je lahko razraščanje poškodb in pospešen propad vozišča. Med pomanjkljivo vzdrževanje spada predvsem pomanjkljiva obdelava razpok, neprimerno krpanje udarih jam, pomanjkljivo odvodnjavanje, neprimerna višina bankin, neprimerni učinki na vozno površino v sklopu zimske službe ipd.

Skrbno in pravočasno vzdrževanje zgrajenih voznih površin je osnovni pogoj za njihovo trajnost ter varen in udoben promet na njih. Tudi cenen kratkotrajen ukrep za popravilo poškodbe je koristnejši od dolgotrajnega, če zaradi finančnih razlogov ne bi bil izveden pravočasno.

4.1.5 Neprimerna uporaba

Uporaba vozišča je pogojena z opremljenostjo vozil ali prekomerno obremenitvijo vozil. Označuje dejavnosti, ki se izvajajo na njem, tj. vožnja.

Neprimerna vožnja, kot je uporaba snežnih verig na težkih vozilih, preobremenjenost osi težkih tovornih vozil ipd., se na vozišču odraža s poškodbami.

4.2 Vrste poškodb

Poškodbe, ki nastanejo na voznih površinah, so lahko manjšega ali pa večjega obsega oziroma potrebujejo manj ali več finančnih sredstev za sanacijo, lahko pa se izvajajo redno ali pa po potrebi kot večji projekti. Glede naštetih postavk se posamezne ukrepe izvajajo z rednim ali pa investicijskim vzdrževanjem. Značilne poškodbe, ki nastanejo na asfaltnih voznih površinah, so opisane v nadaljevanju.

4.2.1 Deformacije ali preoblikovanja

Deformacije se pojavljajo na vozni površini zaradi prekoračitve tlačnih in strižnih trdnosti vgrajenih materialov. To so poškodbe, ki lahko izvirajo iz spremembe nižje ležečih plasti, vključno s spremembami v podlagi, tj. nasipu ali temeljnih tleh. Značilno za njih je, da imajo značaj plastičnosti.

Deformacije asfaltnih vozišč so različnih oblik in usmeritev:

- prečne deformacije: kolesnice (slika levo), grebeni, žlebovi, povesi
- vzdolžne deformacije: valovi, perilnik (slika na sredini spodaj)
- nepravilno oblikovane deformacije: grbine (slika desno), grebeni, kadulje, posedki, dvigi.



Kolesnica (Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 30)



kadujni (Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 30)

Grbina ob



Perilnik (Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 30)

Preoblikovanja so lahko posamična (samostojna), periodična (se nadaljujejo) in slučajna.

4.2.2 Razpoke

Razpoke nastanejo s prekoračitvijo natezne trdnosti vgrajenega materiala v voziščno konstrukcijo. Vplivi prometne obremenitve in krčenje vgrajenih materialov pri nizkih temperaturah povzročijo notranje utrujanje, ki se pokaže v različnih oblikah razpok. Znane so naslednje vrste razpok, ki se jih opredeli na osnovi izgleda:

- posamezne (prečne, vzdolžne, nepravilno oblikovane; sliki na naslednji strani) in
- mrežaste (površinske in globoke; spodnja slika).

Posamezne razpoke so lahko ozke, široke ali zelo široke razpoke, ki se poljubno širijo in se lahko razlezejo v mrežaste (npr. lasaste se razlezejo v mrežo).

Posamezne razpoke navadno nastajajo na stikih različnih zmesi oziroma materialov, na delovnih stikih, na območnih spremembah materialov, robovih vozišč in na večjih voznih površinah. Pojavijo se relativno kmalu po vgraditvi in strditvi materiala. Mrežaste razpoke pa nastanejo zaradi staranja voziščne konstrukcije, in sicer v obliki

- manjših okenc (slonova koža) zaradi utrujanja materiala,
- večjih okenc (krokodilja koža) zaradi slabo nosilne podlage,
- drevesnih vej zaradi staranja veziva v obrabni plasti.



Mrežasta razpoka zaradi spremenjenih materialov v podlagi
(Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 17)



Vzdolžne razpoke – vzdolžni delovni stik
(Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 17)



Prečne razpoke zaradi nateznih napetosti
(Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 17)

V primeru, da se posamezne razpoke nepravočasno ali pa pomanjkljivo popravljajo, nastanejo tako imenovane 'sekundarne razpoke'. Nekaj primerov razpok je prikazanih na prejšnjih treh slikah.

4.2.3 Razgraditve

Razgraditve so poškodbe, ki se pojavljajo na asfaltnih krovnih plasteh, ko se prekorači natezna trdnost in zmanjša zlepljenje zmesi. Primeri razgraditve se med seboj zelo razlikujejo, vendar so zelo izraziti. Meja značilnih poškodb ni jasna:

- običajna in prekomerna obraba (slika levo, naslednja stran)
- krušenje (malte, skeleta, obrabne plasti, obrabne in nosilne plasti, robov; slika desno, naslednja stran)
- udarne jame (slika spodaj, naslednja stran)
- luščenje (obrabne plasti, obrabne in nosilne plasti)
- ostale izgube (mehanski in kemični učinki)

Razgraditve nastanejo praviloma zaradi prekoračitev sil vezanja in natezne trdnosti asfaltne zmesi, neprimerne vgradnje, lahko pa je vzrok tudi v širjenju razpok in izletavanju kamnitih zrn in grudic zaradi zmanjšane odpornosti asfaltne zmesi. Najobičajnejše razgraditve so udarne jame.



Obraba (Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 25)



Krušenje roba (Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 25)



Udarne jame (Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 25)

4.2.4 Poškodbe površin

V to skupino se prišteva vse ostale poškodbe, ki se pojavljajo na površini voziščne konstrukcije, vendar ne pripadajo nobeni od prej naštetih skupin. Te poškodbe učinkujejo na

- zmanjšanje torne sposobnosti oziroma sposobnosti trenja zaradi veziva, vode ali zemlje,
- zmanjšanje odpornosti proti plastičnemu preoblikovanju,
- ostale poškodbe zaradi nezadostne izvedbe ali vzdrževanja, ki vplivajo na trajnost asfaltne krovne plasti.

Predvsem je pogosto zmanjšanje torne sposobnosti, kar je posledica izstopanja prekomernega veziva na vozno površino vgrajene zmesi (naslednja slika), obraba zrn peska in drobirja na vozni površini, obstoj derivatov nafte (olje, gorivo) na vozni površini, ki zmehta vgrajeno zmes, izcejanje vode na vozno površino in iztiskanje židke zemljine skozi voziščno konstrukcijo na vozno površino.

Za preprečevanja zmanjšanja površinskih poškodb je potrebno vgraditi odporne materiale, ki zagotavljajo primerno hrapavost in omogočajo odvodnjavanje odvečne vode.



Zmanjšanje torne sposobnosti zaradi iztiskanja bitumenske malte
(Redno vzdrževanje cest..., 2003: str. 33)

4.3 Popravila poškodb

V sklopu vzdrževanja se na voznih površinah izvajajo različna popravila poškodb, ki morajo biti redna in ustrezno uporabljena. Namen popravil je ohranjanje stanja vozne površine za udobno in varno uporabo oziroma zagotavljanje nosilnosti celotne konstrukcije. Za vsako popravilo poškodb, ne glede na obseg popravila (redno in investicijsko vzdrževanje), je pomembno, da se pripravi program aktivnosti oziroma izbere strategija ukrepov. Postopkov za popravila poškodb oziroma vzdrževalnih ukrepov obstaja več vrst, s katerimi je mogoče bolj ali manj uspešno odpraviti poškodbo. V ta namen jih je potrebno analizirati in upoštevati naslednje karakteristike:

- poznavanje značilnosti gradnje in zunanjih vplivov na konstrukcij
- poznavanje vzroka poškodb in njihova analiza
- poznavanje nabora že uveljavljenih postopkov popravil in njihova analiza
- analiza stroškov, ki vključujejo obseg celotnega dela, material, strojna oprema ipd.
- analiza koristi uporabnikov in upravljavca

Šele na podlagi analiz se lahko poišče najustreznejši postopek popravila. Na podlagi izbora se izdelata projektna naloga s programom aktivnosti.

Postopki popravil, ki so uveljavljena v cestogradnji, so naslednji:

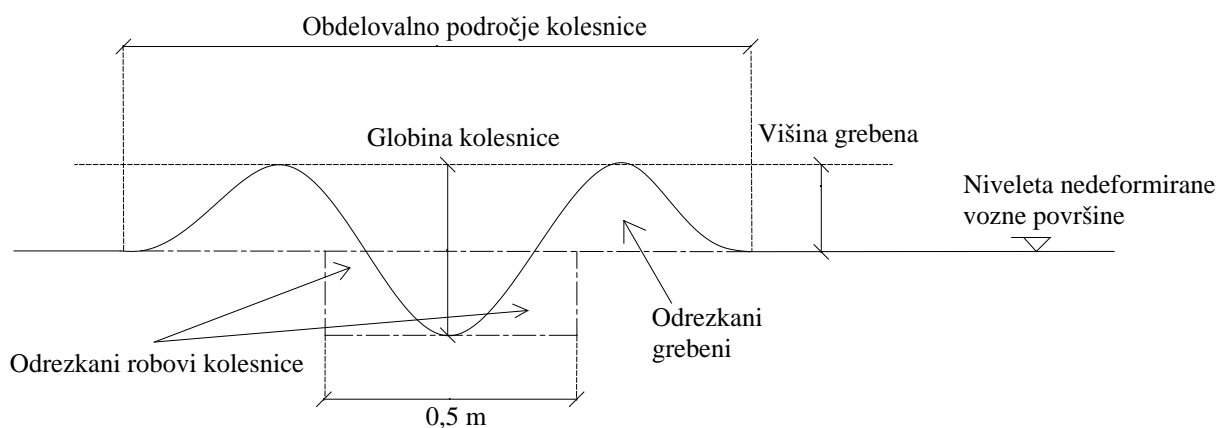
- osnovni postopki, kamor spadajo preplastitev, ojačitev in obnova
- posebni postopki, ki zavzemajo zamenjavo poškodovane obrabne plasti in obdelavo asfaltne plasti (npr. remix).

4.3.1 Predhodni postopki

Preden se ukrep izvede je potrebno podlago pripraviti s posebnimi predhodnimi postopki popravila. Sem štejemo popravilo kolesnic, čiščenje, pregretje, pobrizg, obdelava stikov ipd.

Popravilo (sanacija) kolesnic se izvaja skladno z naslednjo skico. Ker ob kolesnicah navadno nastanejo grebeni ali grbine, jih je potrebno najprej izravnati, nato pa obdelati površino

kolesnice, tako da se izrezka pravokotnik na območju vdolbine kolesnice. Obdelovalno področje kolesnice obsega razširjeno območje, ki nekoliko odstopa od vznožja grbin (spodnja slika). Očiščeno obdelano plast je potrebno nato zapolniti s primerno asfaltno zmesjo.



Shema sanacije kolesnice (povzeto po: Jamnik, J, Žmavc, J. in Cezar, J., 2005: str. 47)

Čiščenje vključuje odstranjevanje delcev onesaženja z vozišča, kot so prah, voda, nesnaga, slabo vezana zrna in razne tekoče substance. Postopki, ki se uporabljajo za čiščenje, so naslednji: s strojnimi metlami, krtačami in sesalniki, z vodnim curkom in ponekod z odstranjevanjem zmesi ob globljem učinkovanju onesaženja (npr. z oljem). V nekaterih primerih je potrebno obdelano območje posušiti s toplim zrakom ali pa z grelniki z infrardečimi žarki.

Pregretje je potreben postopek v klimatskih pogojih, kjer je prisotne veliko vlage. Tam je potrebno poškodovano območje pregreti, pri čemer se uporablja predvsem grelnike z infrardečimi žarki, lahko pa tudi topel zrak. Segrevanje podlage se izvaja do načrtovane globine tako, da se pri tem ne poškoduje (zmanjšanje homogenosti zmesi). Segrevanje je pomembno zaradi dobrega zlepljenja robov obstoječih zmesi z novo vgrajenim in asfaltnimi zmesmi.

Pobrizg podlage se izvršuje v primeru, če je ta popustila, če je odrezkana in zaprašena ali če je že prej pobrizgano vezivo premalo lepljivo. Delež veziva za predhodni pobrizg je odvisen od lastnosti poškodovane podlage. Premazi morajo biti usklajeni z načrtovano bitumensko

zmesjo za zalivanje in morajo zagotoviti neprekinjen film. Prekomerna količina veziva lahko kasneje učinkuje kot drsna plast oziroma kot vzrok za nastanek deformacij.

Obdelava stikov pomeni omejitev stičnih površin poškodovane plasti z nepoškodovano. Robove stikanja je potrebno čim bolj navpično in ostro zasekati z rezkalnikom. Na območju stikov mora biti predhodni premaz močnejši od pobrizga podlage.

4.3.2 Postopki popravil

V nadaljevanju naštetih postopki popravil so osnova za prepoznavanje določenih ukrepov. Ta popravila na poškodovanih asfaltnih voziščih potrebujejo strokovno zahtevnejše inženirsko delo, ki jih torej drugače označimo kot vzdrževalne ukrepe. Program aktivnosti popravil pa lahko enačimo s katalogom ukrepov (opisano v poglavju 7.3), ki predpisuje različna vzdrževalna dela na analiziranem odseku cestnega omrežja.

Začasna popravila se izvajajo ob slabših vremenskih pogojih, pri čemer se lahko uporabljajo tudi manj kvalitetni materiali za vgrajevanje. Takšna dela so sicer hitra in učinkovita, vendar jih je potrebno kasneje, ko nastopijo ugodnejši vremenski pogoji, ponovno izvesti s postopki trajnejših popravil.

Najbolj uveljavljeni postopki popravil so opisani v naslednjih podpoglavjih.

4.3.2.1 Preplastitve in ojačitve

Preplastitev in ojačitev sta postopka vzdrževanja stanja voziščne konstrukcije, kjer eno ali več novih plasti dodamo na obstoječo voziščno konstrukcijo. Dodano plast lahko le nadgradimo, lahko pa jo zamenjamo, kar pomeni odstranitev in nadomestitev z novim materialom (removal, replacement). Postopek nadgrajevanja z eno plastjo je označen kot preplastitev oziroma pomladitev asfaltne zmesi (rejuvenate), pri nadgradnjah z več plastmi pa kot ojačitev.

V večini primerov je pogoj za izvedbo preplastitev oziroma ojačitev in posledični doseg ustrezne ureditve stanja predhodna lokalna sanacija v večjem ali manjšem obsegu.

4.3.2.2 Postopek "sendvič"

Ta postopek je vrsta ojačitve, ki se izvaja v kombinaciji z nevezano drobljeno kamnito zmesjo zrn in krovno plastjo asfaltne zmesi nad njo. Najmanjša debelina nevezane plasti, odporne proti učinkom mraza, iz drobljenega kamnitega materiala mora znašati na voznih površinah z lahko in srednjo prometno obremenitvijo 15 cm, s težko obremenitvijo pa najmanj 20 cm.

Namen uporabe tega postopka je,

- kadar so poškodbe obstoječega vozišča posledica utrujanja vgrajenega materiala, ki se odraža z zelo velikimi preoblikovanji vzdolž ali prečno na voziščno konstrukcijo,
- kadar so merodajne podajnosti izven definiranega območja,
- nezadostna debelina plasti pred mrazom odpornih materialov.

4.3.2.3 Rekonstrukcija

Z rekonstrukcijo se označi postopek zamenjave, ki se lahko izvršuje delno ali popolno. To pomeni, da se zamenjajo deli poškodovane obstoječe voziščne konstrukcije z novo plastjo ustreznih materialov (glej Odstranjevanje materialov). Pri ojačitvi s popolno zamenjavo je potrebno odstraniti celotno poškodovano obstoječo voziščno konstrukcijo, na ponovno urejenem planumu podlage (posteljice) pa posamezne plasti nadomestiti z ustreznim materialom.

4.3.2.4 Obnova

Temelji na popolni odstranitvi zgornjih plasti obstoječe voziščne konstrukcije v obsegu, ki ga pogojuje nova niveleta vozišča. Je vrsta ojačitve z zamenjavo. Navadno se postopek izvaja, kadar je več lastnosti vozne površine v slabem stanju in je hkrati potrebno izboljšati elemente ceste, kot so širina in radij vozišča in mraz, ki v preveliki meri učinkuje na vgrajeni material.

4.3.2.5 Recikliranje

Recikliranje je postopek obdelave materiala, vgrajenega v obstoječo voziščno konstrukcijo, ki se ga lahko uporabi v nadaljnjih postopkih vgrajevanja v novi zmesi. Postopek se izvaja v sklopu ojačitve voziščne konstrukcije z zamenjavo.

Recikliran material se lahko ponovno uporabi v primerih, če je v obstoječo voziščno konstrukcijo vgrajen material bolj odporen proti škodljivim učinkom mraza, oziroma če klimatski pogoji ne pogojujejo dodatnih ukrepov zaradi prodiranja mraza v voziščno konstrukcijo.

Debelina plasti iz reciklirane zmesi z dodanim vezivom na voziščnih konstrukcijah za lahko ali srednjo prometno obremenitvijo znaša v najmanjši debelini 20 cm, na konstrukcijah s težko prometno obremenitvijo pa najmanj 30 cm.

4.3.2.6 Postopki odstranjevanja materiala obstoječih voziščnih konstrukcij

Rezkanje je najpogosteje uporabljeni postopek, ki je v sklopu popravil rednega vzdrževanja cest primeren za delno odstranjevanje krovne plasti asfaltne vozne površine. V sklopu investicijskih ukrepov se izvaja postopek odstranjevanja na večjem delu ceste.

Uporablja se na cestnih odsekih, ki so poškodovani do takšne mere, da jih je nemogoče učinkovito popraviti le s preplastitvami. Uporabi se lahko dva postopka rezkanja in sicer hladno in vroče rezkanje, pri čemer se hladno rezkanje izvaja na poškodbah manjšega obsega. Vroči postopki rezkanja so značilni za obširnejša dela, ko se poškodovano podlago asfaltne zmesi predhodno segreje z grelniki z infrardečimi žarki maksimalno do globine 4 cm. Poškodbo je potrebno razširiti do predpisane širine in globine, odvisno od vrste poškodbe (npr. razpoka, udarna jama, preoblikovanje, poškodbe ob regah, odprti stiki). V primeru, da je globina večja, se v obdelano poškodbo pred zapolnitvijo z novo asfaltno zmesjo vgradi drobljenec. Poškodbe se izrezka v pravokotni ali linijski obliki z ostrimi in visokimi robovi, ki zagotavljajo oporo novo vgrajeni zmesi asfaltne zmesi.

Orodja, ki se pri tem uporabljajo, so toga ali pritrjena vrteča glava, rezalka in jeklena žična krtača, ki s sledečim postopkom izsesavanja poškodovanega materiala učinkovito očisti in ohrablja površino v izrezkani poškodbi.

Postopek s stisnjenim vročim zrakom je način odstranjevanja materiala poškodovane vozne površine, ki se izvaja predvsem za kratkotrajno popravilo širokih razpok. Postopek penetracije se uporablja predvsem za ožje ali lasaste in gostejše razpoke.

Odkop je različica rezkanja, ki obsega popravilo celotne krovne plasti. Poškodovano plast se predhodno ponavljajoče obremenjujejo z odkopnimi ali odkopnimi kladivi. Zdrobljeni material se nato naklada na transportna vozila, zato je potrebna oprema bager, buldožer in nakladalnik. Postopek se uporablja predvsem na deformiranih oziroma preoblikovanih voznih površinah.

4.3.2.7 Zapolnitev

Vsako poškodbo, ki zahteva odstranitev materiala ali ima že sama po sebi primanjkljaj oziroma izrinjen material, je potrebno zapolniti. Izbira zapolnitve je odvisna od stanja podlage in želenega stanja vozne površine. Podlaga in robovi se morajo predhodno pripraviti in sicer po postopnih korakih:

- odstranjevanje odvečnega materiala
- čiščenje pripravljene površine
- gretje in osuševanje površine
- predhodni premaz in enakomerni pobrizg s kationsko bitumensko emulzijo.

Za zapolnitev oziroma zalivanje razpok in stikov se uporablja vroča bitumenska zmes, ki je čim bolj podobna že vgrajeni ali celo boljše kvalitete, drugače nastanejo razpoke; odporna mora biti proti učinkom zmrzovanja. Plitvejšje poškodbe se vedno zaliva naenkrat, medtem ko se globlje poškodbe vedno zaliva postopno v več fazah. Če poškodba seže tudi v nosilno plast, je potrebno sanirati tudi to. Prebitek bitumenske zmesi na območju poškodbe je potreben, saj je potrebno novo vgrajeno zmes zgostiti. V trenutku ko je poškodba zapolnjena, jo je potrebno

posuti s kamnitim drobljenim materialom, tj. kameno moko, drobljenim grobim peskom ali drobirjem.

4.3.2.8 Ohrapljevanje površin ali REGRIP

Postopek ohrapljevanja je postopek za povečanje torne sposobnosti oziroma hrapavosti.

Uporablja se lahko več postopkov. Prvi je hladna strojna obdelava vozne površine z rezkanjem, kjer noži, nameščeni na rotirajočem valju, v kombinaciji s tolčenjem in gnetenjem obdelajo vozno površino. Pri obdelavi površine se odstranijo vrhnji deli obrabne plasti, kjer nastanejo vzdolžni žlebiči globine do 1 mm. Drugi način ohrapljevanja je mehanska obdelava z vodnim curkom, kjer hitro rotirajoča šoba brizga vodo pod pritiskom do 1000 barov. Tretji način za ohrapavljenje je posip in uvaljanje drobirja, kjer se plast predhodno ogreje z infrardečimi žarki in s tem replastificira.

5 LASTNOSTI VOZNIH POVRŠIN

Stanje vozne površine in voziščne konstrukcije se opisuje z različnimi lastnostmi voznih površin, ki se merijo in ocenjujejo na različne načine. Na podlagi meritev in ocen pa se ugotavljajo potrebe po vzdrževanju.

Lastnosti voznih površin so *ravnost*, *torna sposobnost*, *nosilnost*, *hrupnost*, *svetlost* in *vizualne nepravilnosti*, ki so predstavljene v naslednjih poglavjih.

5.1 Ravnost

5.1.1 Značilnosti

Ravnost označuje spremembe na vozni površini, ki nastanejo zaradi preoblikovanja v obliki kolesnic in narivov. Pod lastnost ravnost prištevamo tudi posedanja kot naknadno zgostitev vgrajenih materialov pod prometno obremenitvijo oziroma neenakomerno konsolidacijo, drugače rečeno utrjevanje. Pojavlja se tudi deformacija zaradi staranja, tj. preperevanja in utrujanja materialov.

Imenujemo lahko dva pojma (Žmavc, J., 1997: str. 290), ki predstavljata neravnine, to sta *hrapavost* in *valovitost*, ki zavzemata mikro ali pa makro komponento. *Hrapavost* označujejo ostre konice agregata, ki segajo iz plasti in so med seboj razmaknjene največ do 20kratne višine. Hrapavost je zelo zaželena in potrebna neravnina na voznih površinah, ki pa zaradi svojega minimalnega vpliva na dinamične obremenitve koles vozil (elementi v gostem zaporedju) ni vključena pri obravnavanju ravnosti. *Valovitost* označuje valove, hribe in kotanje različnih globin in dolžin, ki odstopajo od teoretično načrtovanega ravnega prereza. To so zaobljene izbokline, med katerimi je najmanjši razmak 20kratna višina. Sem spadajo prečne in vzdolžne neravnine, ki se posebej obravnavajo. Prečne neravnine se pojavljajo v obliki kolesnic, vzdolžne neravnine pa v obliki narivov oziroma perilnikov, grebenov ipd.

Na neravnine vplivajo lastnosti vgrajenih materialov, netočna izvedba, okoljski vplivi in prometna obremenitev, pri kateri je pomembno upoštevati različne hitrosti vozil, različna vzmetenja (nihanja) vozil ipd. Vse to povzroča znatne spremembe obremenitev večinoma vedno na istem mestu, kar pripomore k povečanju neravnin. Iz tega sledi zmanjšanje varnosti vožnje.

Obremenitev koles vozila je sestavljena iz *statične komponente*, ko se teža vozila v mirujočem stanju porazdeli na kolesa, ter *dinamične komponente*, ko se vozilo premika, pospešuje ali zavira (Žmavc, J., 1997, str. 292). Slednja ustvarja nihanje vozila, kar povzroči dodatne obremenitve in lahko tudi izgubo stika z vozno površino (tj. ko vertikalni pospešek preseže težnostnega), to pa ima za posledico hitrejšo blokado zavrtega kolesa in zmanjšanje zavorne pot ter varnosti. Najpomembneje za voznika je, da prilagodi hitrost voznim razmeram, kajti vpliv frekvence nihanja je odvisen od hitrosti vožnje in dolžin neravnin ter vpliva na varnost, udobnost in gospodarnost vožnje ter na trajnost konstrukcije

Neravnine (makro ravnost) pripomorejo k zastajanju vode ob deževju, kar je zelo nevarno pri vožnji. Zaradi tega se pri načrtovanju voznih površin neravninam poskušamo po najboljših močeh izogniti, vendar teoretična ravnost ni nikoli enaka praktični, zato se preverja in redno izvaja meritve neravnin. V ta namen se uporabi vrednotenje ravnosti določene vozne površine in ocena, ki nam pove, kolikšne neravnine imajo z ozirom na hitrost vožnje na uporabnost vozne površine pomembnejši vpliv. To pomeni, da stroške in zahtevo po deležu ravne vozne površine optimiziramo.

Ravnost se meri v različnih smereh, in sicer v vzdolžni in prečni ter v poljubni smeri glede na os vozne površine, saj je njihov vpliv na vožnjo različen. Navadno so neravnine v prečni smeri ugotovljene šele po vgradnji s pomočjo ustreznih merilnih naprav. Ugotavlja se naslednje značilne oblike neravnin: povišanje (greben, grbine, nariv, guba), poglobitev (kadunja, jama, žleb, rega), kombinacija prvih dveh (valovi, perilnik, izbočenje, izbočenje), stopnja in pregib.

Merilne naprave za ugotavljanje neravnin na vozni površini so lahko statične ali pa dinamične. Po tehnični specifikaciji za javne ceste Republike Slovenije (Lastnosti voznih

površin – Ravnost, 2003) se je s soglasjem ministra uveljavila uporaba predvsem statičnih merilnih naprav, kot so merilne letve in stabilni profilografi z grafičnim zapisom ter prevozni profilometri, ki imajo značaj dinamične merilne naprave. Vsa oprema za merjenje ravnosti mora biti po ustreznem postopku umerjena in opremljena z ustreznim certifikatom. Pred meritvam z merilnimi napravami je potrebno vozno površino skrbno očistiti tujkov, ki bi lahko ovirali točnost meritev.

Pred izvajanjem meritev moramo poskrbeti, da je tudi letev sama očiščena vseh tujkov. Naslednji korak je dokumentiranje meritve, ki mora vsebovati:

- mesto meritve (številka ceste, stacionaža, prometni pas, vrsta plasti)
- datum meritve
- uporabljena merilna oprema (vrsta in značilnosti)
- način meritev (prečno, vzdolžno ali poljubno)
- rezultat meritev (največja odstopanja ravnosti).

5.1.2 Prečna ravnost

Med prečne neravnine na vozišču spadajo kolesnice, ki so posledica obremenjevanja s kolesi vozil. Za ugotavljanje prečne ravnosti se meri razlika višin leve in desne kolesnice, višina grebenov in globina žlebov kolesnic ter globino zastajanja vode. Meritve prečne ravnosti se izvaja z merilno letvijo s klinom in profilografom.

5.1.2.1 Merilne naprave

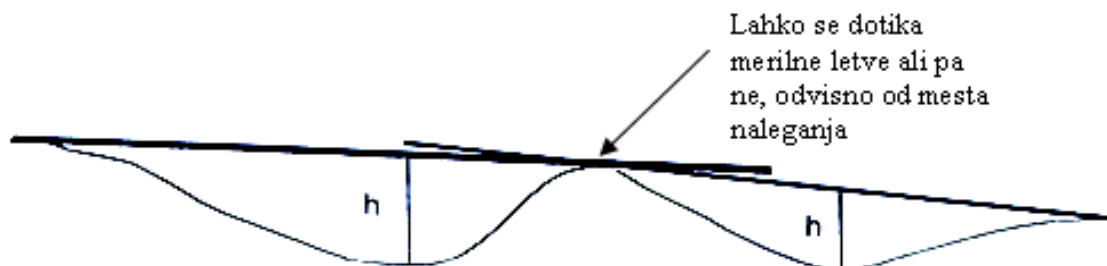
5.1.2.1.1 Merilna letev s klinom

Merilna letev s klinom je glede na uporabnost lahko različnih dolžin: od 2 m za merjenje globine zastajanja vode v kolesnicah, do 8 m za merjenje vzdolžne ravnosti. Najpogostejša dolžina znaša 4 m. Merilni klin, ki se ga uporablja v povezavi z merilno letvijo, vstavimo pod letev med dvema naležnima točkama ali pa na koncu merilne letve. Z njim ugotovimo največji odmik merilnega roba letve od merjene površine.

Ustrezni materiali, ki se porabljajo za letev, so zdrav les s kovinskim obodnim robom, lahka kovina ali umetni material. Sredina merilne letve mora biti označena. Pravokoten prerez mora znašati vsaj 25 mm v širino, ki zagotavlja primeren odpornostni moment.

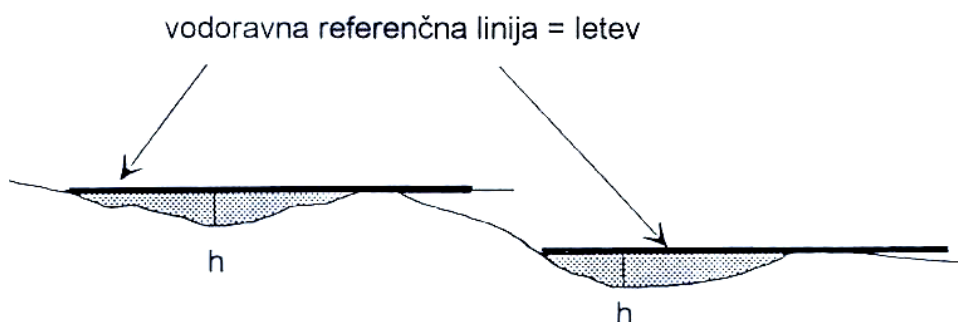
Merilni klin je navadno kovinski, dimenzije 300 / 25 do 35 mm. Nagib merilne ploskve mora znašati 10 do 15 stopinj, sama merilna plošča pa mora biti označena z merilom za višino oziroma globino v mm. Umerjena ravnina merilnega robu in merilne ploskve mestu lahko največ odstopa za $\pm 0,5$ mm.

Merilno letev položimo tako, da vsaj na dveh mestih dobro nalega. S tem se merijo odstopanja obstoječega prereza od načrtovanega (spodnja slika).



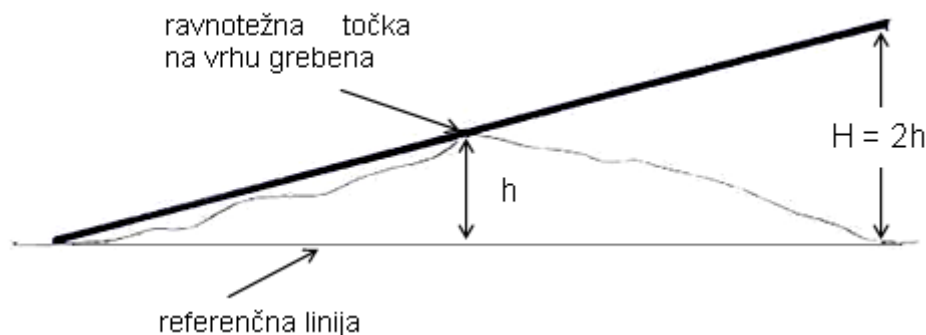
Postavitev merilne letve za določitev odstopanja posameznih neravnin globine h na vozni površini
(Lastnosti voznih površin – Ravnost, 2003: str. 7)

Pri meritvi globine zastajanja vode v kolesnicah se uporabljajo krajše merilne letve, in sicer mora biti vodoravno primerno postavljena. Na površino mora nalegati v dveh točkah, tako lahko določimo globino h (naslednja slika).



Postavitev krajše letve za določanje globine zastajanja vode v kolesnicah (Lastnosti voznih površin – Ravnost, 2003: str. 8)

Pri merjenju grebena pa mora sredina merilne letve nalegati na vrh grebena, ena stran letve je na vznožju grebena, drugi del letve pa je dvignjen na dvakratno višino grebena (slika v nadaljevanju).



Postavitev merilne letve za določitev višine grebena h (Lastnosti voznih ... – Ravnost, 2003: str. 8)

Pri meritvi poseda robov, ki se navadno izvaja pri novozgrajenih voziščih, mora biti dvignjena stran letve povezana z robom.

5.1.2.1.2 Profilograf

Profilograf je zapisovalnik z grafičnim zapisom, ki se uporablja za prečno in vzdolžno merjenje.

Sestavlja ga merilna letev s stopaloma in oprema za grafični zapis. Letev je navadno iz zdravega lesa, katerega površina mora biti ravna in gladka za primerno nalaganje na površino in nemoteno vodenje opreme za grafični zapis. Stojali, ki pritrjujeta merilno letev na podlago sta kovinski in morata zagotavljati stalno višino površine letve. Stojali omogočata statično meritev ali dinamično, saj so nanje lahko pritrjena kolesca.

Grafični zapisovalnik je sestavljen iz drsnega tipala (merilno kolo) vozne površine, ki je pritrjen na prenosno ročico s pisalom in z njim riše registriran profil na valj. Ta grafični zapis se imenuje profilogram in riše v merilu višin 1:1 in v merilu dolžin 1:25. Oprema za grafični zapis mora biti dovolj natančna: napaka je lahko največ $\pm 1\text{mm}$ v višino in $\pm 5\text{mm}$ v dolžino.

Poligraf prečnega prereza se postavi na površino letve, postavljene v prečni smeri vozišča. Oprema se počasi premika po letvi in hkrati zaznava z merilnim kolesom vsako odstopanje ravnosti, ki se riše na registrirni valj v obliki grafičnega zapisa.

5.1.2.2 Kriteriji za oceno prečnih ravnin

Izmerjene vrednosti odstopanj ravnosti vozne površine je pri postopkih prečnega merjenja je potrebno navesti za vsak vozni pas posebej, in sicer na enoto dolžine ter zaokrožiti na milimeter. Na osnovi predpisanih mejnih in izmerjenih vrednosti odstopanj ravnosti se določijo osnove za obračun.

Meritve prečne ravnosti se izvaja na vsakih 100 m na homogenem odseku, dolgem vsaj 300m. Povprečna vrednost največjih odčitkov je merodajna ocena. Mejne vrednosti prečnih neravnin, tj. mejne vrednosti globin kolesnic, za oceno uporabnosti voznih površin prikazuje spodnja preglednica.

Mejne vrednosti prečne ravnosti za oceno uporabnosti vozne površine na obstoječih cestah glede na velikost neravnin h v mm (Lastnosti voznih površin – Ravnost, 2003: str. 10)

Razvrstitev prometa	Ocena stanja				
	zelo dobro	dobro	mejno	slabo	zelo slabo
- srednja ali večja gostota (PLDP > 2000 vozil) in srednja ali težja prometna obremenitev (> 80 NOO 82 kN/dan)	< 6	6 do 10	10 do 14	14 do 18	> 18
- majhna gostota (PLDP do 2000 vozil) in lažja prometna obremenitev (do 80 NOO 82 kN/dan)	< 8	8 do 12	12 do 16	16 do 20	> 20

Kolesnice se pojavljajo predvsem na tistem voznem pasu, kjer je promet najtežji. Velika nevarnost za voznika je zastajanje vode v njih, kar je odvisno od njihove globine. V ta namen so predpisane mejne in skrajne mejne vrednosti globin zastajanja vode za upoštevanje hitrost vozila 70 km/h (naslednja preglednica).

Mejna in skrajna mejna vrednost globin zastajanja vode h_m in h_{sm} v kolesnicah (Lastnosti voznihi površin – Ravnost, 2003: str. 11)

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

5.1.2.3 Praktični primer

Preglednica 5.1: Globina kolesnic voznega pasu na severni ljubljanski obvoznici

Element ID	Globina kolesnic voznega pasu [mm]		Element ID	Globina kolesnic voznega pasu [mm]	
	po zadnjih meritvah (2005)	v trenutnem letu (2007)		po zadnjih meritvah (2005)	v trenutnem letu (2007)
0014_0	0	1	0090_1,25	0	1
0014_0,22	0	1	0090_1,72	0	1
0014_1,3	16	17	0614_0	10	11
0015_0	0	1	0614_0,3	10	11
0015_0,3	0	1	0614_0,6	10	11
0015_1,2	0	1	0614_1,5	14	15
0015_1,6	0	1	0615_0	0	1
0085_0	0	1	0615_1,2	0	1
0085_0,6	0	1	0685_0	0	1
0086_0	0	1	0685_0,6	0	1
0086_0,5	0	1	0686_0	0	1
0088_0	0	1	0688_0	0	1
0088_0,3	0	1	0688_0,4	0	1
0088_0,95	0	1	0688_0,65	0	1
0089_0	0	1	0688_1,02	0	1
0089_0,32	0	1	0689_0	0	1
0089_0,84	0	1	0689_0,3	0	1
0089_0,95	0	1	0689_1,15	0	1
0089_1,55	0	1	0689_1,6	0	1
0089_2,1	0	1	0689_2,1	0	1
0090_0	0	1	0690_0	0	1
0090_0,25	0	1	0690_0,25	0	1
0090_0,4	0	1	0690_0,4	0	1
0090_0,7	0	1	0690_1,34	0	1

Z upoštevanjem preglednice na strani 47 »Mejne vrednosti prečne ravnosti za oceno uporabnosti vozne površine na obstoječih cestah glede na velikost neravnin h v mm« in gostote prometa, ki je na severni ljubljanski obvoznici izredno velika (preglednice 6.3), je v

trenutnem letu stanje ceste zelo dobro, saj globina kolesnic ne presega 6 mm oziroma znaša 1 mm. Preglednica 5.1 prikazuje, da je odsek, označen z rumeno in tudi oranžno barvo, tj. Kozarje-Brdo (del odseka 0014 in odsek 0614), v mejnem in tudi slabem stanju. To pomeni, da bo potrebno tu kmalu izvesti sanacijo vozne površine. Homogenih odsekov, ocenjenih z zelo slabim stanjem, v trenutnem letu ni.

Zadnje meritve globin kolesnic so bile izvedene leta 2005. Za oceno stanja se upoštevajo trenutne vrednosti rezultatov (v letu 2007), ki se od prejšnjih razlikujejo glede na model spreminjanja globine kolesnic (poglavje 6.1.2).

5.1.3 Vzдолžna ravnost

Vzdolžne neravnine so preoblikovanja vozne površine, ki nastajajo v vzdolžni smeri ceste. Ugotoviti je potrebno dejanski vzdolžni profil vozne površine ter prekomerne razlike med načrtovanim in dejanskim profilom. Meritve vzdolžne ravnosti se lahko izvajajo z merilno letvijo s klinom ali progilografom, predvsem pa s profilometrom.

5.1.3.1 Merilne naprave

5.1.3.1.1 Merilna letev s klinom in profilograf

Merilna letev je navadno dolžine 8 m in mora nalegati v dveh točkah, kot je opisano pri merjenju z merilno letvijo v prečni smeri. Pri vzdolžni meritvi ravnosti se navadno odsek meritve predhodno prevozi z vozilom. Merilna letev se mora postavljati tako, da je zagotovljen preklap polovice dolžine letve.

Profilograf se enako kot pri merjenju prečne ravnosti uporablja tudi za merjenja vzdolžne ravnosti. Vsako nepravilnost, ki je prikazana grafično s profilogramom, je potrebno obdelati z ustrežno računalniško opremo, ki ločeno določi presežna mejna in skrajna mejna odstopanja in njihovo dolžino.

5.1.3.1.2 Profilometer

Profilometer je sodobnejša oprema, ki je namenjena merjenju vzdolžne ravnosti vozne površine in jih poznamo več vrst. Prednost takšne opreme je uporabnost v prometnem toku (dinamična meritev), saj lahko doseže hitrost od 40 do 120 km/h, pri tem pa je omogočen digitalni zapis ravnosti.

Standardno osebno vozilo lahko ima na vzmeteni masi pritrjen merilnik vertikalnih pospeškov. Oprema registrira tako kratke in srednje kot tudi dolge valove (dolžine valov od 0,8 do 30 m), interval vzorčenja znaša do 10 cm, točnost merjenja razdalje je $\pm 0,3\%$. Največja napaka digitalnega zapisa je lahko ± 1 mm.

Meritve s profilometrom izvaja voznik, ki mora imeti na posebnem panelu prikazovalnik prevožene poti v metrih in hitrost vožnje v km/h. Merilniki profila in poti morajo biti ustrezno umerjeni. Za označevanje značilnih točk na ali ob cesti so potrebni trije signali, ki so lahko zabeleženi na posebnem kanalu prenosnega računalnika (skupaj s časovnim merilom za kontrolo hitrosti vožnje).

Postopek meritve zahteva ustrezno računalniško vodeno programsko opremo. Računalnik v pripravljenem stanju zajema podatke, ki jih dobiva med vožnjo. Zagotoviti je potrebno primerno hitrost vožnje, ki je odvisna od značilnosti ceste. Vozilo se mora premikati po sredini voznega pasu, da zavzame podatke v čim večjem obsegu.

5.1.3.2 Kriteriji za oceno

Z merjenji vzdolžne ravnosti se ugotavlja število odstopanj in njihovo dolžino. Ocena meritev se opredeljuje na osnovi indeksa IRI (International Roughness Index) za določeno dolžino oziroma povprečno za merjeni odsek.

Indeks IRI je določen glede na gostoto prometa (PLDP) in prometne obremenitve (nazivna osna obremenitev – NOO = 82 kN). Račun indeksa mora potekati po algoritmu Svetovne banke, ki je izpeljan za gibanje modela četrtine vozila po izmerjeni vozni površini. Določi se

ga kot povprečno vrednost vseh nagibov vzdolžnega prereza v posameznih točkah glede na prejšnjo točko. Z njegovo pomočjo se opredeli raven ali nivo uporabnosti vozišča (sledеča preglednica). Vrednosti indeksa določamo na homogenih 50 m dolgih odsekih kot tudi na celotnem 100 m dolgem homogenem odseku (IRI_{100}).

Mejne vrednosti indeksa vzdolžne ravnosti IRI_{100} za oceno uporabnosti vozne površine na obstoječih cestah (Lastnosti voznih površin – Ravnost, 2003: str. 11)

Razvrstitev prometa	Ocena stanja				
	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

5.1.3.3 *Praktični primer*

Primerjava preglednice z naslovom »Mejne vrednosti indeksa vzdolžne ravnosti IRI_{100} za oceno uporabnosti vozne površine na obstoječih cestah«, ki se uporablja za oceno stanja vozne površine glede na vzdolžno ravnost, in rezultatov iz preglednice 5.2 kažejo, da je le celoten odsek Brdo-Kozarje v smeri proti Primorski (0015) v zelo dobrem stanju (obarvan z zeleno, kar pomeni, da je ocena IRI manjša od 1,2). Nekaj homogenih odsekov, ki so obarvani z modro, se pojavlja tudi v dobrem stanju (vrednost IRI od 1,2 do 1,5), večina pa jih je v mejnem stanju (IRI od 1,5 do 2,2). Na nekaterih homogenih odsekih, ki so v razpredelnici 5.2 obarvani z oranžno in predstavljaj slabo stanje, bi bilo potrebno izvesti že sanacije, npr. Koseze-Brdo v obe smeri (0014 in 0614), Tomačevo-Dunajska (0688) in Celovška-Koseze (0090 in 0690).

Za oceno ravnosti vozne površine se upoštevajo trenutni rezultati (2007), prikazani v obarvanem stolpcu preglednica 5.2. Ti rezultati izhajajo iz vrednosti zadnjih meritev, ki so bile izvedene leta 2005 in so določene v skladu z modelom napredovanja vzdolžne neravnosti (poglavje 6.1.3).

Preglednica 5.2: Vzdolžna ravnost

Element ID	Vzdolžna ravnost IRI		Element ID	Vzdolžna ravnost IRI	
	po zadnjih meritvah (2005)	v trenutnem letu (2007)		po zadnjih meritvah (2005)	v trenutnem letu (2007)
0014_0	2,42	2,67	0090_1,25	1,87	2,09
0014_0,22	2,29	2,53	0090_1,72	2,02	2,25
0014_1,3	2,49	2,75	0614_0	1,73	1,94
0015_0	0,50	0,50	0614_0,3	1,67	1,87
0015_0,3	0,50	0,50	0614_0,6	2,06	2,29
0015_1,2	0,50	0,50	0614_1,5	2,24	2,49
0015_1,6	0,50	0,50	0615_0	1,95	2,17
0085_0	1,42	1,60	0615_1,2	1,27	1,43
0085_0,6	1,43	1,62	0685_0	1,69	1,89
0086_0	1,75	1,96	0685_0,6	1,48	1,67
0086_0,5	1,37	1,55	0686_0	1,39	1,57
0088_0	1,43	1,61	0688_0	1,42	1,60
0088_0,3	1,70	1,91	0688_0,4	2,50	2,76
0088_0,95	1,72	1,93	0688_0,65	2,13	2,37
0089_0	2,04	2,27	0688_1,02	1,52	1,71
0089_0,32	1,88	2,10	0689_0	1,61	1,81
0089_0,84	1,97	2,20	0689_0,3	1,19	1,35
0089_0,95	1,67	1,88	0689_1,15	1,33	1,50
0089_1,55	1,66	1,86	0689_1,6	1,19	1,35
0089_2,1	1,75	1,96	0689_2,1	1,24	1,40
0090_0	1,87	2,09	0690_0	1,57	1,77
0090_0,25	2,00	2,23	0690_0,25	2,12	2,36
0090_0,4	1,57	1,77	0690_0,4	2,23	2,48
0090_0,7	2,17	2,41	0690_1,34	2,39	2,65

5.2 Torna sposobnost

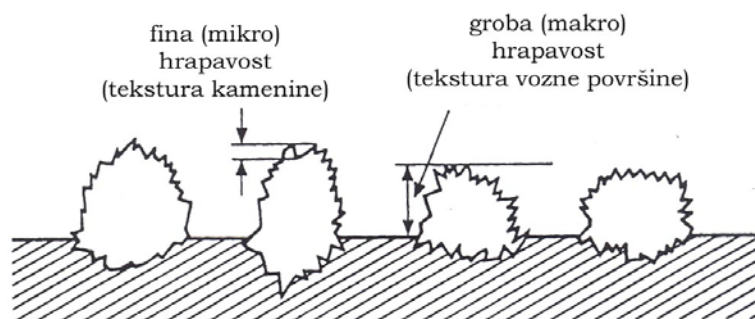
5.2.1 Značilnosti

Torna sposobnost je močno povezana z varnostjo vožnje, zato je pomembno vedeti, kaj vpliva na to lastnost, v kolikšni meri jo lahko zadovoljimo in kako se s časom spreminja.

Torna sposobnost je odvisna od kakovosti različno uporabljenih materialov in drobne oblikovanosti (hrapavosti). Zelo težko je napovedati njeno spreminjanje, ki je odvisno od nedoločljivih prometnih in vremenskih vplivov. Na primer: mokre vozne površine imajo

drugačne lastnosti kot suhe, pri čemer se torna sposobnost zmanjša, s tem pa tudi sila trenja (koeficient drsnega trenja) in oprijemljivost med pnevmatiko in vozno površino.

Zakavljenje pnevmatike na elemente hrapavosti poveča torna sposobnost, pri tem pa upoštevamo dve vrsti hrapavosti; *fina* in *groba hrapavost* določata teksturo kamnine in vozne površine (spodnja slika). Zrna morajo imeti ostre robove, konice in površinsko ostrino, z drenažnim sistemom pa omogočati nastanek sile trenja med pnevmatiko in mokro vozno površino.

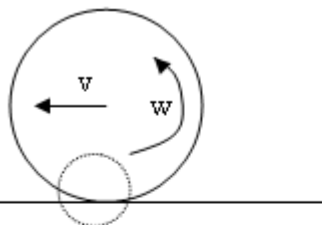


Značilna vpliva na torna sposobnost vozne površine ali fina in groba hrapavost (Žmavc, J., 1997: str. 301)

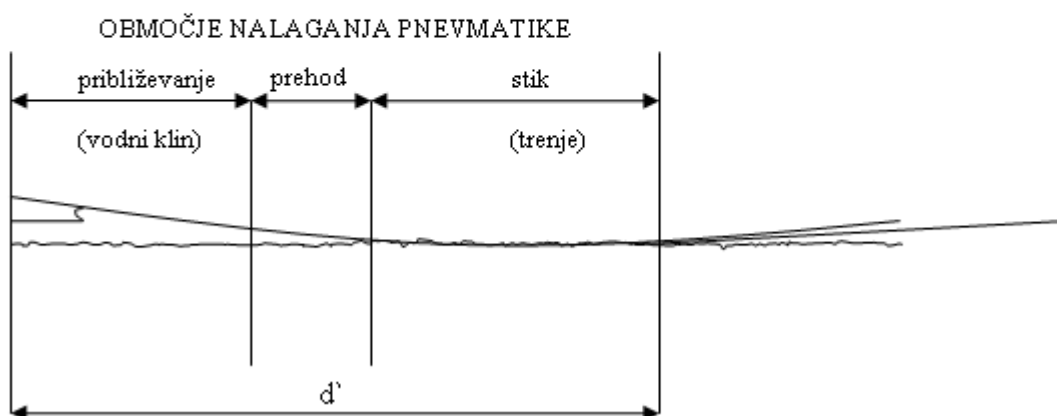
Učinek drenažnega sistema ali hidravlična hrapavost je zagotovljena, če je vozna površina dobro razčlenjena in je vodi zagotovljenih dovolj ubežnih poti ter čimmanj ovir odvodnjavanja naležne površine pnevmatike. Učinek je odvisen od seganja zrna iz obrabne plasti (hrapavost) ter od oblike (ostrorobost) in velikost teh zrn. Pri projektiranju obrabne plasti je zato potrebno zagotoviti primerno zrnastostno sestavo ter primerne primesi (ostroroba zrna in zadostna velikost). Velik vpliv pa ima tudi hitrost, saj pri velikih hitrostih lahko pnevmatika izgubi stik z vozno površino, na primer zaradi prepočasnega iztekanja vode z naležne površine. *Hidroplaning* (Žmavc, J., 1997: str. 303) nastane zaradi kopičenja vode oziroma zaradi njene viskoznosti in gostote. Z naraščanjem hitrosti se spreminjajo drsne karakteristike in sicer se zmanjšuje trenje in povečuje drsenje po podlagi. Naleganje pnevmatike na vozno površino povzroča izrivanje vode in vzpostavitev suhega stika s površino (naslednja slika), kar velja za vozne površine z veliko torna sposobnost. Čas naleganja pnevmatike na vozno površino določimo z enačbo 5.1 (Žmavc, J., 1997: str. 303).

$$t_n = \frac{d'}{v/3,6}$$

enačba 5.1



d' dolžina naležne površine pnevmatike v cm
 v hitrost vozila v km/h
 $v = r * w$ (kotaljenje brez podrsavanja)
 r polmer kolesa
 w kotna hitrost



Nalaganje pnevmatike na vozno površino (povzeto po: Žmavc, J., 1997: str. 304)

Osnovni pogoj za premik telesa je *trenje* (Žmavc, J., 1997: str. 306), to je sila, ki nastane med pnevmatiko in vozno površino v času premikanja vozila. Od spremenljivih dejavnikov, kot so hitrost vožnje, temperature ter značilnosti vozne površine in filma vode, na njej lahko ločimo tri tipe trenja: adhezijsko, histezno in trenje zaradi zazobljenja in iztrganja pnevmatike s površine. Adhezijsko trenje nastane zaradi pritiskanja pnevmatike na površino vozišča (stikanje dveh materialov) in pri tem nastanejo strižne napetosti, ki povzročijo velike molekularne sile. Te se združijo v skupno adhezijsko silo trenja. Pnevmatika se nato preoblikuje na račun vtiskanja grobih elementov hrapavosti in tako izgublja energijo. Sledi iztrganje pnevmatike s površine, pri čemer se le ta obrablja. Histezno trenje nastane zaradi zaostale deformacije gume, ki postane trša, trenje pa je zato večje.

Oprijemljivost (Žmavc, J., 1997: str. 308) med pnevmatiko in vozno površino navadno opišemo s količnikom trenja, ki je odvisen od obsega zdrsa med pnevmatiko in vozno površino. Določajo jo različni vplivi, ki dajejo vozni površini označbo varnosti. Ti vplivi so

hitrost vožnje, zdrs, drsenje, značilnosti pnevmatike, značilnosti medija med pnevmatiko in vozno površino ter razpored napetosti med površino pnevmatike in voziščem oziroma torna sposobnost površine.

Na torno sposobnost močno vpliva tudi onesnaženost vozišča. Delci nesnage, oljne snovi in emulzije zmanjšajo torno sposobnost in povečujejo spodrsavanje, saj material zapolni potrebne prostore med zrnji na vozni površini. Ta zato izgubi svoj namen. Delci nesnage imajo sposobnost na površini vezati veliko količino vode, ki se zato dalj časa zadrži na podlagi in tvori debelejšje plasti nesnage med pnevmatiko in vozno površino. Vozno površino se stabilizira tako, da se jo spira in počisti delce.

Meritve torne sposobnosti morajo biti prilagojene kritičnim razmeram na vozni površini. Na hitrih cestah, kjer obstaja nevarnost hidroplaninga, morajo biti meritve izvršene z večjimi merilnimi hitrostmi, na cestah z omejeno hitrostjo pa je priporočljiva merilna hitrost enaka omejeni hitrosti vožnje.

Za ugotavljanje torne sposobnosti se izvajajo meritve odpora proti drsenju (sila trenja med podlago in pnevmatiko) in meritve globine hrapavosti vozne površine, pri čemer se lahko uporablja več načinov meritev: posredne in neposredne meritve. Posredne meritve s postopki zapolnitve por, odtisi s folijami, s stereo posnetki, z merjenjem časa iztoka in podobno. Neposredne meritve se lahko izvajajo v laboratoriju ali pa na terenu z dinamičnimi oziroma statičnimi napravami ter ugotavljanjem učinkov hrapavosti. Temeljijo na porabi energije zaradi sile trenja oziroma na meritvah sile trenja.

Vsaka meritev mora biti dokumentirana s podatki, kot je opisano v tehnični specifikaciji (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 7):

- mesto meritve (označba ceste, stacionaža, prometni pas in mesto na njem, vrsta plasti)
- datum meritve
- uporabljena merilna naprava oziroma pribor (vrsta in značilnosti)
- vremenski pogoji med meritvijo
- rezultati meritve za merilno mesto ali odsek
- značilnosti merilnega odseka (krivine, vzponi in priključki).

5.2.2 Merilne naprave

Na rezultate meritev torne sposobnosti vplivajo številni med seboj povezani vplivi kot so vpliv voznika, vozila, vmesnega filma, vozišča in vremena. Zaradi navedenih vplivov merjene torne sposobnosti ni mogoče upoštevati kot neposredno primerljive, zato meritve omejujemo na določeno

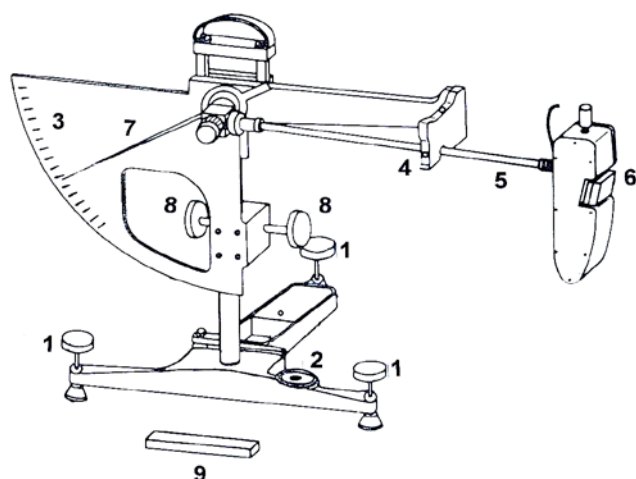
- vrsto trenja
- vrsto pnevmatik
- kolesno obremenitev
- predhodno pripravo vozne površine
- intenziteto in način omočenja vozne površine pred merilnim kolesom
- merilno hitrost.

Merilne naprave in pribor morajo zagotavljati točnost registracije odpora proti drsenju v grafičnem ali digitalnem zapisu, ponovljivost uporabe in trajnost zapisa. Prav tako morajo biti pravilno umerjene na predpisani postopek uporabe in opremljene s certifikatom.

Zelo pomembno je, da ves čas poteka meritev zagotovimo varnost delovne skupine in udeležencev v prometu.

Merilno napravo je potrebno postaviti na predhodno očiščeno, reprezentativno mesto za celotno vozno površino (homogeno in brez poškodb).

Nihalo SRT (Skid Resistance Tester) je oprema za preskušanje torne sposobnosti, ki zaznava odpor površine proti drsenju, pri čemer je napaka ± 1 enota SRT. Naprava mora biti redno pregledana, njena funkcionalnost mora biti preverjena in ustrezno kalibrirana. Redno pri tem pomeni po določenem številu meritev (1000 do 1300 merilnih mestih) oziroma najmanj vsako leto. *Nihalo SRT* se navadno uporablja za merjenje na cestah, ki imajo omejeno hitrost do 60 km/h. Sestavo naprave prikazuje na sliki pod tekstom.



Legenda:

- ogrodje s
 - pritrjenimi ležišči za tri nožice - vijake (1) in libelo (2) za nastavitev vodoravnosti,
 - ploščo z merilno skalo (v enotah SRT) (3) in
 - konzolo z gumbom (4) za zaklop in sprostitvev nihalne ročice (5),
 - nihalna ročica z glavo z gibljivo vpeto merilno gumico (6),
 - merilni kazalnik (7),
 - vijak – polž (8) za nastavitev višine sklopa ležišča nihalne ročice in plošče z merilno skalo,
 - merilo (9) za nastavitev dolžine drsenja merilne gumice.

Nihalo SRT (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 6)

Pred uporabo naprave je potrebno

- priskrbeti potrebni pribor, ki se uporablja pri postopkih merjenja (posoda z vodo, priročna steklenica oziroma plastenka za vodo z brizgalko, mehka ščetke, termometer in prenosni stol)
- preveriti starost merilne gumice (primerno vzdrževane in uskladiščene so uporabne le tri leta)
- preveriti obrabo merilne gumice (uporabne so le, če je rob obrabljen 1 do 3 mm; na novi merilna gumica je potrebno zagotoviti primeren merilni rob s 5 zdrsi na suhi in 25 zdrsi na mokri vozni površini)
- naoljiti polsteni ležaj merilnega kazalca
- skladiščiti napravo v suhem prostoru.

Merilna naprava se postavi na reprezentativno mesto vozne površine tako, da je nihajna ročica z merilno gumico usmerjena v smer prometa. Merilno napravo se postavi na tri nogice s pomočjo nastavljivih vijakov in libelo. Merilno mesto je potrebno namočiti, v bližini pa ustvariti majhno lužo vode, v kateri je potrebno meriti temperaturo.

Meritve z nihalom SRT pričnemo tako, da najprej sprostimo zaklop na konzoli merilne naprave in tako nihalo zaniha. Merjeni poskusi se izvajajo na 5 merilnih mestih oddaljenih med seboj od 5 do 10 m. Pri vsaki meritvi je potrebno ročico zadržati v skrajni točki nihanja,

da lahko vrednost SRT odčitamo na merilni skali. Meritve je potrebno po enakem postopku ponoviti, če se rezultati petih meritev razlikujejo za več kot 3 enote SRT, toliko časa, da razlika zadnjih treh ne preseže 2 enot SRT. Prav tako merjenje ponovimo, če dolžina drsenja merilne gumice odstopa od določene.

Po izvedenih meritvah se izmeri temperatura ustvarjene luže, ki naj bi znašala med 10°C in 30°C (izjemoma med 5 °C in 40 °C). Če je temperatura znotraj tega območja, njen vpliv korigiramo s korekcijskim faktorjem vpliva temperature k_T (naslednja preglednica in enačba 5.2; Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 9), če pa je izven območja, postopek merjenja z nihalom SRT ni primeren.

$$SRT_{mok} = SRT_{mo} + k_T \quad \text{enačba 5.2}$$

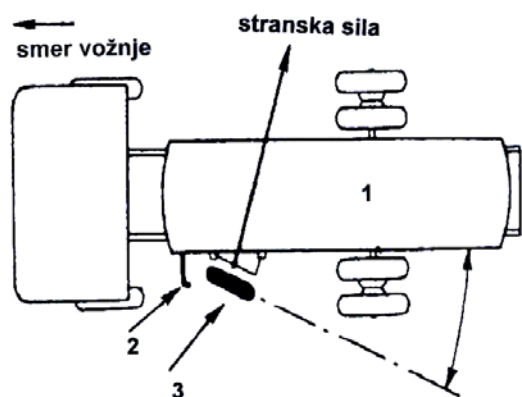
Korekcijske vrednosti zaradi vpliva temperature mokre vozne površine na odpor proti drsenju
(Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 9)

Temperatura mokre vozne površine (°C)	Korekcijska vrednost k_T (enota SRT)	Temperatura mokre vozne površine (°C)	Korekcijska vrednost k_T (enota SRT)	Temperatura mokre vozne površine (°C)	Korekcijska vrednost k_T (enota SRT)
5	-5,0	17	-0,8	29	1,9
6	-4,7	18	-0,5	30	2,0
7	-4,3	19	-0,3	31	2,1
8	-3,9	20	0	32	2,3
9	-3,5	21	0,2	33	2,4
10	-3,0	22	0,5	34	2,5
11	-2,7	23	0,8	35	2,6
12	-2,4	24	1,0	36	2,7
13	-2,0	25	1,2	37	2,8
14	-1,7	26	1,4	38	2,8
15	-1,4	27	1,6	39	2,9
16	-1,1	28	1,8	40	3,0

Naprava *SCRIMTEX* (Side-way force Coefficient Routine Investigation Machine –Texture) je merilno vozilo oziroma prikolica, ki se uporablja za merjenje torne sposobnosti in je prikazana na naslednji sliki. Naprava je primerna za merjenja odpora proti drsenju, razen če

na vozišču nastane veliko vode. Z napravo se lahko meri tudi globina profila vozne površine po navodilih proizvajalca. Uporablja se na cestah, kjer so dovoljene tudi večje hitrosti vozila.

Za napravo so določeni standardizirani pogoji, ki jih predpisuje Tehnična specifikacija za javne ceste (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003).



Legenda:

- 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.

Merilna naprava SCRIMTEX (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 6)

Pred vsako uporabo merilne naprave je potrebno:

- vizualno pregledati platišča pnevmatike na merilnem kolesu; ko opazimo prvi kambas (plast pod gumo), pnevmatika ni več uporabna
- vizualno pregledati mehanske dele krmilnega mehanizma (tj. drsni ležaj merilnega kolesa, blažilnik na blažilni plošči, okvir)
- pregledati inštalacije za dovod vode (ventili), za elektriko (krmilniki in nastavitve) in za zrak (filtri)
- nastaviti referenčne napetosti na elektronskih komponentah in preveriti ustreznost delovanja programske opreme
- izvesti kalibracijo in pregled, ki jih priporoča proizvajalec.

Večkrat dnevno je potrebno preveriti merilne naprave za meritve globine hrapavosti, kot je očistiti optiko ob izključeni napravi, nastaviti višino laserja in dobro zatemniti merilni prostor.

Merjeno vozno površino je potrebno očistiti oziroma sprati z vodo iz cisterne. Pnevmatike morajo biti ustrezno skladiščene, med daljšimi premori meritev se snamejo iz vozila, v uporabi so največ 2 leti, nove pa se morajo najprej uvoziti na najmanj 2 km dolgem odseku.

V računalnik je potrebno vnesti vse podatke o merilnem odseku in o poteku meritve, nato se merjenje lahko prične. Pomembno je, da merilno vozilo vzdržuje predpisano hitrost na vsej poti merjenja od začetka do konca merjenega odseka.

Meritve odpornosti proti drsenju se izvajajo na vsakem merilnem odseku dvakrat. Poleg tega se izvajajo še meritve globine profila vozne površine in sicer na vsakem 30 cm odseku in so izražene v mm.

Programska oprema po zaključku merjenja poda tabelaričen izpis drsnega števila SN in globine hrapavosti za izbrane pododseke ter grafični prikaz rezultatov meritev. Temperatura vozne površine v času merjenja mora znašati 20°C, v drugem primeru je potrebno rezultate meritev korigirati.

Pribor za merjenje globine hrapavosti po postopku zapolnitve s peskom sestavlja valjasta posoda določene prostornine, fin in srednji naravni pesek zrnastne sestave 0,125/0,25 mm ali pa 0,25/0,5 mm, gumijasto ravnilo za razprostiranje peska, merilo za določitev velikosti premera razprostrtega peska in termometer.

Pri merjenju premera razprostrtega peska je lahko največji odstop ± 5 mm. Postopki s to opremo dajejo informativno oceno primernosti vozne površine za večje hitrosti.

Postopek meritve temelji na določitvi povprečne globine prostorov pod nivojem hrap na površini, kjer so ti prostori zapolnjeni z vnaprej določeno količino naravnega peska. Postopek razdelimo na tri korake. Prvi korak je iztros določene količine peska iz merilne valjaste posode na vozno površino. Nato poteka razgrinjanje peska z gumijastim ravnilom v obliki kroga. Pesek mora zapolnjevati prostore na površini do konic hrap. Zadnji korak je izmera premera kroga peska D v štirih smereh. Postopek meritve je potrebno ponoviti naknadno na štirih mestih, ki so med seboj oddaljena približno 5 m, rezultate pa vpisati v posebno izdelane

obrazce za meritve globine hrapavosti. Iz znane prostornine razgrnjenega peska V in izmerjenega povprečnega premera razgrnjenega kroga D_p se določi povprečno globino hrapavosti h_h po enačbi 5.3 (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 11):

$$h_h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_p^2} \quad \text{enačba 5.3}$$

5.2.3 Kriteriji za ocenjevanje stanja voznih površin

Ta pojem predstavlja določitev odsekov, kjer je torna sposobnost manjša od mejne vrednosti. Vrednosti torne sposobnosti se merijo na homogenih odsekih, ki se opredelijo s pogojem količnika variacije k_v , ki se določi z enačbo 5.4 (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 9):

$$k_v = \frac{s}{\overline{SN}} \leq 0,35 \quad \text{enačba 5.4}$$

s standardni odklon vrednosti SN določen po enačbi 5.5 (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 12):

$$s = \sqrt{\frac{SN^2 - \overline{SN} \sum SN}{n - 1}} \quad \text{enačba 5.5}$$

n število homogenih odsekov

\overline{SN} povprečna vrednost SN, določena po enačbi 5.6 (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 12):

$$\overline{SN} = \frac{\sum SN}{n} \quad \text{enačba 5.6}$$

Vrednosti SN na homogenih merilnih odsekih obstoječe vozne površine so prikazane v naslednji preglednici. Merjeni homogeni odsek mora biti dolg okoli 300m, nikakor pa ne manj kot 100m.

Mejna območja vrednosti torne sposobnosti za oceno stanja obstoječega vozišča,
 določena z napravo SCRIMTEX (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 12)

Merilna hitrost vožnje (km/h)	Ocena stanja				
	zelo slabo	slabo	zadovoljivo	dobro	zelo dobro
	Območje povprečne vrednosti torne sposobnosti na homogenem merilnem odseku (SN)				
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 vrednost		Opozorilna vred.	Prezemna vred.	

Kriteriji oziroma merila za oceno torne sposobnosti na osnovi meritev z nihalom SRT so podani v naslednji preglednici.

Mejne vrednosti odpora proti drsenju, določenega z nihalom SRT, za oceno stanja obstoječega vozišča v odvisnosti od prometne obremenitve (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 13)

Prometna obremenitev Skupina	NOO 82 kN/dan ⁽¹⁾	Gostota prometa		Pogoji za vožnjo	
		skupina	PLDP ⁽²⁾	normalni	težki
izredno lahka, zelo lahka, lahka	≤ 300	izredno majhna, majhna, srednja	≤ 5000	45 do 55	55 - 65
težka, zelo težka, izredno težka	> 300	velika, zelo velika, izredno velika	> 5000	50 do 60	

Legenda:

⁽¹⁾ NOO 82 kN/dan – število prehodov nominalne osne obremenitve 82 kN/dan

⁽²⁾ PLDP – povprečni letni dnevni promet vozil

⁽³⁾ SRT_{mok} – vrednost SRT na merilnem odseku, korigirana zaradi vpliva temperature

Mejne vrednosti globine hrapavosti obstoječih voznih površin, ki se določi na osnovi meritev po postopku zapolnitve s peskom, prikazuje preglednica pod naslednjima enačbama (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 13), kjer h_{hp} pomeni povprečno globino hrapavosti, h_{pp} pa povprečno globino profila (v mm).

$$h_h = 0,2 + 0,8 \cdot h_p \quad \text{enačba 5.7}$$

$$h_p = 1,25 \cdot h_h - 0,2 \quad \text{enačba 5.8}$$

Mejna vrednost povprečne globine hrapavosti h_{hp} in povprečne globine profila h_{pp} za oceno stanja obstoječega vozišča v odvisnosti od dovoljene hitrosti vožnje (Lastnost voznih površin – Torna sposobnost, 2003: str. 13)

Največja dovoljena hitrost vožnje (km/h)	Mejna vrednost globine hrapavosti h_{hp} (mm)	Mejna vrednost globine profila h_{pp} (mm)
40	0,22	-
50	0,26	-
60	0,30	0,13
70	0,35	0,19
80	0,40	0,25
100	0,53	0,42
120	0,70	0,63

5.2.4 Praktični primer

Torna sposobnost na severni ljubljanski obvoznici je določena s koeficientom drsnega trenja, izmerjenega z merilno napravo SCRIMTEX v letu 2005 pri hitrosti meritve 50km/h. Meje za ocenjevanja stanja prikazuje preglednica »Mejna območja vrednosti torne sposobnosti za oceno stanja obstoječega vozišča, določena z napravo SCRIMTEX« na strani 62. S primerjanjem te preglednice z naslednjo, se določi stanje koeficienta drsnega trenja na homogenih odsekih. Glede na model spreminjanja drsnega trenja (poglavje 6.1.4) so bile vrednosti iz leta 2005 spremenjene v vrednosti v trenutnem letu 2007.

Rezultati kažejo, da je le odsek Brdo-Kozarje (0015) v zelo dobrem stanju, medtem ko je večji del severne ljubljanske obvoznice v dobrem stanju. Odseki, ki so v slabem in zelo slabem stanju oziroma, kjer vrednosti koeficienta ne presežejo 48, so potrebni takojšnje sanacije. Razvidno je tudi, da so homogeni odseki v zadovoljivem stanju zelo redki, zato jih lahko v program sanacije vključimo ali pa počakamo še nekaj časa, da se stanje poslabša.

Preglednica 5.3: Koeficient drsnega trenja na severni ljubljanski obvoznici

Element ID	Koeficient drsnega trenja		Element ID	Koeficient drsnega trenja	
	po zadnjih meritvah (2005)	v trenutnem letu (2007)		po zadnjih meritvah (2005)	v trenutnem letu (2007)
0014_0	33	30	0090_1,25	49	46
0014_0,22	31	28	0090_1,72	29	26
0014_1,3	36	33	0614_0	56	53
0015_0	85	83	0614_0,3	49	46
0015_0,3	85	83	0614_0,6	39	36
0015_1,2	85	83	0614_1,5	53	50
0015_1,6	85	83	0615_0	57	54
0085_0	63	60	0615_1,2	60	57
0085_0,6	63	60	0685_0	60	57
0086_0	60	57	0685_0,6	54	51
0086_0,5	59	56	0686_0	61	58
0088_0	61	58	0688_0	64	61
0088_0,3	59	56	0688_0,4	59	56
0088_0,95	55	52	0688_0,65	40	37
0089_0	58	55	0688_1,02	50	47
0089_0,32	46	43	0689_0	56	53
0089_0,84	47	44	0689_0,3	54	51
0089_0,95	53	50	0689_1,15	50	47
0089_1,55	54	51	0689_1,6	59	56
0089_2,1	64	61	0689_2,1	56	53
0090_0	58	55	0690_0	38	35
0090_0,25	51	48	0690_0,25	45	42
0090_0,4	54	51	0690_0,4	41	38
0090_0,7	50	47	0690_1,34	50	47

5.3 Nosilnost

5.3.1 Značilnosti

Vsaka voziščna konstrukcija mora prevzeti napetosti, ki nastajajo zaradi prometne obremenitve. Temu pravimo prostorsko napetostno stanje, ki zavzema vertikalne, horizontalne (tangencialne in radialne) ter strižne napetosti. Sposobnost prevzema teh napetosti imenujemo nosilnost. Zaželeno je, da celotna voziščna konstrukcija prevzame prometno obremenitev, kar označimo z optimalno nosilnostjo. Poleg prometne obremenitve (teža vozila in naležni pritisk) pa močno vplivajo na nosilnost tudi klimatske in hidrološke

razmere, to so zunanji vplivi, in tudi vplivi vgradnje, ki vključuje projektiranje cest (lega in potek), projektiranje utrditve (reološke lastnosti in zaporedje ter debelina plasti) ter sam postopek vgrajevanja.

Kot merilo nosilnosti se je uveljavila podajnost ali defleksija, ki mora biti pri raznašanju obremenitve na podlago čim bolj elastična. Z meritvami podajnosti vozne površine se lahko opredeli stanje in trajnost voziščne konstrukcije, spremlja spreminjanje stanja in določa ukrepe.

Podajnost (elastična deformacija) se ob neki obremenitvi, ki povzroča napetost, le začasno preoblikuje in takoj ob prenehanju obremenitve povrne v prvotno stanje. Druga skrajna podajnost pa je plastična, kjer nastanejo plastični posedki. Takšna vozna površina ni sposobna prevzeti obremenitev, bodisi zaradi zmanjšanja odpornosti materiala bodisi zaradi porušitve znotraj zgradbe voziščne konstrukcije (utrujanje).

Nosilnost oziroma podajnost vozne površine lahko izboljšamo z ustreznimi zmesmi in kvalitetnimi vgrajenimi materiali, ki morajo biti homogeni. V primeru, da je homogenost prekinjena, se poveča obremenitev, ne samo kamnitih zrn (skelet), ampak tudi drugih okoliških materialov. S tem se povečajo zahteve za vozne površine.

Namen meritev podajnosti vozne površine je opredeliti stanje in trajnost voziščne konstrukcije. Primerne so predvsem za ugotavljanje skladnosti in enovitosti izvršenih del pri novogradnjah, spreminjanje stanja obstoječih voziščnih konstrukcij v sklopu gospodarjenja z vozišči, ocenjevanje trenutnega stanja voziščnih konstrukcij in izvednotenje primernih ojačitev obstoječih voznih konstrukcij za načrtovano dobo trajanja.

Za ugotavljanje stanja voziščne konstrukcije in določitev primernih ukrepov je potrebno ovrednotiti merodajno podajnost vozne površine homogenega odseka ceste d_m in dobo trajanja (ojačene) voziščne konstrukcije.

Meritev podajnosti mora biti dokumentirana z osnovnimi podatki, ki so v skladu s Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 9:

- mesto meritve (označba ceste, stacionaža, mesto na prometnem pasu, vrsta obrabne plasti, posebnosti)
- datum in čas trajanja meritve
- zgradba voziščne konstrukcije
- temperatura asfaltne krovne plasti
- uporabljena merilna oprema: vrsta in značilnosti obremenitve
- merodajna/maksimalna obremenitev
- merodajna vrednost podajnosti, vključno z vsemi korekcijami.

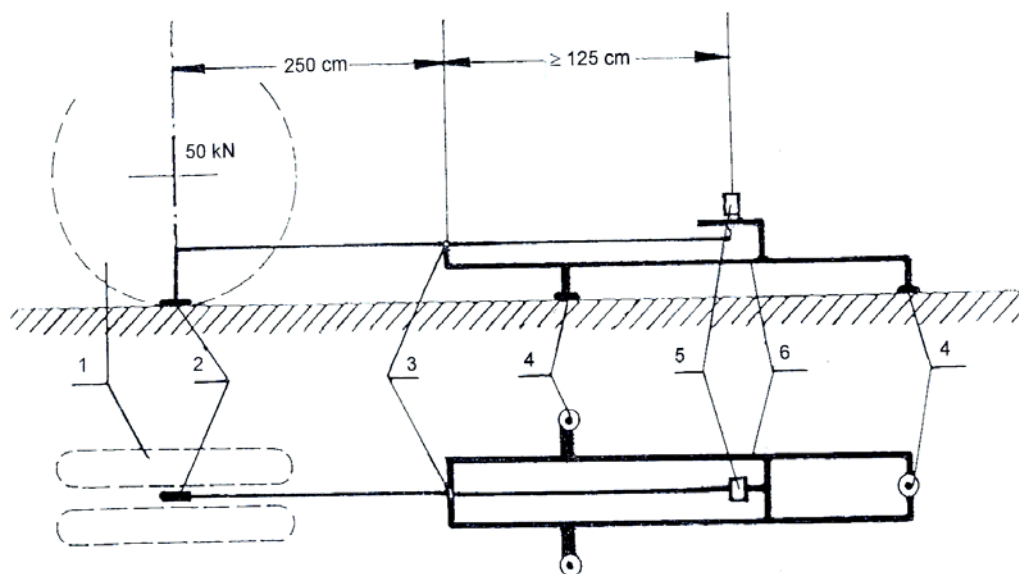
5.3.2 Merilne naprave

Oprema za meritve podajnosti vozne površine mora zagotavljati ponovljivost in točnost meritev, registracijo podajnosti v grafičnem ali digitalnem zapisu ter trajnost zapisa. Zato jo je potrebno ustrezno pripraviti in kalibrirati. Skladna mora biti s pogojenimi tehničnimi karakteristikami in ustrezno umerjena po predpisanem pravilu proizvajalca opreme in opremljena s certifikatom. Rezultati ne smejo presegati mejnih odstopanj.

Vozno površino je potrebno pred pričetkom meritve očistiti tujkov in umazanije, delovna skupina in udeleženci v prometu pa morajo biti vse do konca meritev zaščiteni. Vozna površina se navadno obremenjuje z osno silo 100 kN, razen pri dinamični obremenitvi, kjer ta znaša od 7 kN do 120 kN

Meje temperature asfaltne krovne plasti, ki se jo meri s termometri na koncu meritve podajnosti, morajo pri postopkih z Benkelmanovo gredjo in deflektografom biti v območju od 0 do 50 °C, pri postopku z deflektometrom pa od -10 do 60 °C.

Benkelmanova gred je mehanska merilna naprava za prenos vertikalnih pomikov ali podajnosti vozne površine na merilno urico oziroma na natančno elektronsko merilno opremo. Način podajanja obremenitve je mirujoč. Meritev zagotavlja natančnost podajnosti vozne površine v območju z napako $\pm 0,05$ mm, pri merjenju temperature pa zaokrožimo na 1°C. Sestavo in razmerje gredi prikazuje naslednja slika.



Legenda:

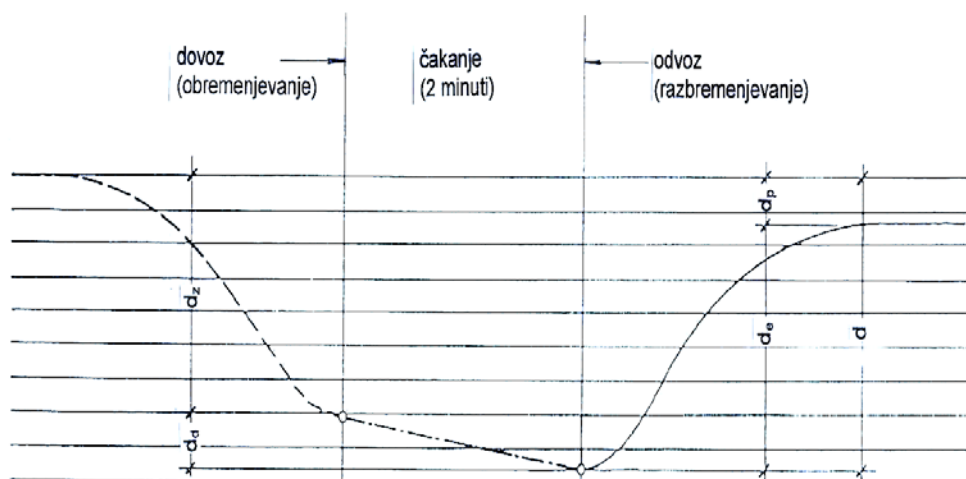
1 – položaj koles, 2 – konica tipalne ročice (ročico se da zaklopiti), 3 – podporni členek, 4 – tri nastavljive podpore (podpirajo stojalo), 5 – merilna urica (fi 100 mm- merilno območje 30 mm, razdelilna lestvica na 0,001 mm), 6 – stojalo

Benkelmanova gred (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 6)

Benkelmanova gred omogoča meritve podajnosti ob *prihodu obremenitve*, tj. celotne podajnosti vozne površine (elastične in plastične), ter ob *odhodu obremenitve*, tj. samo elastične podajnosti, ki je v pretežni meri upoštevana za ovrednotenje stanja voziščne konstrukcije. Podajnost vozne površine na merilni točki se določi z razliko med odčitkom na merilni urici v trenutku kolesne obremenitve in razbremenitve oziroma ponovno umiritve podlage. Vrednosti podajnosti podajamo v 0,01 mm.

Benkelmanovo gred se postavi vodoravno v smer voziščne konstrukcije na stojalo s tremi podporami. Meritev podajnosti se izvaja po dveh postopkih:

V prihodu obremenitve se mora tovorno vozilo, katerega zadnja kolesa morajo biti na začetku merjenja od tipalne konice na ročici Benkelmanove gredi oddaljen 3 m, približevati konicam s stalno hitrostjo 0,5 m/s. Podajnost se pri tem meri z merilno urico pri določenih mestih, ki so od konice oddaljena za 2, 1, 0,5 in 0,25 m ter ob zadnjih kolesih. Meritev se nato ponovi, ko potuje tovorno vozilo na izhodiščno mesto z enako hitrostjo. Podajnost se prikaže shematsko v naslednjem diagramu.



Legenda:

d - celotna podajnost merilnega mesta, d_z - začetna podajnost pri obremenjevanju, d_a - dodatna podajnost med čakanjem pod obremenitvijo, d_e - elastična podajnost, d_p - plastična podajnost

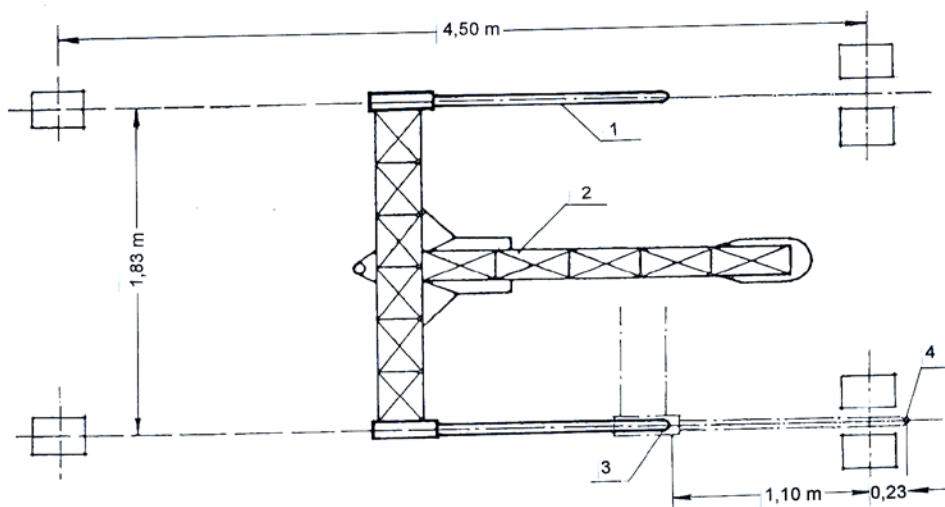
Shematski prikaz meritve celotne podajnosti vozne površine

(Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 10)

Deflektograf Lacroix je merilna naprava za kontinuirano avtomatsko določitev podajnosti vozne površine pod določeno obremenitvijo koles vozila med vožnjo (primer kotaleče obremenitve). Sestavlja ga tovorno vozilo, ki nosi merilno opremo, obremenitev za izvedbo meritev in računalnik s pripadajočo programsko opremo za zapis vseh potrebnih podatkov. Natančnost merilne opreme pri merjenju posedka zahteva natančnost $\pm 0,05$ mm, pri merjenju razdalj pa $\pm 3\%$.

Merilna oprema je predstavljena na sliki na naslednji strani.

Merilna oprema vsebuje dva induktivna merilnika pomikov tipalnih ročic in računalniško podprt sistem za preverjanje poteka meritev, krmiljenje gibljivega nosilnega okvirja, avtomatsko registracijo podajnosti (zapis na papirni trak ali elektronsko) ter posredovanje podatkov v računalnik.



Legenda k prejšnji sliki:

1 – tipalna ročica, 2 – prečni nosilni okvir, 3 – začetni položaj tipalne ročice, 4 – končni položaj tipalne ročice

Merilna oprema deflektografa Lacroix (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 7)

Naprava se uporablja pri postopku izvajanja meritev v prihodu obremenitve, ki omogoča presojo trenutnega stanja voziščne konstrukcije.

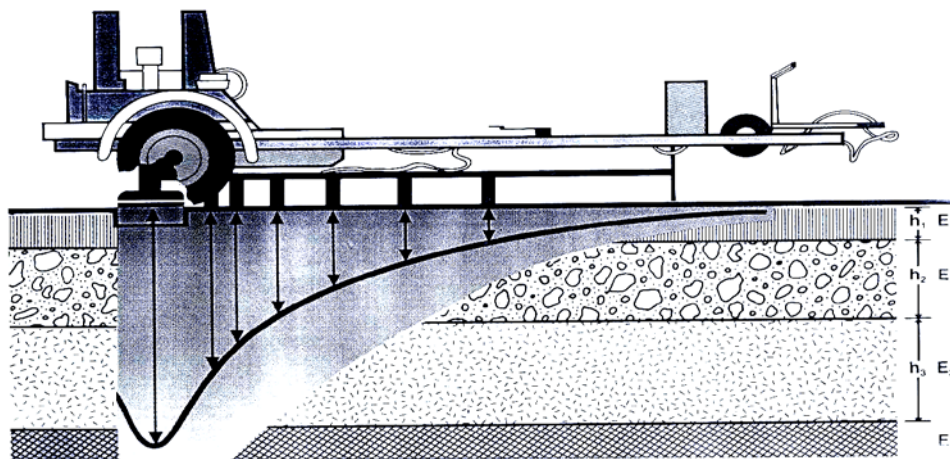
Deflektograf se na površino vozišča postavi tako, da je zadnja os koles na začetku merilnega odseka. Tipalni ročici z mehanizmom za registracijo podajnosti vozne površine je potrebno sprostiti, da nalegata na površino. Tovorno vozilo se neprekinjeno premika proti končni točki s hitrostjo 2 km/h, pri tem pa se ves čas izmenjujejo naslednji koraki:

- krmiljenje gibanja preničnega nosilnega okvira naprej
- premikanje zadnjih koles tovornega vozila proti konici tipalne ročice, ki sledi posedkom pod obremenitvijo zadnjih koles
- avtomatska registracija podajnosti s pomočjo dveh induktivnih merilnikov pomikov tipalnih ročic.

Postopek meritev je elektronsko krmiljen (preko računalnika), rezultati pa se registrirajo v digitalni obliki, ki omogoča določiti merodajno podajnost in preostalo dobo trajanja voziščne konstrukcije ter morebitno nadgradnjo.

Deflektometer Dynatest 8000 FWD (Falling Weight Deflectometer) predstavlja vozilo z enosno prikolico, ki nosi opremo za dinamično obremenitev (električno hidravlična oprema-

padajoča utež) in merilno opremo, računalniško podprt sistem za preverjanje meritev in posredovanje rezultatov ter računalnik s pripadajočo programsko opremo za krmiljenje, registracijo in obdelavo potrebnih podatkov. Merilno napravo prikazuje spodnja slika.



Deflektometer Dynatest 8000 FWD (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 8)

Naprava vsebuje od 6 do 9 merilnikov podajnosti ali geofonov, ki morajo biti primerno razvrščeni s standardnim razmikom na dolžini največ 250 cm (območje nosilca merilne opreme). Za načrtovanje ukrepov razdalje med posameznimi merilnimi mesti ne presegajo 50 m, za uporabo podatkov pri gospodarjenju z vozišči pa so dolgi do 200 m. Njihova razvrstitev je odvisna od podajnosti vozne površine d_{mD} . Meritve lahko odstopajo največ $\pm 1\%$.

Meritve podajnosti s to opremo omogočajo določitev karakteristike merilnega mesta in trenutnega stanja materialov, vgrajenih v voziščno konstrukcijo. Pred postopkom merjenja se mora zagotoviti primerno naleganje obremenilne plošče ter merilnikov na vozno površino, izmeriti temperaturo krovne plasti in nastaviti posamezne parametre za meritev (kot so način meritve, obremenitev, nastavljanje števila merilnikov).

Postopek temelji na osnovi padanja uteži na krožno obremenilno ploščo standardnega premera 30 cm, ki je elektronsko krmiljen z ukazi računalnika. Postopek vključuje tudi shranjevanje vseh podatkov meritev, katerih pravilnosti se po posebnem programu preverja. Na merilnem mestu se izvajajo najmanj 3 udarci s padajočo utežjo in vrednost tretjega je navadno merodajne podajnosti d_{mD} .

5.3.3 Kriteriji za ocenjevanja stanja voziščne konstrukcije

Vrednosti meritev podajnosti, ki odstopajo od standardnih vrednostih je potrebno korigirati, saj na podajnost poleg temperature vplivajo tudi prometna obremenitev in izbor homogenega odseka. Vpliv kolesne obremenitve (standardna obremenitev 50 kN) se izračuna z največjo podajnost d_i po enačbi 5.9 (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 11):

$$d_i = k_{ko} \cdot (d_{To} - d_{Tr}) \quad \text{enačba 5.9}$$

kjer pomeni

k_{ko} količnik vpliva kolesne obremenitve v območju obremenitve od 30 do 70 kN (prikazano v preglednici 1; Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 11)

d_{To} odčitek na merilni urici pod obremenitvijo

d_{Tr} odčitek po razbremenitvi

Pri meritvah je potrebno določiti homogene odseke, ki so izbrani s količnikom variacije k_v , kar pomeni razmerje med standardnim odklonom izmerjenih podajnosti s in njihovo srednjo vrednostjo \bar{d} . Homogen odsek v naseljih ne sme biti krajši od 100 m, izven naselij pa od 200 m in je določen s pogojem (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 13):

$$k_v = \frac{s}{\bar{d}} \leq 0,35 \quad \text{enačba 5.10}$$

$$s = \sqrt{\frac{d_{20}^2 - \bar{d} \cdot \sum d_{20}}{n - 1}} \quad \text{enačba 5.11}$$

$$\bar{d} = \frac{\sum d_{20}}{n} \quad \text{enačba 5.12}$$

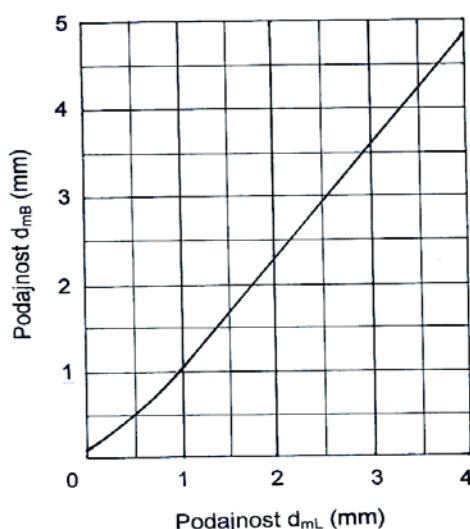
Osnova za oceno stanja voziščne konstrukcije, merjene z Benkelmanovo gredjo, je merodajna elastična podajnost obstoječe voziščne konstrukcije, ki se kot osnova izmerjenih rezultatov izračuna po enačbi 5.13 (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 13):

$$d_{mB} = c \cdot (\bar{d} + k_{pr} \cdot s) \quad \text{enačba 5.13}$$

kjer je...

- ... količnik c odvisen od klimatskih in hidroloških pogojev ter učinkov mraza oziroma odjuge na voziščno konstrukcijo, čemur se pripisuje občutljivost vgrajenih materialov; njena vrednost je omejena z vrednostjo 1,0 in 2,0;
- ... količnik k_{pr} odvisen od vrste cest in želene stopnje varnosti in znaša 2,0 za ceste s težjim prometom, 1,6 za regionalne ceste oziroma s srednje težkim prometom in 1,3 za lokalne ceste oziroma za lahek promet;
- ... d_{20} predstavlja vrednost podajnosti vozne površine na temperaturi 20°C;
- ... n pomeni število meritev.

Pri meritvi z deflektografom se merodajna podajnost obstoječih vozišč d_{mL} določi s korelacijo vrednosti merodajnih podajnosti po postopku z Benkelmanovo gredjo (spodnji diagram).



Korelacija vrednosti merodajnih podajnosti po postopku z Benkelmanovo gredjo d_{mB} in z deflektografom Lacroix d_{mL} (Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 14)

Merodajna podajnost asfaltne vozne površine, merjena z deflektometrom d_{mD} , se zagotavlja s padajočo utežjo, katere dinamična obremenitev obremenilne plošče je ekvivalentna kolesni obremenitvi 50 kN, ki je navadno dosežena s tretjem poskusom.

Merodajne vrednosti podajnosti za oceno stanja obstoječe površine z asfaltno krovno plastjo so prikazane v naslednji preglednici.

Merodajne mejne vrednosti podajnosti površine na obstoječih voziščih z asfaltno krovno plastjo
(Lastnosti voznih površin - Podajnost, 2003: str. 17)

Skupina prometne obremenitve	Načrtovana doba trajanja			
	5 let	10 let	15 let	20 let
Mejna vrednost podajnosti d_{mm} (mm)				
- izredno težka	0,8	0,7	0,6	0,5
- zelo težka	0,9	0,8	0,7	0,6
- 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

Ker nosilnost voziščnih konstrukcij na omrežju avtocest še ni bila izmerjena, ni vključena v gospodarjenje z vozišči PMS-DARS.

5.4 Hrupnost

5.4.1 Značilnosti

Hrup je značilnost, ki jo določata vozna površina in vozilo. Hrup ustvarja pogonski sistem vozila, tj. motor, izpuh, hladilni sistem, prenos sil, in kotaljenje koles po podlagi. Hrup je torej odvisen od stanja in vrste vozila ter od geometrijske oblike in lastnosti materiala pnevmatike oziroma obrabne plasti. V veliki meri pa vpliva na jakost hrupa tudi hitrost vožnje. Na primer pri počasni vožnji je vzrok hrupa zgolj motor, ki doseže frekvenco do 100 Hz, pri hitrem kotaljenju pa se ustvarja hrup zaradi nalaganja pnevmatik na površino, kjer doseže frekvenco do 1000 Hz.

Hrup se lahko opiše na različne načine (Žmavc, J., 1997Ž: str. 319). Hrup povzroča zrak, ki se v stiku pnevmatike in naležne površine zgoščuje in sprošča, kar se prikaže z *modelom črpanja zraka*. Drugi model, s katerim opišemo nastanek hrupa pri kotaljenju, pa je *vibracijski model*, ki deluje po principu nihanja in odrivanja pnevmatike od površine vozišča zaradi neravnin na vozni površini. Pri kotaljenju je hrup torej v prvi vrsti povezan s teksturo oziroma globino, širino hrapavosti vozne površine in profila pnevmatik ter z neravninami na vozni površini (glej poglavje Ravnost).

V cestogradnji obstajajo različni ukrepi zmanjšanje hrupa (Žmavc, J., 1997: str. 323):

- protihrupne ograje in okna
- povečanje oddaljenosti od prometa
- zmanjšanj gostote prometa
- protihrupne obrabne plasti.

Merjenje in vrednotenje hrupa se izvaja za različne namene. V prvi vrsti lahko s tem določimo raven hrupa v obcestnem prostoru, ki ga povzroči promet na cestah, da lahko nato načrtujemo primerne ukrepe za zaščito obcestnega prostora pred škodljivim hrupom. Prav tako nam pomaga pri nadziranju hrupa v obcestnem prostoru.

5.4.2 Merilne naprave

Merilno opremo je potrebno pred pričetkom meritev ustrezno programirati. Programski modul mora omogočati merjenje in odčitavanje podatkov ter analizo in shranjevanje rezultatov meritev in koristnih podatkov o meritvah. Pomembno je naslednje (Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 7):

- Oprema za merjenje mora zagotoviti nekatere parametre za meritve in analize:
 - izbiro dinamičnega območje
 - širino frekvenčnega pasu analizatorja (oktave 1/1 ali 1/3)
 - izbiro časovnega odziva vhodnega detektorja (hitri 125 ms ali počasni 1 s)
 - merjenje in izračun ekvivalentne ravni hrupa L_{eq} , utežene po A krivulji
 - izračun percentilnih ravni hrupa L_{AF1} in L_{AF99}
 - frekvenčno analizo signala v realnem času, uteženo po A krivulji
 - dodatni izračun percentilnih ravni hrupa L_{AF10} , L_{AF90} in L_{AFMax}
 - frekvenčno uteženje rezultatov (frekvenčni spekter ravni hrupa in percentilne ravni po A krivulji)

L_{AFX} raven hrupa, ki je bila presežena v % časa meritev

- Intervali meritev se izbirajo, ko je obremenitev s hrupom tokom dneva največja in ko je občutljivost človeka na hrup največja (ponoči).
- Način in mesto shranjevanja rezultatov meritev mora biti dovolj pregledno in se mora prilagoditi na obseg meritev ter omejitvam spominskega medija.
- Izbira in prikaz rezultatov meritev mora zagotoviti optimalno informacijo o ravni hrupa. Pri tem se računa indeks prometnega hrupa *TNI* (Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 7), ki vsebuje ravni hrupa, ki so bili preseženi določen procent časa meritev.

$$TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad \text{enačba 5.14}$$

- Kalibracija oziroma umerjanje merilne opreme mora biti izvršeno pred vsako ponovno meritvijo skladno z navodili, pri tem pa je potrebno upoštevati tudi korekcijo zaradi sprememb zračnega tlaka. Kalibrator mora izpolnjevati zahteve standarda IEC 942.

Ravni hrupa ugotavljamo na dva načina: z *meritvami hrupa cestnega prometa*, tj. mimoidoča vozila, in z *meritvami hrupnosti voznih površin*, tj. kotaljenja.

5.4.2.1 Meritve ravni hrupa cestnega prometa

Meritve ravni hrupa cestnega prometa določajo glasnost mimoidočih vozil, njihovega motorja, izpuha in podobno.

Merilnik je stacionarno nameščen na mestu tako, da ni obremenjen z drugimi viri hrupa, tj. na stojalu višine od 1,2 do 1,5 m. Merilnik mora biti oddaljen vsaj za 3,5 m od sredine voznega pasu in vsaj za 0,5 m od izvajalca meritev. Merilec je prisoten le, če postopek zahteva nadzor meritev.

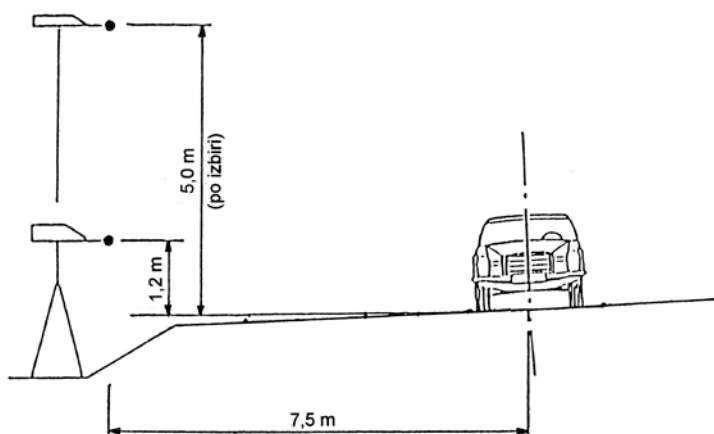
Slabi vremenski pogoji, kot je dež, veter, ki presega hitrost 3 m/s, nizka oblačnost, vlažnost zraka nad 95% in mokro ali zasneženo vozišče, lahko močno vplivajo na rezultate meritev, zato se le te takrat ne izvajajo.

Rezultate meritev imisij hrupa morajo predstavljati kritične dnevne ali nočne ravni hrupa, ki vpliva na človeka, le tako lahko okolje varujemo pred prekomernim hrupom.

Izvedenotenje in primerjanje rezultatov meritev hrupa se zaradi lažjega dela izvaja z računalniškim programom, lahko pa tudi ročno. Pomembno pa je, da je izvedenotenje omejeno tako glede časa kot tudi glede ponovljivosti, vendar pa je potrebno za dopolnitev izvedenotene ocene ravni hrupa z dejansko imisijo hrupa.

5.4.2.2 Meritve ravni hrupa kotaljenja

Raven hrupa kotaljenja je opredeljena z vrsto pnevmatik na kolesih vozila, hitrostjo vožnje, sestavo obrabne plasti vozišča in njihovo povezavo. Raven hrupa se meri s stacionarno nameščenim merilnikom ali pa z merilno prikolico.



Shema nastavitve stacionarnih merilnikov za primerjalne meritve ravni hrupa kotaljenja mimo vozečega pospešenega vozila (Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 9)

K meritvam s stacionarno nameščenim merilnikom se šteje izbrano vozilo, ki mora ustrezati predvidenim pogojem za načrtovane meritve ravni hrupa, tj. vrsta pnevmatik in hitrost vožnje. Stacionarni merilnik ali mikrofoni je potrebno namestiti 7,5 m vodoravno od vzdolžne osi vozila, ki je praviloma postavljena na sredino med kolesnicama, na višino od 1,2 do 5 m nad površino vozišča (zgornja skica). Izbrani morata biti najmanj dve merilni mesti tako, da ni

prisotnega hrupa, ki ga povzročajo drugi viri v okolici. V nasprotnem primeru se meritve zaradi možne netočnosti rezultatov ne izvaja.

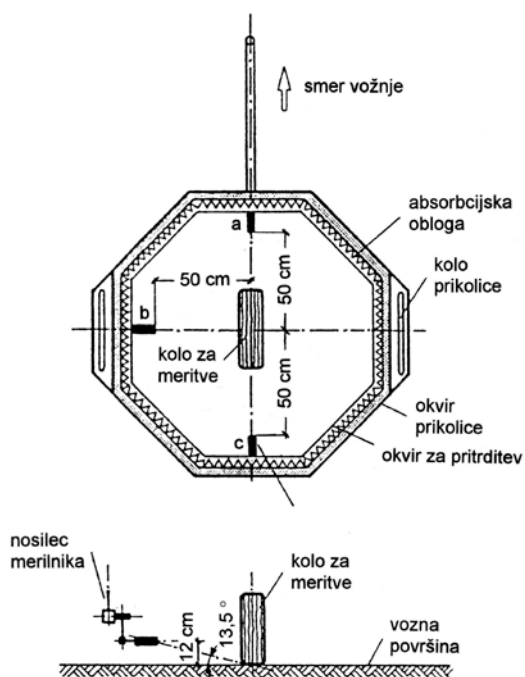
Trajanje meritve hrupa kotaljenja posameznega vozila, ki pelje mimo merilnega mesta, mora znašati najmanj 3 sekunde, homogeni merjeni odsek pa najmanj 100 m, izjemoma 80 m. Meritev mora biti izvajana pod stalnim nadzorom merilca.

Meritve z merilniki ob kolesu v prikolici so nameščeni ob posebnem kolesu za meritve v zaprti prikolici, ki omogoča:

- meritve brez oviranja ostalega prometa (praviloma v kolesnicah)
- vplivi zunanjih virov hrupa so v celoti izključeni (pokrov je prevlečen z ustreznim absorpcijskim materialom in ščiti tudi podvozje, nosilni kolesi pa sta ločeni od merilnega)
- osnovni vplivi na rezultate meritev (tj. pnevmatike) lahko v veliki meri ostanejo podobni dalj časa
- meritev zavzema odsek ceste, kar zagotavlja številne podatke in zanesljivo oceno ravni hrupa kotaljenja.

K opremi spada vlečno vozilo, merilna prikolica, merilno kolo in merilniki hrupa (slika v nadaljevanju). Merilna prikolica predstavlja zaščito pred zunanjimi vplivi, kjer so stabilno nameščeni trije merilniki hrupa pritrjeni na predpisanih mestih. Hitrosti, ki se uporabljajo pri meritvah, so odvisne od namena uporabe rezultatov (referenčne hitrosti so 50, 70, 90 in 110 km/h). Med izvajanjem meritev mora biti določena želena hitrost in morebitni drugi pomembni podatki zabeleženi. Izmerjene vrednosti hrupa pa morajo biti prenesene na magnetofonski trak v vlečnem vozilu kot analogni signal preko ojačevalnika.

Pri vrednotenju hrupa kotaljenja upoštevamo podatke o izmerjenem hrupu in pripadajoči hitrosti (tj. raven hrupa), na podlagi katerih se omogoča ocena in razvrstitev obrabne plasti. Pri vrednotenju ravni hrupa je potrebno upoštevati, da povečana hitrost vožnje za približno 10 km/h poveča hrup kotaljenja za 3 do 4 dB(A).



Shema nastavitve merilnega kolesa in merilnikov za meritve ravni hrupa kotaljenja v merilni prikolici
(Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 10)

Merilniki ob kolesu na vozilu so postavljeni blizu ali pa neposredno ob kolesu navadnega motornega vozila (oziroma v prikolici) in niso zaščiteni pred zunanjimi vplivi hrupa. Rezultati meritve so zato pomanjkljivi, saj istočasno zaznavajo vse vrste hrupa.

Naprave za pritrditev merilnikov morajo biti ustrezno pritrjene na vozilo ali prikolico. Pritrjena morata biti najmanj dva merilnika. Pokriti morajo biti z zaslonom za preprečitev vpliva drugih virov hrupa. Višina njegove postavitve je največ 50 mm nad vozno površino.

Meritve se izvajajo na vozišču pod prometom, navadno v kolesnicah, s hitrostjo 50, 70 ali 90 km/h. Merodajna vrednost meritve je enaka povprečni vrednosti rezultatov, ugotovljenih na merilnikih. Pri izrednotenju je potrebno upoštevati hitrost vožnje vozila in morebitne ostale vplive.

5.4.3 Kriteriji za oceno stanja vozišča

Oceno ravni hrupa je potrebno izračunati za dnevni in nočni čas na ravnih odsekih vozišča (razlike so prikazane v preglednici »Ocena gostota prometa M in delež tovornih vozil p v odvisnosti od kategorije ceste«), ki so na vsako stran od mesta merjenja oziroma izračunavanja ocene hrupa trikratno oddaljeni od vira hrupa. V primeru, da ni pogojev za izračun ravni hrupnosti po metodi dolgih ravnih odsekov, se uporabi izračun delnih izsekov, katerih prispevki se nato seštejejo. Pri tem morajo biti delni odseki izbrani tako, da so lastnosti in pogoji za širjenja hrupa na posameznem odseku konstantni.

Ocena gostota prometa M in delež tovornih vozil p v odvisnosti od kategorije ceste
 (Lastnosti vozni površin - Hrupnost, 2003: str. 5)

Kategorija ceste	Dan (6 ^h – 22 ^h)		Noč (22 ^h – 6 ^h)	
	M št. vozil/h	p %	M št. vozil/h	p %
avtocesta, priključna cesta	0,06 PLDP	25	0,014 PLDP	45
glavna cesta		20	0,011 PLDP	20
regionalna cesta		20	0,008 PLDP	10
lokalna cesta		10	0,011 PLDP	3

Različne smerne pasove vozišča je potrebno ločeno obravnavati in jih nato prikazati kot seštevek dnevne oziroma nočne ravni hrupa. Teoretično se dnevna oziroma nočna ocena hrupnosti izračuna po enačbi 5.15 (Lastnosti vozni površin - Hrupnost, 2003: str. 5):

$$L_{d,n} = L_{d,n}^{(25)} + D_h + D_n + D_{op} + D_l + D_V + D_t + D_k \quad \text{enačba 5.15}$$

kjer pomeni

- $L_d^{(25)}, L_n^{(25)}$ ocena ravni dnevnega oziroma nočnega hrupa, ki ga povzroča promet na oddaljenosti 25 m od sredine vozišča in na višini 2,25 m pri povprečni hitrosti vozil 100 km/h

- D_h popravek za izračun ocene ravni hrupa v dB(A) glede na hitrost vozil $v_{1,2}$ in deleža tovornih vozil p se izračuna po enačbi (Lastnosti ...- Hrupnost, 2003: str. 5)

$$D_h = L_1 - 37,3 + 10 \cdot \log \left[\frac{100 + (10^{0,1D} - 1) \cdot p}{100 + 8,23 \cdot p} \right] \quad \text{enačba 5.16}$$

$D = V_2 - V_1$ razlika povprečnih hitrosti tovornih in osebnih vozil

L_1, L_2 ocena ravni hrupnosti glede na povprečno hitrost osebnih oziroma tovornih vozil

- D_n popravek za izračun ocenjene ravni hrupa glede na vzdolžni nagib vozišča, ki je prikazan v spodnji preglednici.

Popravek D_n v odvisnosti od vzdolžnega nagiba vozišča (Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 5)

Vzdolžni nagib vozišča %	Popravek D_n dB(A)
≤ 5	0
6	0,6
7	1,2
8	1,8
9	2,4
10	3,0
Za vsak nadaljnji % nagiba	0,6

- D_{op} popravek za izračun ocenjene ravni hrupa zaradi vpliva vrste obrabne plasti na vozišču, ki jo prikazuje naslednja preglednica.

Popravek D_{op} v odvisnosti od vrsta obrabne plasti na vozišču (Lastnosti ...- Hrupnost, 2003: str. 5)

Vrsta obrabne plasti	Popravek D_{op} dB(A)
- nov bitumenski ali cementni beton	0
- grobozrnati asfalt	2
- raven kamniti tlak, dotrajani cementni beton	
- obrabljen kamniti tlak	3
- drobit z bitumenskim mastikom	6
- drenažni asfalt	-2
	-3

- D_l popravek za izračuna ocenjene ravni hrupa zaradi oddaljenosti med krajem vira hrupa in mestom izračunavanja (enačba 5.17; Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 6)

$$D_l = 15,8 - 10 \cdot \log s - 0,0142 \cdot s^{0,9} \quad \text{enačba 5.17}$$

kjer pomeni

s oddaljenost med krajem vira hrupa in mestom izračunavanja ocene

- D_v popravek za izračun ocenjene ravni hrupa zaradi dušenja hrupa zaradi absorpcije v tleh in zraku (v dB(A)), ki je odvisen od povprečne višine h_m (enačba 5.18; Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 9)

$$D_v = -4,8 \exp \left(- \left(\left(\frac{h_m}{s} \right) \cdot \left(8,5 + \frac{100}{s} \right) \right)^{1,3} \right) \quad \text{enačba 5.18}$$

- D_t popravek za izračun ocenjene ravni hrupa zaradi ovir. Ki povzročajo odboje hrupa kot so nasip pregrada, vzpetine, objekti, vkopi in podobno.
- D_k popravek za izračun ocenjene ravni hrupa zaradi bližine križišča, ki je v odvisnosti od oddaljenosti kraja vira hrupa od sredine vozišča v križišču in ga prikazuje naslednja preglednica popravkov.

Popravek D_k v odvisnosti od oddaljenosti kraja vira hrupa od križišča (Lastnosti voznih površin - Hrupnost, 2003: str. 6)

Oddaljenost kraja hrupa od sredine vozišča v križišču	Popravek D_k dB(A)
do 40 m	3
40 do 70 m	2
70 do 100 m	1

Pridobljeni podatki o hrupu morajo biti objektivno ovrednoteni glede na vplivanje na človeka. Da bi lahko dosegli objektivno oceno, pa je potrebno uporabiti merilno opremo, ki ustreza predpisanim tehničnim specifikacijam. Rezultati ravni hrupa morajo biti med seboj primerljivi

in ponovljivi, kar zagotovimo z izključitvijo meteoroloških in vegetacijskih vplivov okolja iz postopkov meritve.

Hrup ni vključen v program gospodarjenja z voznimi površinami PMS-DARS, ker se ga na omrežju avtocest še ni merilo v ta namen.

5.5 Svetlost

5.5.1 Značilnost in ocena

Svetlost vozne površine je pomemben faktor lastnosti voznih površin, saj mora biti vozniku oziroma uporabniku ceste dovolj opazna. Vozna površina mora torej izstopati iz okolice, ki jo zagotovimo z dodajanjem posebnih umetnih ali naravnih elementov. Ob tem pa moramo poudariti, da se lahko svetlost, kontrastnost in refleksija (odsevnost) spremeni glede na mineraloško sestavo zrn in vezivo, hrapavost ter stanje vozne površine, ki je lahko mokro ali suho. Torej je svetlost odvisna od vplivov vgradnje, tj. projektivne utrditve (lastnosti in sestava zrn), in zunanjih vplivov, tj. osvetljenosti, padavin, temperature in onesnaženosti.

Odsevnost je razmerje med odbito in vpadno svetlobo, ki se jo meri v %. Odsevnost vozne površine in barv uporabljenih za cestno signalizacijo se določa s količnikom svetlosti I , ki prikazuje razmerje med svetlostjo S in osvetljenostjo O ($I = S/O$). Znanе so tri vrste odsevnosti, ki pri vseh voznih površinah navadno nastopijo istočasno.

Zrcalna odsevnost se pojavi, ko se svetlobni žarki odbijajo po Snellius-ovem zakonu loma na prekomerno zglajenih voznih površinah oziroma uporabi preveč drobnozrnate zmesi, ki imajo zmanjšano hrapavost in torni sposobnost. Učinek loma svetlobe na cestni površini je podoben kot pri lomu svetlobe z zrcalom.

Difuzna odsevnost, kjer se svetlobni žarki odbijajo v vseh smereh in povzročajo navidezno motnost vozne površine, ki je sicer v suhem stanju.

Pri *retrorefleksiji* pa se svetlobni žarki vračajo proti izvoru, ki se pokaže kot barva odsevne svetlobe. Obsevnost barv je ponoči manjša, le ta pa se razlikuje tudi od barve do barve. Na primer svetlost in s tem odsevnost rumene barve je manjša od bele barve.

Kontrastnost vozne površine in barv za cestno signalizacijo označuje dobro vidnost cestišča samega in barvnega spektra, ki se uporablja pri vodoravni in pokončni signalizaciji (preglednica »Kontrasti svetlosti osnovnih barv za opremo v cestogradnji«). Prvi kontrast zadovoljimo s čim svetlejšo vozno površino, drugega pa smotrno uporabo, glede na to da lahko prevelika uporaba različnih barv povzroča zmedenost.

Kontrasti svetlosti osnovnih barv za opremo v cestogradnji (Žmavc, J., 1997: str. 326)

BARVA	Modra	zelena	Rumena	Rdeča
Bela	0,95	0,74	0,11	0,67
Modra	-	0,71	0,94	0,78
Zelena	-	-	0,68	0,14
Rdeča	-	-	-	0,60

Vozna površina mora biti čim svetlejša, da je tako zagotovljena varnost uporabnikov ceste, saj je pri ekstremnih pogojih (mokro cestišče ali ponoči), ko so razmere v pogledu svetlosti površine ceste kritične, še vedno dovolj vidna, pa tudi bolj odporna proti preoblikovanju zaradi povišane temperature zraka.

Zagotoviti pa je potrebno tudi čim bolj hrapavo in ostrorobo obrabno plast z globino hrapavosti približno 1,2 mm, ki zagotavlja izboljšano vidljivost in odsevne lastnosti vozne površine tudi v mokrem stanju: svetlost se enakomerneje razporedi, druge lastnosti vozne površine v mokrem stanju pa se bistveno ne poslabšajo.

Svetlost ni vključena v program gospodarjenja z voznimi površinami PMS-DARS, ker se v ta namen na omrežju avtocest še ni merila.

5.6 Vizualna ocena stanja voznih površin

5.6.1 Značilnosti

Pojavi, ki so opisani v nadaljevanju, nastajajo zaradi obremenjevanja vozne površine in utrujanja vgrajenih materialov. Ugotavljamo jih z vizualno oceno stanja vozne površine.

Razpoke so nepravilnosti na vozni površini, ki lahko nastanejo zaradi prevelikega krčenja in raztezanja vgrajenega materiala zaradi sprememb klimatskih vplivov, zaradi preobremenjevanja in staranja materiala, lahko pa nastanejo tudi zaradi neprimerne vgrajenega materiala (razmerje posameznih komponent ipd.). Znan je izraz mejne razpoke, kar pomeni dimenzije razpok (širina, dolžina, globina), ki nevarno še ne vplivajo na stanje vozne površine.

Obraba je proces, ko zaradi izpada in zgladitve določenega deleža zrn vozna površina postane bolj gladka, s čemer se poslabšajo pogoji za torno sposobnost in z njo povezano varnost. Obrabo je potrebno čim bolj zmanjšati, in sicer z zagotovitvijo kakovostnih vgrajenih materialov in zmesi.

Udarne jame so oblike nepravilnosti na vozni površini, ki nastanejo zaradi različnih obremenitev. Njihova oblika je lahko različnega premera in globine. Nastajajo tako, da se zgornja plast postopoma lušči in pogloblja.

Krpe predstavljajo sekundarne oblike na vozni površini, ki se izvedejo na kritičnih neravninah oziroma napakah na vozni površini.

Stiki na betonskih voziščih se lahko občutijo v primeru, če niso zaliti ali da se plošče popolnoma ne stikajo, kar se pri vožnji bolj ali manj občuti.

5.6.2 Merilne naprave

Merilnik stacionaž na vozilu, katerega povprečna hitrost znaša od 15 do 20 km/h, je povezan z računalnikom. Ocenjevalec v vozilu v računalniški program vpisuje jakost in obseg posameznih poškodb.

Ta postopek pomaga pri planiranju ukrepov na mrežnem nivoju, ne pa na projektnem, ker je točnost merjenja premajhna.

5.6.3 Kriteriji za oceno stanja

Vizualna ocena stanja vozišč se izvaja in obdeluje po metodologiji modificiranega švicarskega indeksa (MSI), ki je temelj za določitev stanja vozišča. Postopek vključuje:

- vizualno oceno stanja vozišč na vsakih 50 m
- izračun vrednosti MSI
- homogenizacijo v pododseke s podobno poškodovanostjo
- izdelavo tabel homogenih odsekov s pripadajočimi MSI.

Metodologija modificiranega švicarskega indeksa MSI temelji na vizualni oceni vozišča pri čemer se vrsta poškodbe ocenjuje z njegovo jakostjo in obsegom.

Postopek obsega ocenjevanje različnih poškodb (razpoke, obraba, udarne jame, krpe, stik na betonskem vozišču) in obsega jakost površine poškodb (procent vozne površine z neko poškodbo) ter je v razponu od 0 do 3 (preglednica »Jakost poškodb S_m «).

Enačba MSI (Marinko, B., 2004, str. 5) je ponderirana vsota produktov jakosti in obsega posamezne poškodbe:

$$MSI = \sum_m A_m \cdot G_m \cdot S_m \quad \text{enačba 5.19}$$

kjer pomeni

A_m obseg poškodb (preglednica »Obseg poškodb«)

G_m utež posameznih poškodb (preglednica »Utež posamezne poškodbe«)

S_m jakost poškodbe (preglednica »Jakost poškodb S_m «)

m vrsta poškodbe (r – razpoka, o – obraba, j – udarna jama, k – krpe, s – stik)

Jakost poškodb S_m (Marinko, B., 2004: str. 4)

	0	1	2	3
Razpoke	brez	ozke ali dobro zalite	široke vzdolžne, prečne – nad 3mm 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	udarne jame v nastajanju, poglobljanje luščenja	udarne jame globine do 5 cm, premera do 20 cm	udarne jame globine nad 5 cm, premera nad 20 cm
Krpe	brez	krpa narejena z odrezkanjem slabe obrabne plasti, z ravnimi robovi	krpe narejene 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

Obseg poškodb (Marinko, B., 2004: str. 5)

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

Utež posamezne poškodbe (Marinko, B., 2004: str. 5)

	Asfaltno in tlakovano vozišče	Betonsko 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

Mejne vrednosti MSI se gibljejo od 0 do 9, kjer pomeni 0 najmanj poškodovano in 9 najbolj poškodovano površino. Za vse kategorije cest so definirane mejne vrednosti MSI, ki so določene glede na PLDP in predstavljajo meje med petimi razredi stanja vozišča (naslednja preglednica razredov).

Razredi poškodovanosti v odvisnosti od PLDP (Marinko, B., 2005: str. 3)

PLDP	Razredi stanja vozišča na državnih cestah				
	Zelo slabo	Slabo	Mejno	Dobro	Zelo dobro
nad 28.500	nad 2,4	1,6 – 2,4	1,0 – 1,6	0,4 – 1,0	pod 0,4
24.001-28.499	nad 2,5	1,7 – 2,5	1,1 – 1,7	0,5 – 1,1	pod 0,5
20.001-24.000	nad 2,6	1,8 – 2,6	1,2 – 1,8	0,6 – 1,2	pod 0,6
17.000-20.000	nad 2,7	1,9 – 2,7	1,3 – 1,9	0,7 – 1,3	pod 0,7
14.001-16.999	nad 2,8	2,0 – 2,8	1,4 – 2,0	0,8 – 1,4	pod 0,8
12.000-14.000	nad 3,0	2,2 – 3,0	1,5 – 2,2	0,9 – 1,5	pod 0,9
pod 12.000	nad 3,2	2,4 – 3,2	1,6 – 2,4	1,0 – 1,6	pod 1,0

Komentar k preglednici: Meje razredov so glede na volumen prometa ekonomsko pogojene. Mejne vrednosti MSI so nižje pri večji gostoti prometa, kar daje cesti večji pomen in višjo raven uslug. Razredi stanja oziroma poškodovanosti, tj. zelo slabo, slabo, mejno, dobro in zelo dobro, govorijo o nujnosti ukrepanja.

S homogenizacijo se združijo 50 metrski odseki v daljše med seboj podobno poškodovane odseke. Homogenizacija je pomembna, ker predstavlja osnovo za načrtovanje ukrepov vzdrževanja na mrežnem nivoju, hkrati zahteva tudi vsaj 300 m dolge homogene odseke. Krajši bolj poškodovani odseki se lahko nahajajo med daljšimi manj poškodovanimi in se zato urejajo z ukrepi rednega vzdrževanja namesto z investicijskimi ukrepi.

5.6.4 Praktični primer

Mejne vrednosti vizualne ocene stanja vozne površine za določene gostote prometa so prikazane v prej navedeni preglednici »Razredi poškodovanosti v odvisnosti od PLDP«. V primeru obravnavane ljubljanske obvoznice se upoštevajo omejitve razredov stanja vozišča z gostoto nad 28.500 PLDP. Preglednica 5.4 prikazuje dejansko stanje vozne površine v trenutnem letu na voznem in prehitevalnem pasu. Odseki, ocenjeni z vrednostjo nad 1,6, so potrebni sanacije, saj ta ocena predstavlja slabo in zelo slabo stanje. Odseki, ocenjeni med 1 in 1,6, so zadovoljivi in za enkrat še ne potrebujejo popravil, razen če se nahaja med dvema slabima ali zelo slabima odsekoma in ga tako vključimo v sanacijo. Večji del obravnavane ljubljanske obvoznice je v dobrem in zelo dobrem stanju, iz česar sledi, da je cesta dobro vzdrževana.

Ocena stanja vozišč je bila na severni ljubljanski obvoznici izvedena v letu 2004 (izmerjeni MSI v preglednici 5.4). V trenutnem letu 2007 je MSI skladno z modelom propadanja (poglavje 6) narasel na vrednosti, prikazane v stolpcu »v trenutnem letu« (tj. v letu 2007), ki se ga obravnava pri oceni.

Preglednica 5.4: Vizualna ocena stanja vozne površine MSI

Element ID	MSI voznega pasu		MSI prehitevalnega pasu	
	izmerjeni	v trenutnem letu 2007	izmerjeni	v trenutnem letu 2007
0014_0	1.87	3.2	2.65	3.92
0014_0,22	1.87	3.45	0.25	0.69
0014_1,3	1.87	3.45	0.06	0.23
0015_0	0	0.03	0	0.01
0015_0,3	0	0.03	0	0.01
0015_1,2	0	0.03	0	0.01
0015_1,6	0	0.03	0	0.01
0085_0	0.05	0.23	0.41	0.85
0085_0,6	0.05	0.23	0.41	0.85
0086_0	0.12	0.42	0.34	0.85
0086_0,5	0.12	0.42	0.34	0.85
0088_0	0.45	1.13	0.27	0.69
0088_0,3	0.45	1.13	0.27	0.69
0088_0,95	0.45	1.13	0.27	0.69
0089_0	1.31	2.56	3.02	4.7
0089_0,32	1.31	2.56	3.02	4.7
0089_0,84	1.31	2.56	3.02	4.7
0089_0,95	0.17	0.63	3.02	4.7
0089_1,55	0.17	0.63	3.02	4.7
0089_2,1	0.17	0.63	3.02	4.7
0090_0	1.65	2.99	4.2	5.95
0090_0,25	1.65	2.99	0.86	1.71
0090_0,4	0.06	0.44	0.86	1.71
0090_0,7	0.06	0.44	0.86	1.71
0090_1,25	0.06	0.44	3.22	4.7
0090_1,72	0	0	0	0
0614_0	3.05	4.7	0.12	0.42
0614_0,3	1.47	2.99	0.12	0.42
0614_0,6	1.47	2.99	0.12	0.42
0614_1,5	1.47	2.99	0.12	0.42
0615_0	1.68	2.99	0.93	1.71
0615_1,2	0	0.05	0	0.03
0685_0	0.15	0.42	0	0.03

“se nadaljuje”

“nadaljevanje”

Element ID	MSI voznega pasu		MSI prehitevalnega pasu	
	izmerjeni	v trenutnem letu 2007	izmerjeni	v trenutnem letu 2007
0685_0,6	0.15	0.42	0	0.03
0686_0	0.04	0.16	0.17	0.55
0688_0	0.06	0.44	0	0.03
0688_0,4	0.06	0.44	0	0.03
0688_0,65	1.62	2.99	0	0.03
0688_1,02	1.62	2.99	0	0.03
0689_0	0.26	0.86	3.01	4.7
0689_0,3	0.26	0.86	3.01	4.7
0689_1,15	1.56	2.99	0.5	1.04
0689_1,6	0.1	0.44	4	5.52
0689_2,1	0.1	0.44	4	5.52
0690_0	0	0.09	2.4	3.56
0690_0,25	0	0.09	0.81	1.46
0690_0,4	1.66	2.99	0.81	1.46
0690_1,34	1.66	2.99	1.76	2.87

5.7 Odvodnjavanje voznih površin

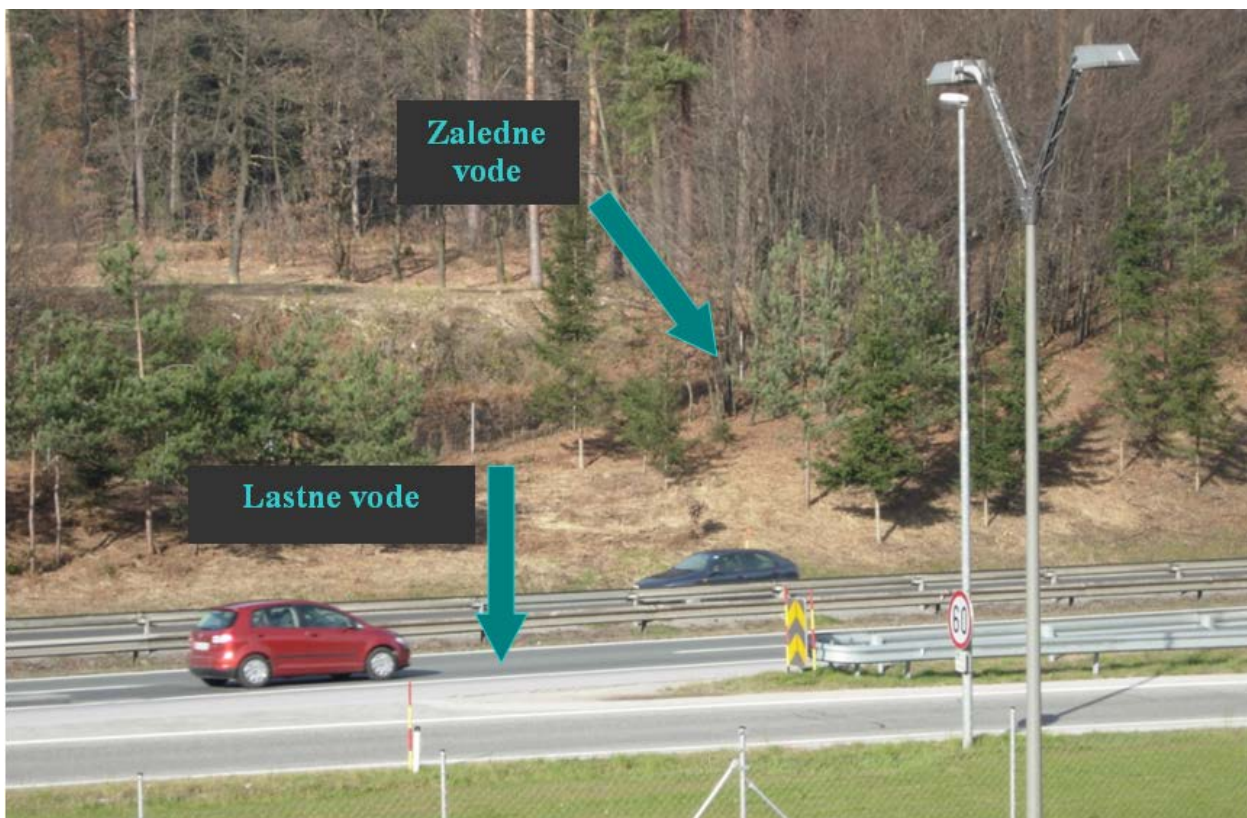
5.7.1 Splošno

Z vstopom v Evropsko Unijo se je v Sloveniji marsikaj spremenilo. Tako se je z ozaveščanjem za varstvo okolja in na podlagi z vodno direktivo (WFD - Water Frame Directive) izvedla uredba, ki predpisuje ukrepe in priporočila za zaščito vodnih virov na območju javnih cest (Uredba o emisiji snovi pri odvodnjavanju padavinske vode z javnih cest; Ur.l. RS, št. 41/04).

Odvodnjavanje padavinske vode z vozišč je komponenta gospodarjenja z voznimi površinami, ki pripomore k povečanju varnosti vožnje in njegovemu nemotenemu poteku. Hkrati ima ustrezna odvodnja velik pomen pri zmanjšanju negativnih vplivov na okolje, predvsem na vode in tla. S sistemom odvodnjavanja je potrebno zagotoviti čim hitrejši odvod vseh padavinskih voda z območja utrjene površine ceste (lastne vode) in z vseh okoliških površin (zaledne vode in tuje vode - vodotoki), s katerih se vode stekajo proti cesti (slika 5.1).

Padavine, ki se jih odvodnjava, so zgolj deževja in nalivi, katera intenziteta in pogostost so odvisni od meteoroloških in klimatskih razmer, geografske lege, letnega časa idr.

Padavinske vode se odvodnjavajo do najbližjega odvodnika, ki je zaradi onesnaženosti vode kombiniran z zadrževalnikom. Zadrževalnik zadrži bolj onesnaženo vodo (ob prvih minutah naliva), ki jo počasi spušča z manj onesnaženo vodo do čistilne naprave po mešanih kanalizacijskih sistemih. Izven urbanih naselij ali tam, kjer je voda manj obremenjena, se lahko odvodnjava tudi s prostim iztokom v bližnje vodotoke, na travnike ipd. Načelo čim daljšega zadrževanja padavinskih vod na mestu njihovega padca, v cestogradnji ne deluje, saj je potrebno vodo odvajati s cestišča. Zelo pomembno pa je, da se zmanjša količina odtoka po kanalizaciji, kakor tudi obremenitev čistilne naprave in recipientov, saj bi to povzročilo zmanjšanje kvalitete okolja (npr. dvig vodostaja in biokemijske obremenitve ipd.).



Slika 5.1: Zaledne in lastne vode

S pomočjo predhodnih raziskav je možno podati relevantne (ustrezne) informacije tudi za obratovanje odvodnjavanja s cest. Odnos med cestami in vodami se opredeljuje s hidrološkimi

raziskavami, s čimer se prikažejo stanje vodonosnika, nivo podzemne vode v daljšem hidrološkem obdobju, smer in hitrost toka podtalnice, ranljivost, občutljivost in izpostavljenost vodonosnika ipd. S temi raziskavami se izbere najugodnejši način odvodnjavanja tako, da pride do čim manjšega vpliva na kakovostno in količinsko stanje podzemnih in stoječih voda, na akumulacije pitnih voda ter nenazadnje tudi na okoliška območja. Iz tega sledi, da je potrebno vode in okolje zaščititi pred negativnimi vplivi poseganja v naravo z izgraditvijo cestnega omrežja oziroma se cesta postavi v najmanj občutljivo območje (tj. izven območij vodnega zajetja in ostalih vodnih virov). Iz tega sledi, da se morajo vode zaščititi, kar se izvaja po smernicah za zaščito voda pred cestnim onesnaženjem.

5.7.2 Zaščita pred onesnaženjem

Padavinska voda, ki pade na vozno ali zaledno površino, predstavlja obremenitev voda, še večje tveganje pa predstavlja cesta in po njej odvijajoči se promet. Onesnaženje vodnih virov z območja cest se prenaša s padavinsko vodo, manjši del pa tudi po zraku, zaradi česar popolna zaščita vodnih virov ni mogoča.

Pojem »zaščita voda« se je razvil v okviru vodnega gospodarstva oziroma natančneje zdravstvene hidrotehnike, ki je njegov del in skrbi za kakovost vseh vrst voda. Odvajanje onesnaženih padavinskih voda z voznih površin predstavlja del preprečevanja in nadzora onesnaženja, kar je Evropska unija uvedla z direktivo IPPC (Integrated Pollution prevention Control Directive) sprejeto leta 1996 (Panjan, J., 2002: str. 10).

Oblika onesnaževanja je stalna ali izredna, ki se razlikujeta po obsegu in nevarnosti. Stalno onesnaženje se odraža kot spiranje naftnih derivatov, ostankov pnevmatik, zavornih oblog in v zimskem času soli v času dežja z vozne površine. Stalno onesnaženje je mogoče kontrolirati z odvajanjem vode v ustrezne zadrževalne objekte. Do izrednega onesnaženja pride ob izrednih dogodkih (npr. nesreče z razlitjem nevarnih snovi), ki ima lahko katastrofalne posledice za okolje. Ob prepoznavanju hitrosti širjenja onesnaženja in hitrosti reakcije

intervencijske ekipe je mogoče predvideti uspešnost zaščite voda in okolice pred onesnaženjem.

Prenos onesnaženja s cest na vodne vire je odvisen od geoloških in hidrogeoloških lastnosti kamnine ali zemljine, ki se nahaja nad gladino podzemne vode in se jih zajame s parametri občutljivosti vodonosnika (tj. kamnine in zemljine) in izpostavljenosti oziroma ranljivosti vodnega vira (tj. podzemna voda). Ranljivost je čas, ki ga potrebuje onesnaženje, da ponikne do neke določene globine, kjer se izvaja sanacija. Krajši je čas prenosa onesnaženja večja je ranljivost. Izpostavljenost je razmerje med posledico onesnaženja in časom dospelja onesnaženja skozi vodonosnik do vodnega vira. Občutljivost območja, preko katerega poteka vozišče, se poda skupaj s parametrom ranljivosti in izpostavljenosti ter določa način zaščite glede na stalnost onesnaženja.

Potrebno je poiskati ustrezen rešitev ali različico zaščite podzemne ali površinske vode. To so zaščitni ukrepi za preprečevanje neposrednih vplivov prometa na kakovost virov vode, ki so podani v odvisnosti od občutljivosti obravnavanega območja. Zaščita se začne s kakovostnim izvajanjem primernih struktur, objektov in naprav za odvajanje in čiščenje padavinske vode, ki jih je nato potrebno nadzorovati in vzdrževati.

5.7.3 Dimenzioniranje odvodov

5.7.3.1 Osnove za dimenzioniranje

Odvodnjavanje vode s ceste temelji na odtoku vode, ki pade na površino in se jo preusmeri na naprave za odvodnjavanje. Te naprave morajo imeti sposobnost prevzeti vodo, zaradi česar je potrebno proučiti količino odtoka. Le ta je odvisen od trajanja padavin, enotske jakosti padavin in prispevne površine ter se ga izračuna po enačbi 5.20 (Odvodnjavanje in kanaliziranje cestnih premostitvenih objektov, 1997: str. 16):

$$Q_{odt} = \varphi \cdot q' \cdot \sum_{i=1}^n A_E \quad \text{enačba 5.20}$$

kjer pomeni:

Q_{odt} odtok s površine [l/s]

φ koeficient odtoka [-]

q' enotska jakost padavin [l/(ha*s)]

A_E velikost prispevne (odvodnjavanje) površine, na katero se nanaša odtok padavin
[ha]

Koeficient odtoka φ predstavlja razmerje med količino dežja, ki pade na prispevno površino in količino vode, ki odteče v kanal oziroma v napravo za odvodnjavanje. Pri tem je potrebno upoštevati, da pomenijo voziščne konstrukcije povečan delež neprepustnih površin in s tem povečanje odtočnega koeficienta, katerega vrednost mora biti vedno manjša od 1. Koeficient zajema prepustnost prispevne površine oziroma kolikšen delež padavinske vode odteče v sistem odvodnjavanja.

Enotska jakost padavin predstavlja količino padavin na enoto površine v enoti časa, ki je določena s pomočjo intenzitete (jakosti) padavin i [mm/min] oziroma trajanjem padavin T [min]. Padavine so po jakosti lahko močne in trajajo praviloma kratek čas, ali pa manjše, ki trajajo daljši čas. Za različna padavinska območja se določijo padavinske krivulje ali ombrogrami, ki se podajajo za določeno pogostost pojava n . Pogostost padavin (naliva) n predstavlja podatek, kolikokrat je neka količina padavin v določenem obdobju njenega trajanja dosežena ali presežena. Na pogostost padavin se navezuje povratna doba padavin, ki predstavlja obdobje v letih, ko padavine zopet dosežejo maksimalno vrednost in s tem pride do maksimalnega odtoka. Na podlagi teh podatkov se dimenzionirajo naprave za odvodnjavanje vode s ceste.

Za izračun odvodnje padavin s ceste je tako potrebno poznati podatke o samih padavinah (intenziteta i , količina, trajanje T in pogostost padavin n), podatke o prispevni površini (delež utrjene površine, hrapavost, nagibi nivelete in prečni nagibi) in od naštetih odvisna pot oziroma čas odtekanja.

5.7.3.2 Odvod vode iz voznih površin

Padavinska voda, ki pade na cesto, se ne sme zadrževati na podlagi, ker bi se s tem poslabšali pogoji vožnje. V ta namen je potrebno vzdolžni in prečni profil ceste primerno oblikovati in med seboj uskladiti.

Nagib nivelete ali vzdolžni nagib ceste mora biti minimalen, v primeru, da prečni nagib q ceste zadostuje pogojem odvodnjavanja, je lahko tudi ničen (horizontalna niveleta). Za učinkovito površinsko odvodnjavanje z asfaltnih površin je potreben minimalni vzdolžni nagib s_{min} 0,3% in minimalni prečni nagib q_{min} 2,5%, ki se v končni fazi predstavljata v obliki rezultirajočega nagiba q_{rez} (enačba 5.21; Odvodnjavanje cest, 2004: str. 29). Ta nagib zagotovi čim hitrejši odtok padavinske vode k robu vozišča, ki je povezan z gradientom največjega padca. Minimalni gradient oziroma padec ne sme biti manjši od minimalnih hidravličnih pogojev za odtekanje vode, ki za asfaltne površine znaša $q_{rez,min} = 0,3\%$, maksimalna vrednost rezultirajočega nagiba pa $q_{rez,max} = 10\%$.

$$q_{rez} = \sqrt{s^2 + q^2} \quad \text{enačba 5.21}$$

Rezultirajoči nagib bolj ali manj definira kritične točke, ki se nahajajo na območjih vijačenja ceste. Tu lahko prihaja do sprememb v prečnem nagibu, ko zaradi majhnih nagibov v prečni smeri zastaja voda v ničelnih točkah. Podobno lahko nastane pri priključevanju sekundarnih cest. Takrat je potrebno vpeljati nov rezultirajoči nagib, ki izključuje prečni nagib.

K odvodnjavanju voznih površin spadajo tudi utrjene in neutrjene stranske površine vozišča. Le te morajo biti pod takšnim nagibom, da voda z njih ne odteka na vozno površino, temveč v zaledje oziroma izbrani sistem odvodnjavanja. S ciljem hitrega odtekanja naj bi imela bankina nagib 4 do 7 %. V primeru, da se vozišče zaključi z neutrjeno zatravljeno površino, mora njen prečni nagib znašati 12%.

Nekaj vode, ki pade na površino, lahko ponikne v notranjost voziščne konstrukcije, kjer se navadno zadrži na vodi neprepustni plasti. Z ustrežno izvedbo nevezane nosilne plasti in posteljice je možno doseči, da se voda ne zadržuje znotraj konstrukcije oziroma kvalitetno

odteka, kar predstavlja tudi zaščito proti mrazu. To se doseže z minimalnim prečnim nagibom 4%.

5.7.3.3 Naprave za odvodnjavanje

V cestogradnji se izvršujejo različni ukrepi odvodnjavanja. Izbere se najugodnejši sistem odvajanja in naprave. Naprave je potrebno v krajino vključiti tako, da se izbere s primerno obliko in uporabljeni material, ki ne sme izstopati iz krajine in čim hitreje odvaja vodo do izbranega recipienta ali sprejemnika.

Sprejemnik padavinske vode s cest so lahko tla, tekoče ali stoječe površinske vode in javna kanalizacija. Le te je potrebno zavarovati pred onesnaženjem ali obremenjevanjem (glej poglavje Zaščita pred onesnaženjem).

Naprave, ki se uporabljajo za odvodnjavanje, se delijo glede na način odvodnje na

- površinski odvod (jarki, korita, koritnice, robniki in požiralniki) in
- podpovršinski odtok (cevna kanalizacija, revizijski jaški, prepusti, drenaže, ponikalnice).

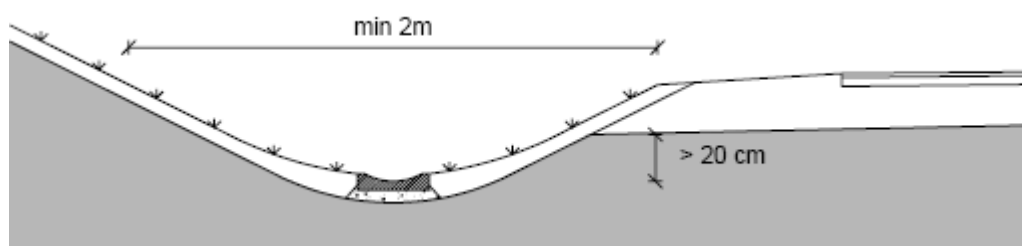
Naprave za površinsko odvodnjo se dimenzionirajo s hidravličnim izračunom, in sicer glede na odtok padavinske vode s ceste in predpostavljene hitrosti vode tako, da se določi mokri prerez kotanje oziroma geometrija njenega svetlega dela. Svetli del predstavlja prečni prerez, ki ima površino A ; tj. korito odvodnika, ki je lahko pravokotne, trikotne, trapezne oblike ali pa kadunjast. Po njem teče voda s hitrostjo v in se določi s hidravličnim izračunom, ki se ga določi z enačbo 5.22 (Smernice za projektiranje..., 2005, str. 8):

$$Q = v \cdot A$$

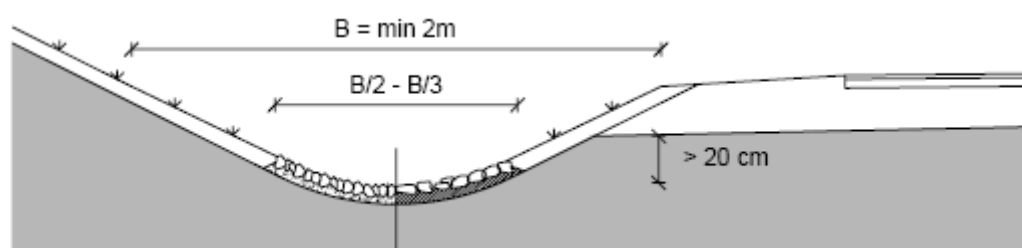
enačba 5.22

Jarek je ena najpogostejših in najbolj učinkovitih naprav sistemov odvodnjavanja. Ne glede na obliko mora njegovo dno segati vsaj 20 cm v raščeni teren. Način obdelave dna jarka in vzdolžni padec jarka sta v tesni povezanosti. V primeru majhnih padcev je mogoče odtok povečati z vgradnjo gladke betonske kanalete, pri čemer se poveča možnost toka vode

(naslednja slika »Primer jarka za majhne vzdolžne padce«). Pri bolj ali manj strmih nagibih se v dno jarka vstavijo bolj grobi materiali, ki nekoliko zaustavijo tok vode. Pri tem se dno obdela z zatravitvijo ali pa različnimi velikostmi grobih lomljenih kamnitih zrn (slika na strani 106 »Primer jarka bolj ali manj strmih vzdolžnih padcev«). Za izredne padce jarkov se vstavijo kaskade ali ponavljajoče stopnice. Jarek mora slediti naravnemu padcu terena z uporabo čim bolj naravnih materialov.

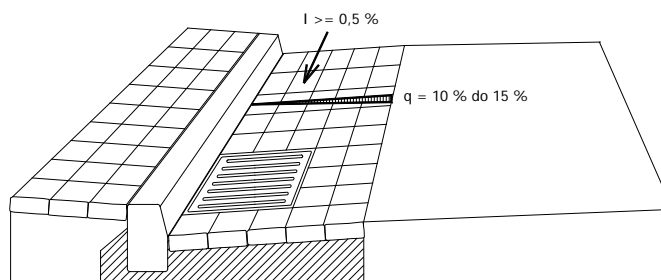


Primer jarka za majhne vzdolžne padce (Odvodnjavanje cest, 2004: str. 34)

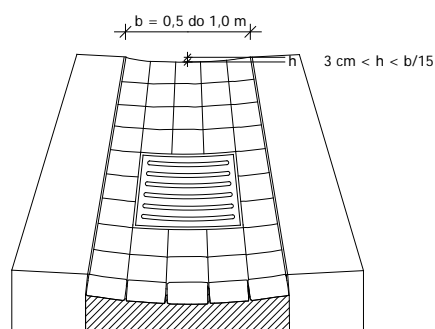


Primer jarka za bolj ali manj strme vzdolžne padce (Odvodnjavanje cest, 2004: str. 35)

Požiralniki so navadno kombinirano dimenzionirani s koritnicami ali žlebovi (spodnji sliki) in robniki ter jarki. Njihova naloga je, da odvajajo padavinsko vodo v cevno kanalizacijo. Dimenzionirani so tako, da sprejmejo celotno vodo s ceste. Pri razporeditvi in velikosti požiralnikov se upošteva dejstvo, da padavinska voda s ceste le delno zlije v določen požiralnik, določen del pa ga preide in steče naprej v smeri največjega gradienta. V ta namen si sledijo eden za drugim s predpisanim razmikom.



Koritnica ob robu vozišča s talnim požiralnikom (Smernice za projektiranje..., 2005,; str. 15)



Tlakovan povezen žleb s talnim požiralnikom (Smernice za projektiranje, 2005: str. 15)

Sistem kanalizacije je podpovršinski način izvedbe odvodnjavanja, ki mora imeti sposobnost sprejeti vso vodo iz požiralnikov in jo pripeljati do recipientov. Vključuje cevno kanalizacijo, revizijske jaške, prepuste ipd.

Cevna kanalizacija je sklop cevi, ki so povezane ena za drugo in peljejo vodo do recipienta. Revizijski jaški pa so deli kanalizacijskega sistema, ki so locirani na mestih spremembe smeri vodenja cevi ali spremembe prečnega preseka cevne kanalizacije. Poleg tega je njihova naloga omogočanje pregleda cevne kanalizacije oziroma morebitnega čiščenja, zato mora njihova površina svetlega dela znašati vsaj 80/80 cm. Prepusti so kanalske cevi, postavljene prečno na potek ceste, ki prevajajo vodotok skozi cestno telo.

Dimenzije cevi se določajo na podlagi odtoka padavinske vode z vozniških površin in zaledja v kanalski sistem Q_{odt} oziroma s hidravličnim izračunom. Izvedba vključuje premer cevi ter minimalne in maksimalne vrednosti vzdolžnega nagiba cevi. Padeč cevi I močno vpliva na

hitrost toka in pretok, kar je razvidno iz naslednjih enačb (Smernice za projektiranje, 2005: str. 8):

$$Q_{odt} = v \cdot A \quad \text{enačba 5.23}$$

$$v = C \cdot R^{1/2} \cdot I^{1/2} \quad \text{enačba 5.24}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{enačba 5.25}$$

Voda, ki ne odteče po površini in se infiltrira v notranjost voziščne konstrukcije, ter zaledna voda, ki priteka v območje cestne konstrukcije, močno vpliva nanjo in hkrati na primernost vozne površine, zato jo je potrebno odvajati, in sicer s sistemom drenaž. Osnove za zgraditev drenažnega sistema se določi na podlagi količine površinske vode, kot tudi infiltrirane vode in spremembe nivoja podzemne vode, tj. hidroloških pogojev. Poleg teh podatkov je pomembna tudi karakteristika tal oziroma vodovpojnost, saj se na podlagi tega izbere filtrski material drenaž.

Drenaže so lahko površinske, katerih naloga je usmerjanje vode k drenažni cevi. Minimalni premer drenažnih cevi znaša 10 cm, ki je postavljen najmanj 20 cm pod planumom podlage, njihov najmanjši padec pa znaša 0,5%. Drenažna cev leži na neprepustni plasti zemljine ali podložni plasti cementnega betona, ki ne dopušča pronicanja vode, dno cevi pa je zaprto v obliki žleba. Cev se konča v kanlizijskem jašku ali pa prosto v vodotoku. Površinske drenaže so navadno iz bolj grobega materiala, ki vsebuje tudi finejša zrna.

Sistemi, s katerimi se izvaja zaščita tal in vodnih virov pred onesnaženjem, se imenujejo *tesnilni sistemi*. Osnovni elementi talne tesnilne konstrukcije so podlage, tesnilne in zaščitne plasti. Osnovna naloga podlage je, da zmanjšuje možnosti poškodbe tesnilne plasti in izboljšuje njeno izvedbo. Tesnilna plast zagotavlja neprepustnost površine in jo ščiti. Uporablja se ob izvedbi katerega koli odvodnega sistema. Zaščitna plast ščiti tesnilno plast pred učinki zmrzovanja in razsuševanja, pred poškodbami in preboji ob naletih vozil.

5.7.4 Navodila za redno upravljanje in vzdrževanje odvodnjavanja

Ustrezno odvodnjavanje omogočajo:

- groba hrapavost, ki ima učinek drenažnega sistema
- odpravljanje nepravilnosti na vozni površini, kot so manjše ali večje vdolbine
- primerna nagnjenost voziščne konstrukcije
- primerna uporaba sistema naprav odvodnjavanja,

katerih stanje se lahko v nekem časovnem obdobju poslabša.

Drenažni učinek se zmanjšuje lahko zaradi zapolnitve votlin z oljem, prahom ali drugimi delci. Votline so bolj izpostavljene, zato omogočajo hitrejšo oksidacijo veziva. Na vozni površini nastajajo v analiziranem obdobju različne neravnine in druge poškodbe. Naprave sistema odvodnjavanja se lahko poškodujejo, cevni elementi zapolnijo z onesnaženjem ipd.

Posledica zgoraj naštetega je naslednje:

- zastajanje vode na vozni površini
- zmanjšanje torne sposobnosti med pnevmatiko in vozno površino
- pojav učinka hidroplaninga
- nižja odsevnost površine in neenakomerno razporejena svetlost
- povečanje hrupnosti, saj so mokra vozišča glasnejša kot suha.

Naštete posledice govorijo o vpeljavi rednega upravljanja in vzdrževanja v objektov za površinsko odvodnjavanje padavinskih voda, ki ga opravlja nadzorna služba. Nadzorna služba zajema redne preglede in preglede pri izrednih dogodkih, njihovo delo pa je tudi izdelati poročilo o rednih in izrednih dogodkih.

Vzdrževalni ukrepi zajemajo takojšnjo preprečevanje korozije, če je ta prisotna, in zagotavljanje estetskega videza. V primeru nastanka površinskih poškodb je potrebna takojšnja sanacija teh delov z ravnanjem ali zamenjavo teh delov v odvisnosti od stopnje poškodbe. Zagotoviti je potrebno funkcionalnost sistema odvodnjavanja, dostop do sistema in prehodnost ob ograji.

Različne izvedbe odprtih jarkov se vzdržuje mehansko ali ročno s košnjo obrobne vegetacije in odstranjevanjem nanošenega materiala (tj. odvečen nevezan material, ki ovira pretočnost kanala) iz pretočnega profila, ki se ga odpelje na deponijo. Cevne sisteme odvodnjavanja se spira z vodo pod pritiskom, nato pa se na človeku dostopnih delih izvede ročna odstranitev materiala in odvoz le tega na deponijo. Poškodovane dele sistema kot so revizijski jaški, peskolovci, robniki in nenazadnje tudi cevni sistem, se uredi z izkopom asfalta in odstranitvijo poškodovanega dela. Sledi utrjevanje podlage in vstavljanje novega elementa.

Dobri katastrski, prostorski in ostali podatki o sistemu in napravah imajo velik vpliv na učinkovito vzdrževanje predvsem zaprtega kanaliziranega sistema. Najpomembnejša je organizirana zbirka računalniške strojne in programske opreme, imenovana geografsko informacijski sistem ali GIS. Ta omogoča zbiranje, shranjevanje, iskanje, pretvorbo, analizo in prikazovanje prostorskih podatkov stvarnega sveta (Panjan, J. 2002: str. 258, 259).

Odvodnjavanje z voznih površin ni vključeno v program gospodarjenja z voznimi površinami.

6 MODELI PROPADANJA, BREZDIMENZIJSKI INDEKSI, ZDRUŽEVANJE INDEKSOV

6.1 Modeli propadanja

Stanje voznih površin se skozi analizirano obdobje spreminja, saj so izpostavljene različnim vplivom. Informacije o stanju vozišč je potrebno prognozirati, da bi lahko na osnovi analize ob vsakem času v prihodnosti napovedali stanje posameznih homogenih odsekov oziroma celotnega cestnega omrežja. V ta namen so se razvili modeli propadanja (Deterioration models), katerih namen je napovedovanje propadanja ali spreminjanja stanja voznih površin s časom in s tem prepoznavanje okvirnega obnašanja vozišča v prihodnosti. Definirani so z različnimi modeli spreminjanja, pri čemer morajo biti spremembe čim bolj skladne z dejanskim stanjem. Modele propadanja ali spreminjanja se razvije z več zaporednih ponavljajočih se krogov meritev določene lastnosti vozne površine v celotnem življenjskem ciklusu vozišča oziroma voziščne konstrukcije. Pri tem je potrebno spremljati tudi različne vplive, kot so promet (npr. letna rast prometa), klima, materiali, starost materialov ipd.

Vsaka lastnost vozne površine, kot so vizualno stanje vozne površine (poglavje 5.6), prečna in vzdolžna ravnost, drsno trenje, ki se ga opisuje s koeficientom drsnega trenja, starost obrabne plasti in vezanih zgornjih nosilnih plasti, se opisuje s svojim modelom spreminjanja stanja.

Iz tega so se razvili naslednji modeli, ki se uporabljajo v PMS-DARS in opisujejo spreminjanja lastnosti voziščne konstrukcije:

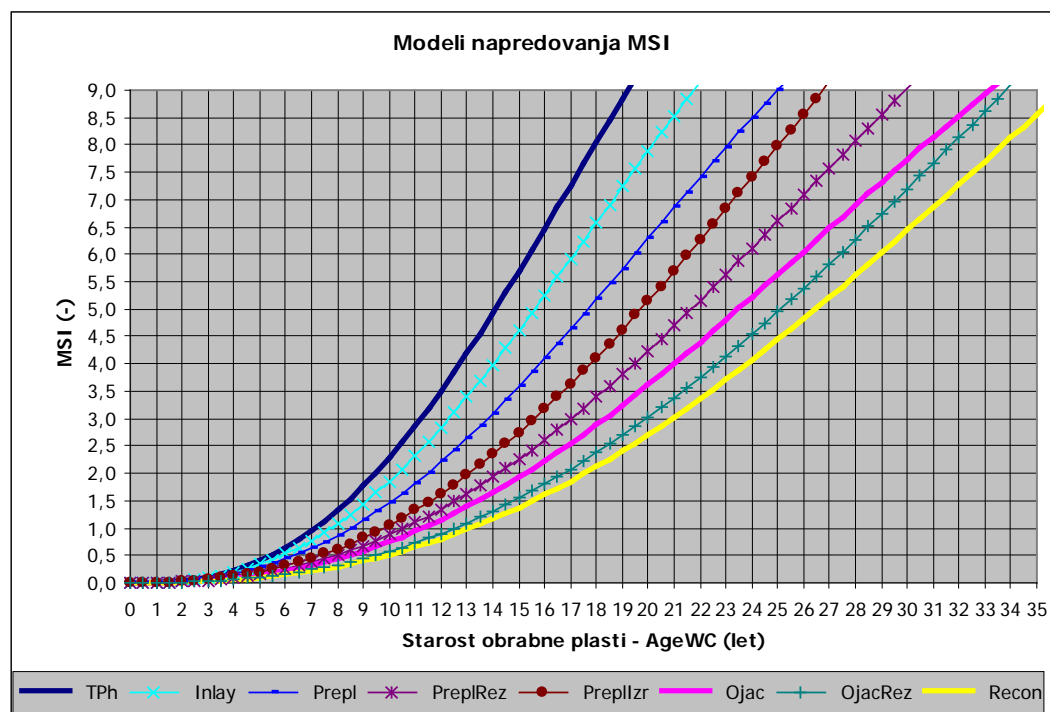
- model spreminjanja MSI (modificirani švicarski indeks)
- model spreminjanja globine kolesnic
- model spreminjanja vzdolžne ravnosti
- model spreminjanja drsnega trenja.

Programska oprema dTIMS_CT omogoča poljubno spreminjanje modelov, če se izkaže, da zasnovani model ne prikazuje dejanskega stanja vozišča. dTIMS_CT tudi omogoča, da se modeli prilagajajo glede na izmerjene vrednosti stanja in se lahko za vsak odsek posebej

določi drugačna različica modela oziroma se model za isti odsek premakne, da čim bolj verodostojno odraža spreminjanje lastnosti vozne površine v naravi.

6.1.1 Model spreminjanja MSI

Na podlagi MSI se ocenjuje vizualno stanje vozišča. Glede na spremembe stanja v več zaporednih cikličnih meritvah se določi nek vzorec časovnega spreminjanja, na podlagi katerega se izvajajo napovedi obnašanja vozišča.

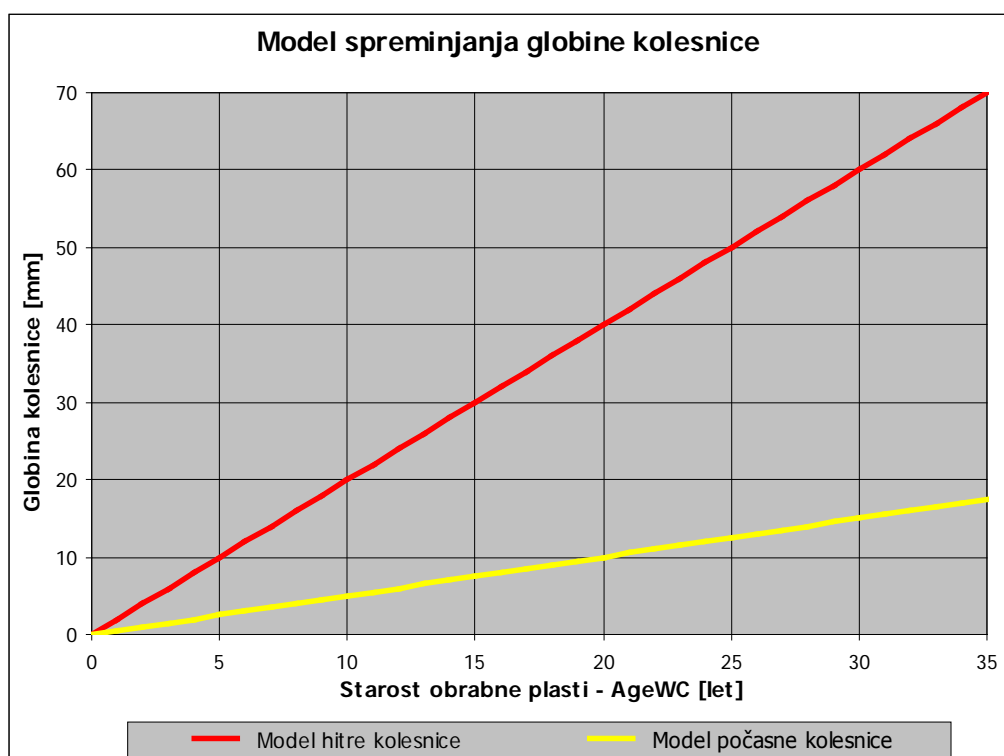


Model napredovanja MSI (Jamnik, J., 2007a: str. 9)

Model spreminjanja MSI v trenutni verziji PMS-DARS je naraščajoča eksponentna funkcija prometa, starosti voziščne konstrukcije in tipa voziščne konstrukcije. Model za novogradnjo se razlikuje od modelov po že izvedenem nekem vzdrževalnem ukrepu, kar prikazuje prejšnja slika (TPh – tankoplastna prevleka, Inlay – zamenjava plasti na enem prometnem pasu, Prepl – preplastitev z novo obrabno plastjo, PreplIzr – preplastitev s predhodnim rezkanjem starih plasti, Ojac – ojačitev z dvema ali več plastmi, OjacRez – ojačitev z eno ali več plastmi po predhodnem rezkanju starih plasti, Recon – zamenjava voziščne konstrukcije).

6.1.2 Model spreminjanja globine kolesnic

Kolesnice so prečne neravnine, ki nastanejo zaradi pritiska pnevmatik vozil na podlago. Kolesnice lahko hitro ali pa počasi (linearno) napredujejo, kar prikazuje naslednja slika. Napredovanje je odvisno od starosti voziščne konstrukcije in od prometnih vplivov. Navadno se globina kolesnic izmeri in časovno primerja le na voznem pasu, saj je tam promet najtežji.

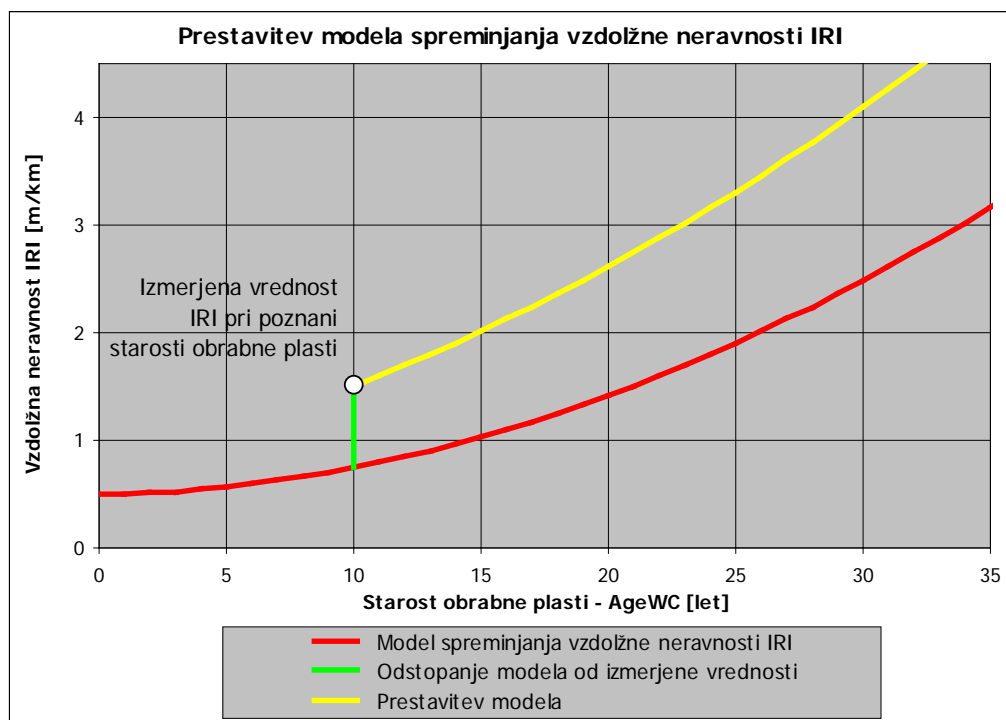


Model spreminjanja globine kolesnic (Jamnik, J., 2007a: str. 10)

6.1.3 Model spreminjanja vzdolžne neravnosti

Vzdolžna neravnost so nepravilnosti, ki nastajajo predvsem zaradi staranja krovne asfaltne plasti. Te nepravilnosti se opišejo z indeksom IRI, katerega vrednost v trenutni verziji PMS-DARS eksponentno raste s časom. V primeru, da izmerjena vrednost IRI pri znani starosti obrabne plasti ne pade na postavljeni model, dTIMS_CT omogoča avtomatični premik (z vektorjem) v izmerjeno točko, od tam pa se nadaljuje propadanje vozišča po modelu (spodnja

slika). S tem je omogočeno, prilagajanje modela za vsak odsek posebej glede na doseženo stanje v naravi.

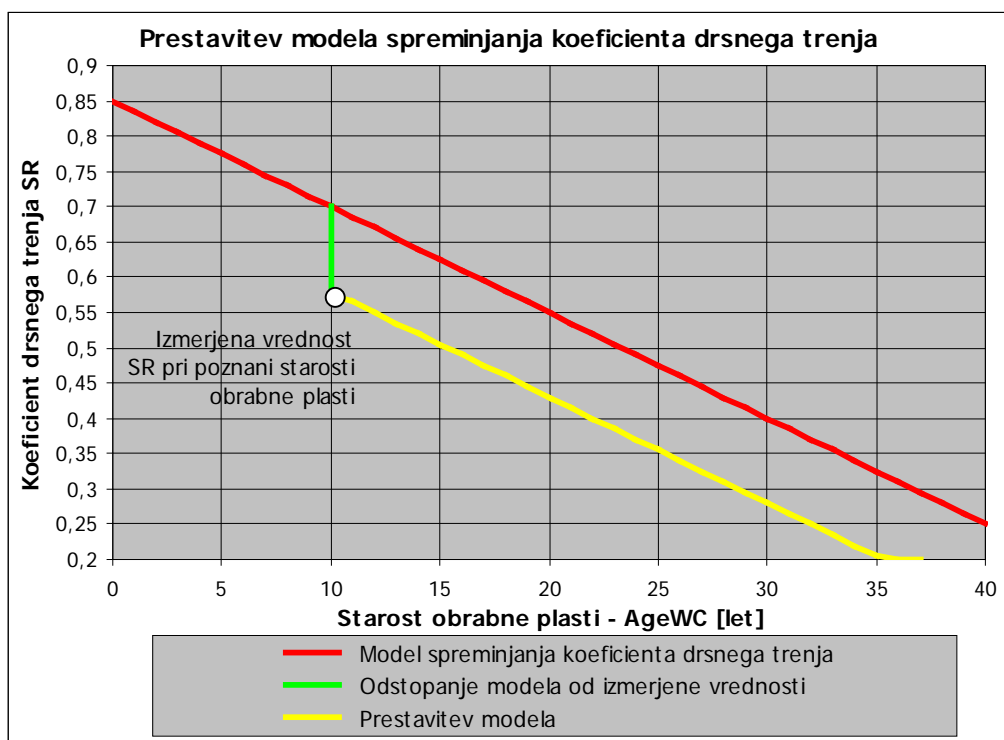


Model spreminjanja IRI in njegova premaknitev, če vrednost ne sovпада (Jamnik, J., 2007a: str. 11)

6.1.4 Model spreminjanja drsnega trenja

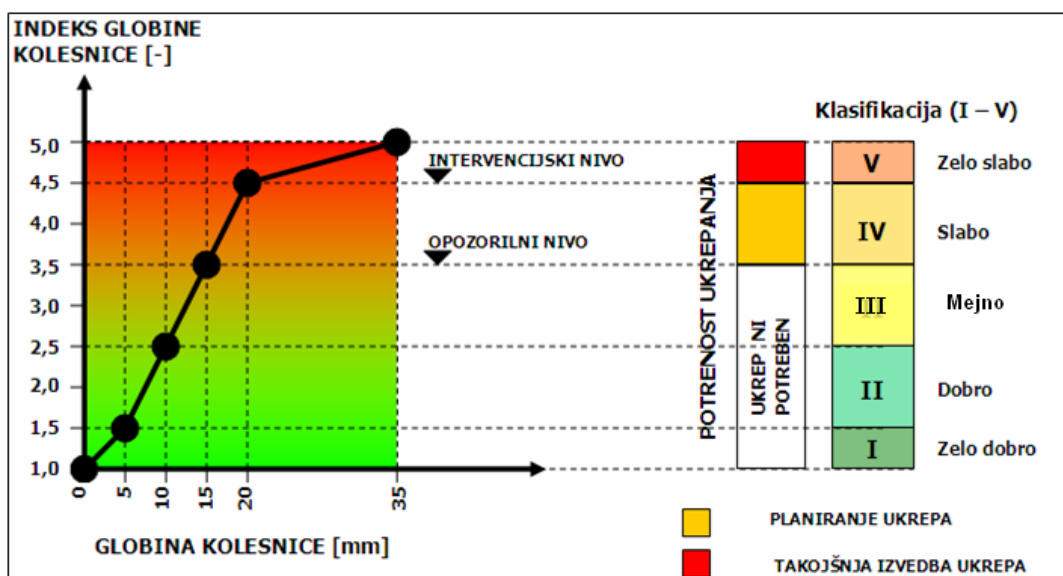
Koeficient drsnega trenja *SR* opisuje trenje med pnevmatiko in vozno površino ter s tem določa torno sposobnost vozne površine. Torna sposobnost vozne površine je tem večja, čim večji je koeficient, katerega vrednost se s časom in starostjo obrabne plasti manjša. V trenutni verziji PMS-DARS je model linearna padajoča funkcija.

V primeru, da izmerjena vrednost koeficienta drsnega trenja pri znani starosti obrabne plasti ne pade na posamezni model, se model avtomatično premakne v izmerjeno točko in se od tam nadaljuje propadanje vozišča po modelu (zgornja slika). S tem je omogočeno prilagajanje modla za vsak odsek posebej glede na doseženo stanje v naravi.



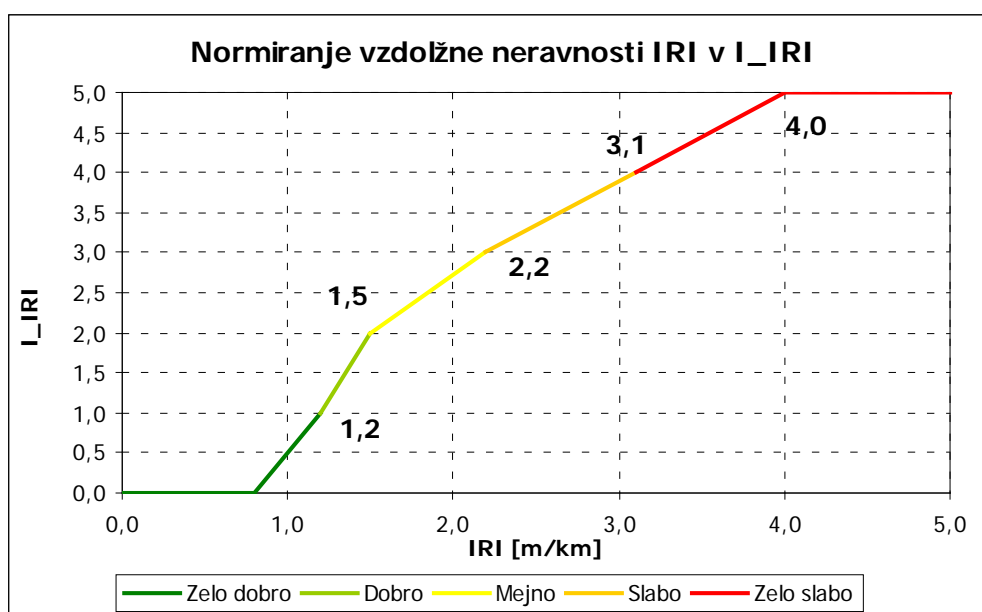
Model spreminjanja drsnega koeficienta in njegova prilagodljivost (Jamnik, J., 2007a: str. 12)

6.2 Brezdimenzijski indeksi



Definicije in meje posameznega razreda stanja (povzeto po: Jamnik, J., 2007a: str. 13)

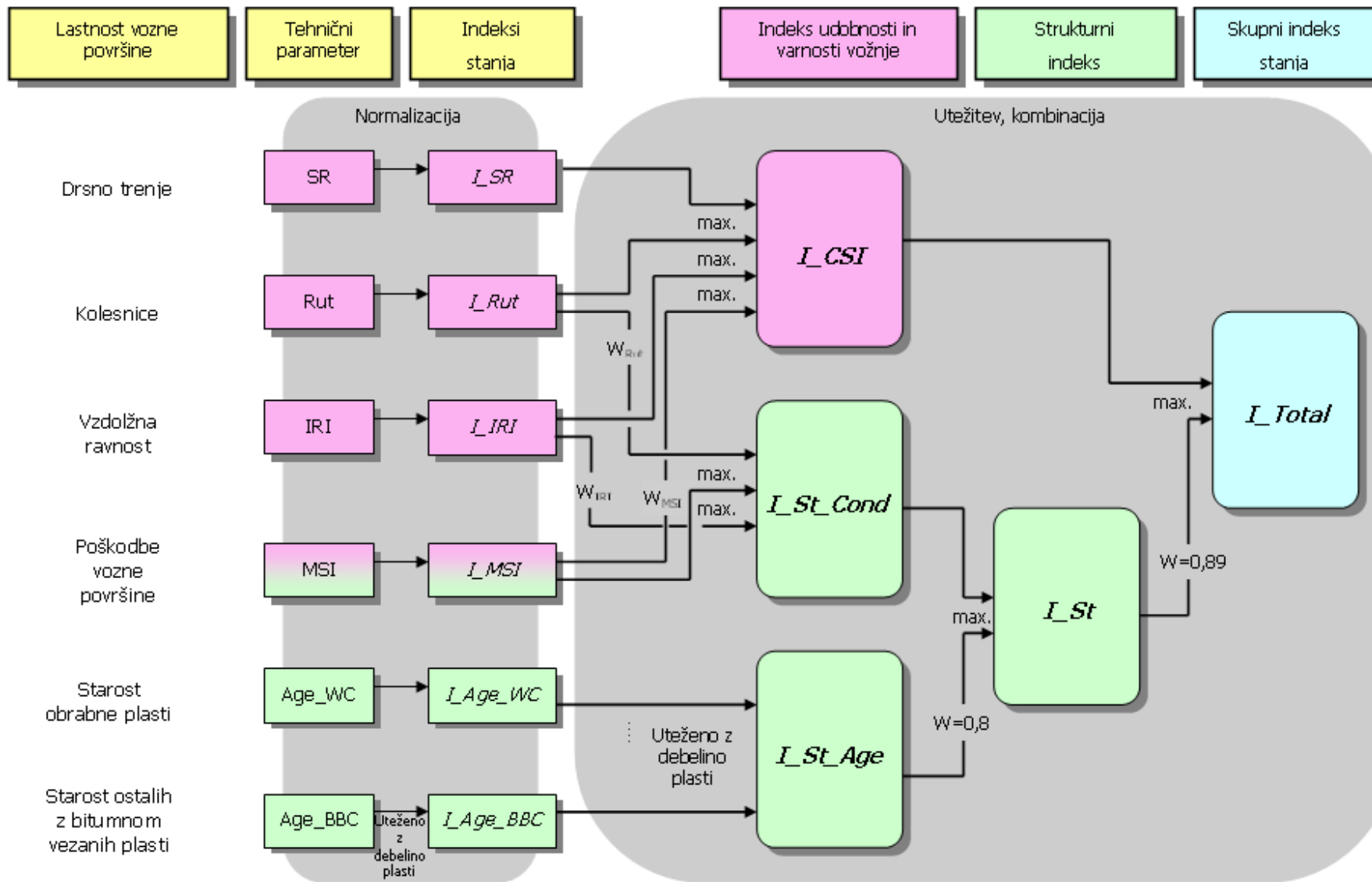
Za lažje spremljanje spreminjajočih se lastnosti voznih površin je potrebno ocene stanja poenotiti. V ta namen so v PMS-DARS vse lastnosti voznih površin pretvorjene v brezdimenzijske indekse (normalizacija). Brezdimenzijski indeksi dosegajo vrednosti od 0 do 5, pri čemer indeks [0 do 1] pomeni zelo dobro stanje, indeks [1 do 2] dobro stanje, indeks [2 do 3] mejno stanje, indeks [3 do 4] slabo stanje in indeks [4 do 5] zelo slabo stanje (prejšnja slika). Meje med razredi stanja so skladne s predmetnimi Tehničnimi specifikacijami za javne ceste. Primer normalizacije za vzdolžno ravnost prikazuje naslednji prikaz.



Normalizacija IRI (Jamnik, J., 2007a: str. 17)

6.3 Združevanje indeksov

Brezdimenzijski indeksi zavzemajo ocene merjenih faktorjev, kot so poškodbe voznih površin, globine kolesnic, vzdolžne ravnosti in drsnega trenja. Našteti indeksi se zaradi optimizacije vzdrževanja združujejo v skupni indeks I-Total, kjer se upošteva tudi starost obrabne in vezanih plasti, kar je razvidno iz prikaza »Združevanje posameznih indeksov v skupni indeks« na strani 107.



Združevanje posameznih indeksov v skupni indeks (Jamnik, J., 2007b: str. 11)

Najbolj je pri gospodarjenjem z vozišči potrebno zagotoviti varnost in udobnost vožnje, zato imajo ocena torne sposobnosti, vzdolžne in prečne ravnosti ter poškodb na vozni površini večjo težo. Hkrati imajo faktorji strukturne vrednosti, kot je starost, le minimalno utež v skupnem indeksu in s tem tudi pri ocenjevanju stanja. Indeks udobnosti in varnosti vključuje maksimalne merjene vrednosti vizualne ocene stanja, prečne in vzdolžne ravnosti. Strukturni indeks pa vključuje dejanske vrednosti ravnosti in vizualnega stanja ter starosti vezanih plasti voziščne konstrukcije.

Komentar k prejšnjemu prikazu:

Vsaka od lastnosti vozne površine (tj. drsno trenje, prečna in vzdolžna ravnost, površinske poškodbe ter starost obrabne in starost ostalih z bitumnom vezanih plasti) se opiše s tehničnimi parametri, ki jih je potrebno pretvoriti v brezdimenzijske indekse. Ti se združijo v dva vodilna indeksa: indeks I_CSI (Comfort and Safety ali udobnost in varnost) in indeks I_St (Structure ali strukturni indeks). Prvi ima v I_Total (skupni indeks) večjo težo kot drugi, saj sta varnost in udobnost vožnje pomembnejša faktorja.

6.4 Praktični primer

Preglednica 6.1: Indeksi stanja vozne površine na severni ljubljanski obvoznici

Element ID	Vizualno stanje MSI		Globina kolesnic VP	Vzdolžna ravnost	Drsno trenje	Udobnost in varnost	Strukturni indeks	Skupni indeks
	VP	PP						
0014_0	4.17	4.25	0.17	3.53	4.28	4.28	4.25	4.28
0014_0,22	4.23	0.99	0.17	3.37	4.35	4.35	4.23	4.35
0014_1,3	4.23	0.32	3.75	3.62	4.21	4.21	4.23	4.21
0015_0	0.08	0.01	0.17	0	0.07	0.17	0.2	0.17
0015_0,3	0.08	0.01	0.17	0	0.07	0.17	0.2	0.17
0015_1,2	0.08	0.01	0.17	0	0.07	0.17	0.2	0.17
0015_1,6	0.08	0.01	0.17	0	0.07	0.17	0.2	0.17
0085_0	0.57	1.26	0.17	2.14	1.23	1.5	1.26	1.5
0085_0,6	0.57	1.26	0.17	2.17	1.23	1.52	1.26	1.52
0086_0	1.04	1.26	0.17	2.66	1.53	1.86	1.26	1.86
0086_0,5	1.04	1.26	0.17	2.07	1.6	1.6	1.26	1.6
0088_0	2.21	0.99	0.17	2.16	1.42	1.51	2.21	1.77
0088_0,3	2.21	0.99	0.17	2.58	1.64	1.81	2.21	1.81

“se nadaljuje”

“nadaljevanje”

Element ID	Vizualno stanje MSI		Globina kolesnic VP	Vzdolžna ravnost	Drsno trenje	Udobnost in varnost	Struktur ni indeks	Skupni indeks
	VP	PP						
0088_0,95	2.21	0.99	0.17	2.61	2.02	2.02	2.21	2.02
0089_0	4.03	4.42	0.17	3.08	1.7	2.31	4.42	3.53
0089_0,32	4.03	4.42	0.17	2.85	3.8	3.8	4.42	3.8
0089_0,84	4.03	4.42	0.17	3	3.73	3.73	4.42	3.73
0089_0,95	1.39	4.42	0.17	2.54	2.39	2.39	4.42	3.53
0089_1,55	1.39	4.42	0.17	2.52	2.29	2.31	4.42	3.53
0089_2,1	1.39	4.42	0.17	2.65	1.15	2.31	4.42	3.53
0090_0	4.13	4.68	0.17	2.84	1.75	3.09	4.68	3.74
0090_0,25	4.13	2.68	0.17	3.03	3.01	3.01	4.13	3.3
0090_0,4	1.07	2.68	0.17	2.39	2.14	2.14	2.68	2.14
0090_0,7	1.07	2.68	0.17	3.23	3.17	3.17	2.68	3.17
0090_1,25	1.07	4.42	0.17	2.84	3.28	3.28	4.42	3.53
0090_1,72	0	0	0.17	3.06	4.37	4.37	1.84	4.37
0614_0	4.5	0.6	2.25	2.63	1.93	2.35	4.5	3.6
0614_0,3	4.13	0.6	2.25	2.53	3.28	3.28	4.13	3.3
0614_0,6	4.13	0.6	2.25	3.1	4.14	4.14	4.13	4.14
0614_1,5	4.13	0.6	3.25	3.32	2.47	3.25	4.13	3.3
0615_0	4.13	2.68	0.17	2.96	1.8	2.07	4.13	3.3
0615_1,2	0.13	0.04	0.17	1.78	1.51	1.51	0.71	1.51
0685_0	1.04	0.04	0.17	2.56	1.51	1.79	1.04	1.79
0685_0,6	1.04	0.04	0.17	2.24	2.36	2.36	1.04	2.36
0686_0	0.39	0.78	0.17	2.1	1.48	1.48	0.78	1.48
0688_0	1.07	0.04	0.17	2.15	1.22	1.5	1.12	1.5
0688_0,4	1.07	0.04	0.17	3.63	1.63	2.54	1.37	2.54
0688_0,65	4.13	0.04	0.17	3.18	4.13	4.13	4.13	4.13
0688_1,02	4.13	0.04	0.17	2.31	3.24	3.24	4.13	3.3
0689_0	1.77	4.42	0.17	2.44	1.88	2.31	4.42	3.53
0689_0,3	1.77	4.42	0.17	1.49	2.17	2.31	4.42	3.53
0689_1,15	4.13	1.56	0.17	2	3.11	3.11	4.13	3.3
0689_1,6	1.07	4.59	0.17	1.5	1.67	2.82	4.59	3.67
0689_2,1	1.07	4.59	0.17	1.68	1.93	2.82	4.59	3.67
0690_0	0.21	4.18	0.17	2.39	4.16	4.16	4.18	4.16
0690_0,25	0.21	2.27	0.17	3.18	4	4	2.27	4
0690_0,4	4.13	2.27	0.17	3.31	4.08	4.08	4.13	4.08
0690_1,34	4.13	4.04	0.17	3.5	3.17	3.17	4.13	3.3

Preglednica 6.1 prikazuje indekse vzdolžne ravnosti (I_IRI), prečne ravnosti (I_Rut), drsnega trenja (I_SR), poškodb vozne površine (I_MSI), starosti obrabne plasti (I_Age_WC) in starost ostalih z bitumnom vezanih plasti (I_Age_BBC) ter tri normalizirane indekse, povzete po

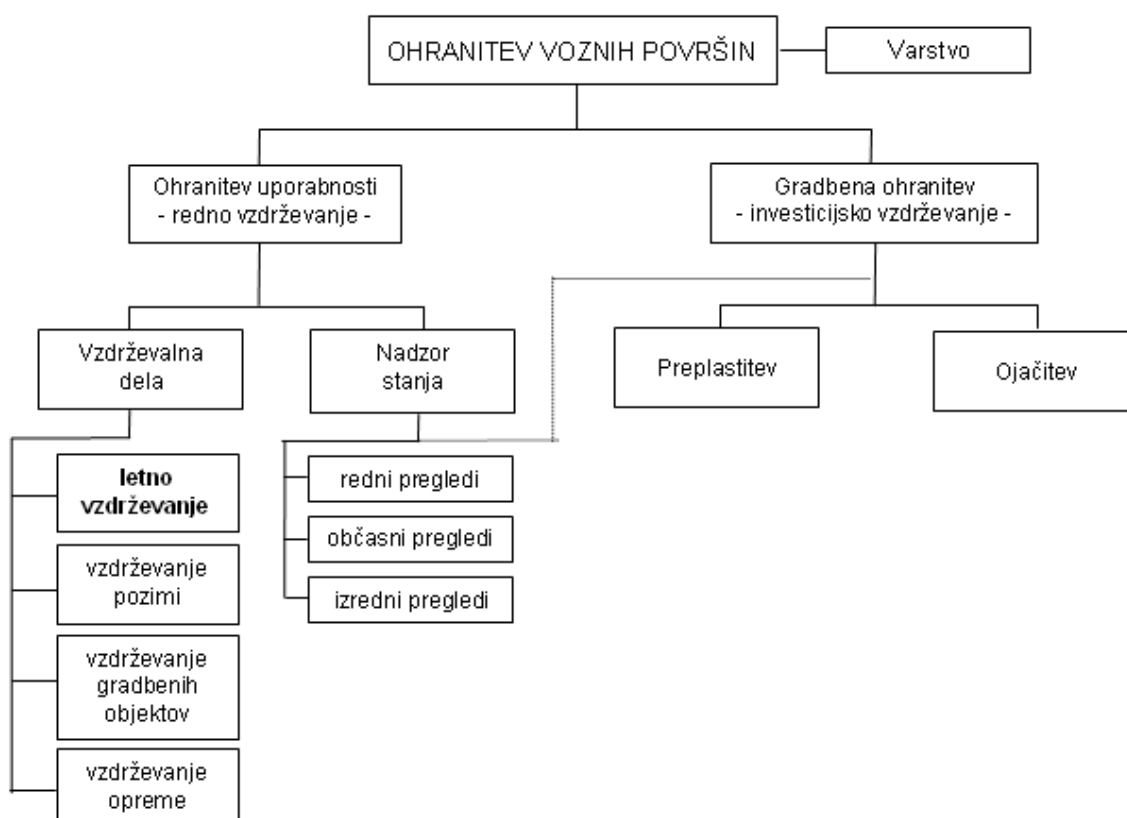
postopku iz prejšnjega prikaza: indeks udobnosti in varnosti (I_CSI) ter strukturni indeks (I_St), ki so združeni v skupni indeks (I_Total) za severno obvoznico Ljubljane.

Podani rezultati prikazujejo stanje posameznih homogenih odsekov in s tem določajo tiste odseke, ki so najbolj potrebni sanacije; to so tisti, ki dosežejo slabo in zelo slabo stanje po I_Total in so obarvani oranžno in rdeče. Homogen odsek s skupno oceno stanja zelo slabo ne obstaja, kar je pokazatelj dobrega vzdrževanja vozišča. Toliko več odsekov je v slabem stanju, kar 38% dolžine obravnavane severne ljubljanske obvoznice. V večjem delu sta poškodovana odseka Dunajska-Celovška v obeh smereh (0089 in 0689) in odsek Koseze-Brdo (0014 in 00614) in še nekateri drugi, za katere je potrebno izvesti sanacijske ukrepe. Ostali delež obravnavanega odseka ljubljanske obvoznice pripada zadovoljivemu (15%; rumena barva), dobremu (27 %; modra barva) in zelo dobremu stanju (20%; zelena barva). Iz navedenega sledi, da je izbrani del severne ljubljanske obvoznice relativno v dobrem stanju.

7 VZDRŽEVANJE VOZIŠČ, DIMENZIONIRNJE, KATALOG UKREPOV

7.1 Vzdrževanje vozišč

Vozne površine se v času analize zaradi že znanih faktorjev spreminjajo (modeli spreminjanja) in na njih nastajajo različne poškodbe v večjem ali manjšem obsegu. Navadno so prve manjše poškodbe opozorilo za kasnejše večje (poglavje 4), ki jih je potrebno popraviti s takojšnjim ukrepom, saj staranje in poškodbe zmanjšujejo uporabnost vozišč. Prepoznava se dva tipa, ki omogočata ohranitev obstoječih voznih površin, varen in udoben promet, trajnost in odvodnjavanje vozne površine, varstvo okolja in ponovno vzpostavitev zelenega stanja. To sta redno in investicijsko vzdrževanje, ki vključujeta postopke, naštete v spodnjem prikazu.



Razvrstitev postopkov za ohranitev voznih površin (Redno vzdrževanje cest ... , 2003: str. 39)

Za popravila voznih površin, po obsegu večja ali manjša, se ločita prej navedena tipa vzdrževanja (redno in investicijsko vzdrževanje). Tako se izbira vzdrževalni ukrep po obsegu poškodb in tudi po pogostosti izvedbe.

Popravila, ki se jih izvaja na podlagi rednega vzdrževanja voznih površin, vključujejo popravila posameznih in mrežastih razpok, odprtih stikov ter reg, popravila razgraditev, preoblikovanj in poškodb vozne površine, ki so omejene na majhno površino. Potreba po izvajanju popravila na osnovi rednega vzdrževanja se ugotavlja z rednimi nadzori stanja, to so redni, občasni in izredni pregledi. Glede na to, da so to dela manjšega obsega in se pri sanaciji uporabi manj materiala, se navadno izvajajo ročno, za razliko od del večjega obsega, pri katerih se navadno uporablja strojno opremo. Postopki vgrajevanja so navadno hladni (s hladnimi asfaltnimi zmesmi).

Poškodb, ki sodijo v sklop rednega vzdrževanja, ni mogoče predvideti vnaprej. Takoj ko poškodba nastane, je možnih več postopkov, s katerimi jo je mogoče bolj ali manj uspešno odpraviti in se izogniti večjim trenutnim stroškom kot tudi stroškom v prihodnosti. Za presojo ustreznosti določenega postopka obstajajo določena merila za zagotavljanje varnosti, udobnosti in gospodarnosti vožnje.

Popravila investicijskega vzdrževanja vključujejo dela večjega obsega, kot so preplastitve, ojačitve, lokalne sanacije, obnove, zamenjave, izravnave, rezkanje in nadomestitve, sendvič konstrukcije in rekonstrukcije vozišč ipd. V primeru, ko se ti postopki pojavljajo v manjšem obsegu, se lahko uporabljajo tudi kot ukrepi rednega vzdrževanja. Investicijska vzdrževanja se uporabljajo za vzpostavitev prvotnega stanja na lokalno poškodovani vozni površini, zagotavljajo varno in udobno vožnjo ter trajajo dalj časa. Investicijski ukrepi se tudi dimenzionirajo (naslednje poglavje).

Obseg potrebnih ukrepov za popravilo poškodb se določa na osnovi dobrega poznavanja osnov gradnje, vplivov na vozno površino v času uporabe, posledic na vgrajenih materialih in različnih postopkov popravil. Glede na to in razpoložljiva sredstva se določi obseg popravil.

7.2 Dimenzioniranje investicijskih ukrepov

7.2.1 Rekonstrukcija

Rekonstrukcija ali ponovna konstrukcija je postopek ukrepanja, ko je potrebno na novo zgraditi asfaltno voziščno konstrukcijo. Zahteva določitev debeline plasti posameznih materialov kot tudi celotne voziščne konstrukcije.

Dimenzije novih voziščnih konstrukcij se določajo na osnovi naslednjih osnovnih parametrov:

- dobe trajanja voziščne konstrukcije
- uporabnosti vozne površine na koncu dobe trajanja, ki je določena z indeksom vozne sposobnosti p in za nova idealna asfaltna vozišča znaša 5,0 za popolnoma dotrajana pa 1,0
- nosilnosti podlage oziroma posteljice, kjer se uporablja kalifornijski indeks nosilnosti CBR (California Bearing Ratio)
- merodajne dnevne prometne obremenitve T_d in merodajne prometne obremenitve T_n za načrtovano dobo trajanja 20 let oziroma več od 5 let (poglavje 3.2.2)
- klimatskih in hidroloških pogojev, kjer se uporablja regionalni faktor R , ki znaša za najtežje pogoje 0,5, za najugodnejše pa 5
- značilnosti materialov v načrtovani voziščni konstrukciji, kjer se upošteva vloga posamezne vrste in plasti materiala, kakovost materiala in gospodarnost uporabe, ki se opiše s količnikom ekvivalentnosti a_i .

Iz teh parametrov se najprej določi debeline vsake posamezne plasti s pomočjo diagramov za določitev dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij na strani 114 glede na merodajno oziroma ekvivalentno prometno obremenitev. Plasti voziščne konstrukcije si navadno sledijo v naslednjem zaporedju od vrha: obrabna plast, vezane nosilne plasti in nevezana nosilna plast.

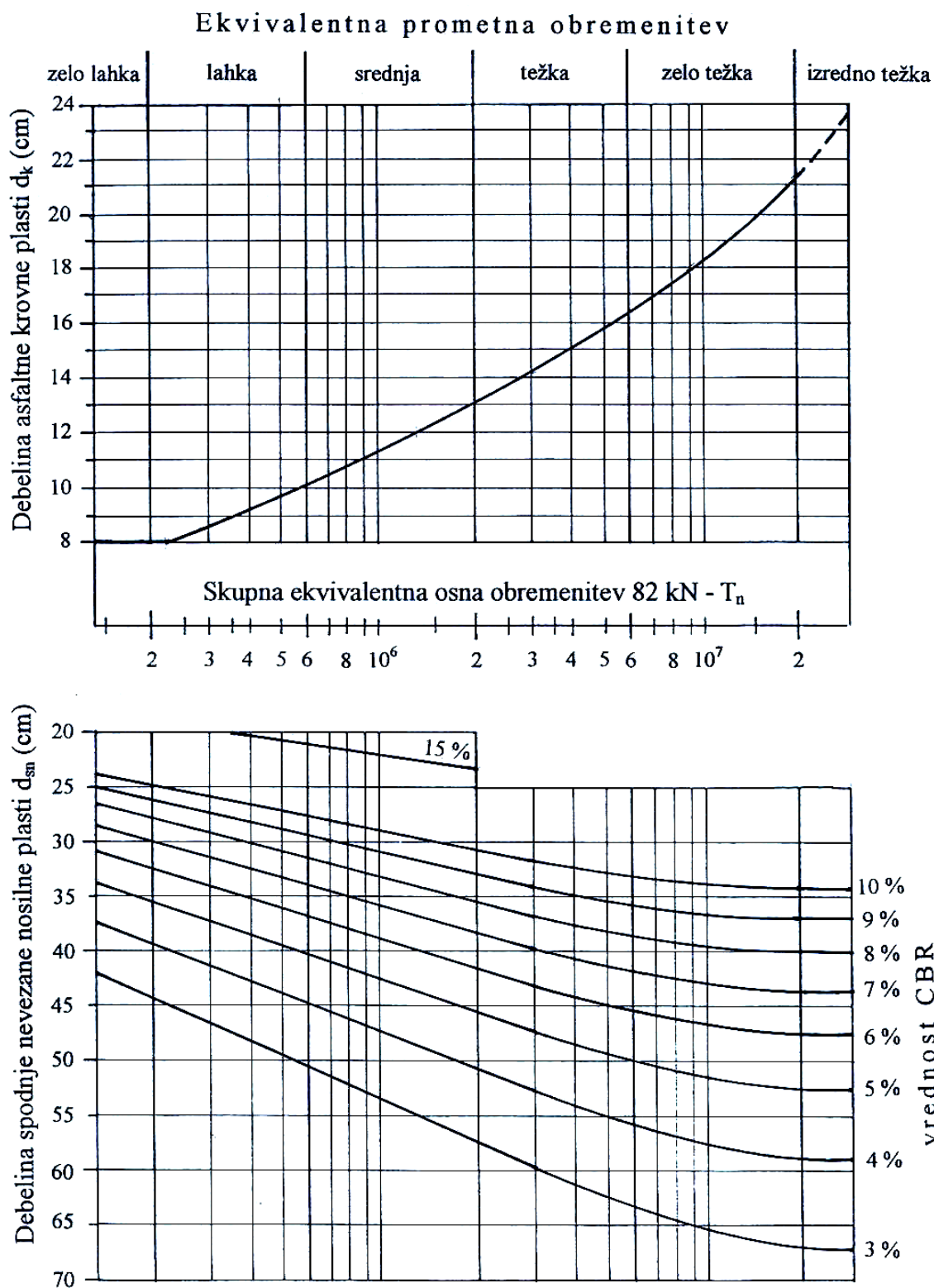


Diagrama za določitev dimenzij osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij (Projektiranje – Dimenzioniranje novih..., 2003: str. 10)

Skupna debelina asfaltnih krovnih plasti d_k , tj. asfaltne obrabne d_0 in zgornje vezane nosilne plasti d_{zv} , je ovrednotena z računskim količnikom ekvivalentnosti $a_{rk} = 0,38$. Debelina d_{sn} plasti nevezane zmesi zrn v spodnji nosilni plasti se opredeli z računskim količnikom ekvivalentnosti a_{rn} , ki znaša za zmes zrn prodca 0,11, za zmes drobljenca pa 0,14.

Debeline posameznih plasti so tehnološko pogojene (mejne vrednosti). Debelinski indeks voziščne konstrukcije se izračuna z naslednjimi enačbami (Projektiranje – Dimenzioniranje novih..., 2003: str. 9) iz debelinskega indeksa asfaltne krovne plasti D_k in spodnje nevezane nosilne plasti D_{sn} :

$$D_k = a_{rk} \cdot d_k = 0,38 \cdot d_k = a_0 \cdot d_0 + a_{zv} \cdot d_{zv} \quad \text{enačba 7.1}$$

$$D_{sn} = a_{rn} \cdot d_{sn} \quad \text{enačba 7.2}$$

$$D_{vk} = D_k + D_{sn} \quad \text{enačba 7.3}$$

Izgradnja nove voziščne konstrukcije mora biti postopna. Spodnje plasti (vezana ali nevezana) morajo biti zgrajene naenkrat za vso načrtovano dobo trajanja, krovne pa lahko le za delno obdobje trajanja. Pred izgradnjo končne načrtovane asfaltne voziščne konstrukcije je potrebno v tem primeru preveriti podajnost obstoječe voziščne konstrukcije in določiti potrebno debelino dodatne asfaltne krovne plasti. Načrtuje se navadno za dobo trajanja 20 let, v utemeljenih primerih pa je lahko krajša, vendar daljša od 5 let.

Računska debelina nevezane nosilne plasti zmesi zrn prodca, obremenjene s težkim prometom, ne sme biti manjša od 25 cm, s srednjim in lahkim prometom pa ne manjša od 20 cm. Zgornja meja debeline nevezane plasti zmesi zrn drobljenca praviloma znaša 40 cm, prodca pa približno 50 cm (tj. $40 \times 0,14/0,11$). Debelina spodnje vezane nosilne plasti znaša glede na uporabo veziva za stabilizacijo (bitumensko vezivo ali cement) na površinah s težkim prometom najmanj 14 ali 18 cm, s srednjo oziroma lahko obremenitvijo pa najmanj 12 ali 15 cm.

V primeru, da je podlaga (posteljica) slabo nosilna, so navadno pogojene debeline večje. Minimalne debeline voziščne konstrukcije morajo znašati vsaj toliko, kolikor je predpisano z vplivi zmrzovanja in odtajanja ter odpornosti podlage proti tem vplivom (naslednja

preglednica). Omejitve debelin plasti so določene z globino prodiranja mraza h_m . V primeru, da konstrukcija ne dosega minimalnih predpisanih debelin, se izvedejo različni ukrepi, kot sta ustrezno povečanje debeline spodnje nosilne plasti ali zagotovitev primerne kakovosti materiala v primerno debeli podlagi.

Najmanjše potrebne debeline voziščnih konstrukcij ojačitev in rekonstrukcij h_{min}

(Projektiranje – Dimenzioniranje novih..., 2003: str. 12)

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

7.2.2 Dimenzioniranje ojačitev

Dimenzije ojačitev obstoječih voziščnih konstrukcij se določajo na osnovi tehnične specifikacije za projektiranje načrtovanih ojačitev (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003). Predpiše se skupna debelina ojačitve in debelina posameznih plasti. Na to vplivajo pogoji prometne obremenitve, obstoječa voziščna konstrukcija, kakovost uporabljenih materialov in klimatske ter hidrološke razmere. Pri dimenzioniranju se predpostavi, da so ti vplivi nespremenjeni in podobni na obravnavanem odseku ceste.

Postopki ojačitev, kot so nadgradnje in zamenjave (poglavje 0), se izbirajo na osnovi primernosti obstoječih plasti za del nove voziščne konstrukcije (kakovost materialov, podajnost voziščne konstrukcije), vnaprej določenih omejitev, kot je višina vozišča ali nosilnost objekta na osnovi prometne obremenitve, vpliva na okolje, kot so hidrološki in klimatski pogoji, ter nenazadnje tudi gospodarnosti, ki vključuje dobo trajanja voziščne konstrukcije in njeno uporabnost na koncu dobe trajanja. Pri postopkih ojačitve je potrebno odstraniti praviloma zelo deformabilne materiale v voziščni konstrukciji, ki jih je mogoče z ustreznimi postopki predelave ponovno uporabiti. V primeru, da je vgrajen material še vedno uporaben, tj. zadosti nosilen in kvaliteten, se izvršijo preplastitve oziroma nadgradnje. Ti

postopki predstavljajo začasne ukrepe, ki jih je potrebno v nekem časovnem obdobju obsežneje obdelati z zamenjavo plasti do določene globine. Postopki dimenzioniranja ojačitev na obstoječi voziščni konstrukciji se določa torej na osnovi meritev podajnosti, vizualni oceni in tudi z analitičnimi postopki.

Potrebno debelino ojačitve na osnovi podajnosti h_{oj} , se lahko določi z ustreznim diagramom ali pa numerično. Za dimenzioniranje so potrebni trije parametri:

- iz vrednotene merodajne podajnosti obstoječe voziščne konstrukcije d_m (poglavje 5.3.3)
- mejne dovoljene vrednosti podajnosti d_{do} v odvisnosti od prometne obremenitve in dobe trajanja načrtovanja (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 12)
- načrtovana prometne obremenitve T_n (poglavje 3.2.2)

Potrebne debeline ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij se na osnovi določenih parametrov določi s pomočjo diagrama za določitev potrebne debeline ojačitve obstoječe asfaltno voziščne konstrukcije h_{oj} (str. 126), predvsem na konstrukcijah, ki imajo v nevezani plasti vgrajeno zmes zrn, odpornih proti mrazu. Minimalna potrebna debelina ojačitve h_{oj} znaša 4 cm, kar je razvidno na diagramu. Potrebni debelinski indeks plasti ojačitve D_{oj} pa se določi po enačbi (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 11):

$$D_{oj} = 0,42 \cdot h_{oj} = a_0 \cdot h_0 + a_{zv} \cdot h_{zv} \quad \text{enačba 7.4}$$

kjer pomeni

a_0 količnik ekvivalentnosti asfaltne zmesi za obrabno plast (iz razpredelnice)

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

h_0 debelina obrabne plasti asfaltne zmesi

h_{zv} debelina zgornje vezane nosilne plasti asfaltne zmesi

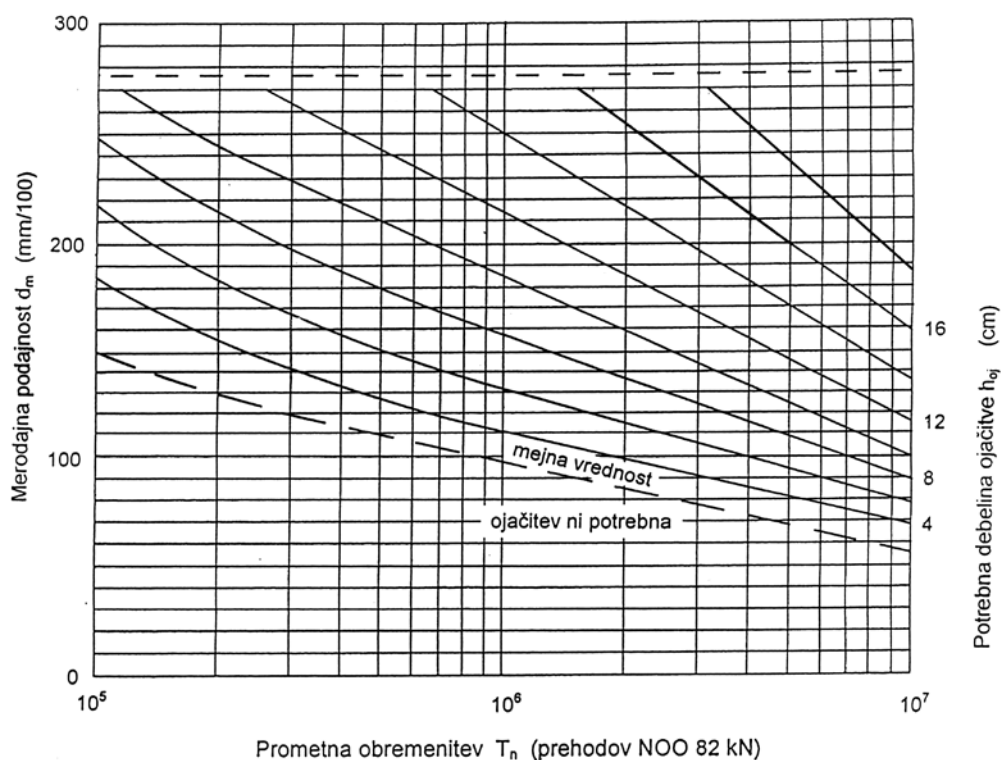


Diagram za določitev potrebne debeline ojačitve obstoječe asfaltne voziščne konstrukcije h_{oj}
 (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 11)

Numerični postopki določanja debeline ojačitve so primerni, če je merodajna podajnost obstoječe konstrukcije d_m pod obremenitvijo kolesa 50 kN manjša od 2,5 mm in predstavlja informativno preveritev debeline, določene na osnovi merodajne podajnosti. Debelina h_{oj} se izračuna po preverjeni enačbi, ustrezni za slovenske razmere (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 12):

$$h_{oj} = 50 \cdot \frac{\log d_m}{\log d_{do}} \quad \text{enačba 7.5}$$

Določitev debeline ojačitve na osnovi ocene stanja, se določi z upoštevanjem:

- načrtovanih ter že prevzetih prometnih obremenitev
- razlike potrebne in obstoječe debeline asfaltne voziščne konstrukcije, kar se določi z debelinskimi indeksi po enačbi 7.6 (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 12):

$$D_{oj1} = D_{po} - D_{ob} \quad \text{enačba 7.6}$$

kjer predstavlja...

- ... D_{ob} debelinski indeks, ki opredeljuje sposobnost obstoječe voziščne konstrukcije za prevzem obstoječih in povečanih prometnih obremenitev T_n
- ... D_{po} debelinski indeks, ki opredeljuje potrebno debelino voziščne konstrukcije za prevzem v prihodnje načrtovane voziščne konstrukcije, ki se določi po postopku za novogradnje

Opisanemu debelinskemu indeksu ojačitve se prišteje dodatni debelinski indeks (enačba 7.7; Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 12), če 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} , zato bi bila potrebna večja debelina nevezane nosilne plasti h_{snpo} .

$$D_{oj2} = 0,11 \cdot (h_{snpo} - h_{snob}) \quad \text{enačba 7.7}$$

Skupni debelinski indeks se tako izračuna po enačbi (Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev..., 2003: str. 12):

$$D_{oj} = D_{oj1} + D_{oj2} = a_0 \cdot h_0 + a_{zv} \cdot h_{zv} \quad \text{enačba 7.8}$$

Določanje debeline ojačitve na osnovi prometne obremenitve je primerno zgolj takrat, ko na vozni površini ni vidnih utrujenostnih poškodb vgrajenih materialov.

Povprečna prometna obremenitev T_n je sestavljena iz dveh komponent: prva je obremenitev T_{n1} , ki jo konstrukcija prevzame ob vgradnji in ne kaže utrujenosti materiala, drugi del obremenitve T_{n2} pa je osnova za določanje sposobnosti voziščne konstrukcije, iz katere se ovrednoti debelinski indeks ojačitve obstoječe voziščne konstrukcije D_{ob} .

Analitični postopki določanja debeline ojačitve temeljijo na računalniških programih in so primerni predvsem za preverjanje nastopajočih napetosti zaradi upogibno-nateznih obremenitev ojačane asfaltne voziščne konstrukcije.

Računalniški program zahteva naslednje vhodne podatke:

- značilnosti obstoječe voziščne konstrukcije (debelina plasti, modul elastičnosti materiala in nosilnost podlage)

- predvidena prometna obremenitev v načrtovani dobi trajanja
- uporabnost ceste na koncu načrtovane dobe trajanja, ob upoštevanju lokalnih razmer

V cestogradnji obstajajo predpisane minimalne debeline plasti ojačitev, ki so odvisne od odpornosti materiala proti učinkom zmrzovanja in odtajanja ter od hidroloških pogojev. Minimalne debeline ojačitve prikazuje razpredelnica »Najmanjše potrebne debeline voziščnih konstrukcij ojačitev in rekonstrukcij h_{min} « na strani 116. V primeru, da je določena debelina ojačitve h_{oj} manjša od minimalno določene v istoimenski razpredelnici, jo je potrebno do ustrezne mere povečati.

7.3 Katalog ukrepov

V namen ohranjanja in vzdrževanja voziščnih konstrukcij se glede na obseg in pomembnost poškodb definirajo različni ukrepi, ki povzročajo različne stroške in koristi. Koristi so definirane kot izboljšano stanje vozišča in njegova uporabnost za voznika, stroški pa so finančni izdatki, ki jih krije upravljavec ob izvedbi ukrepa.

Stroški se določijo z obsegom vzdrževanih del in se izrazijo s ceno na enoto posameznih vzdrževalnih del na posameznem prometnem pasu (tj. prehitevalni pas, vozni pas, pas za počasen promet in odstavni pas). V sistemu PMS-DARS stroški vključujejo materialne stroške (izravnave, lokalne sanacije, geodetska dela, rušenja in rezkanja, rodniki, bankine, smerniki, dvigi in izdelava koritnic ob robnikih), uporabo mehanizacije, nadzor, varovanje, inženirske izmere, projektno dokumentacijo in tudi stroške zapor. Predvsem slednji lahko znatno variirajo, kar se tiče trajanja ukrepa. Stroški ukrepov se določijo s ceno ukrepa na enoto, kot na primer €/m² površine odseka ali €/km dolžine cestnega omrežja.

Ukrep (Treatment) se sproži takrat, ko lahko vozno površino označimo kot nevarno ali neudobno za vožnjo. V programu dTIMS_CT je to takrat, ko skupna ocena vozne površine (I-Total) doseže slabo ali zelo slabo stanje (primer je slika »Definicije in meje posameznega razreda stanja« na strani 114). Pri takšnem robnem pogoju se spodbudijo prožilci ali triggerji. To je stanje vozišča, ki sproži posamezen ukrep in pove, pod katerimi pogoji je ta lahko

uporabljen. V kolikor so vse lastnosti vozne površine v zelo dobrem ali dobrem stanju, se ukrep ne sproži.

Na posameznem homogenem odseku se v posameznem letu lahko aplicira ali sproži le en ukrep, na podlagi katerega se določi učinek vzdrževalnega dela. Seveda je mogoče vsak odsek obnoviti v različnih letih z različnimi ukrepi. Vse možnosti različnih ukrepov v različnih letih imenujemo strategije vzdrževanja. Po izvedenem ukrepu se stanje vozišča resetira (reseti) in določijo se rezultati ekonomske analize (stroški ukrepa). To pomeni, da se slaba ali zelo slaba stanja voznih površin popravijo na zelo dobro, kar se upošteva v nadaljnjem postavljanju vzdrževalnih ukrepov. Reseti so vrednosti lastnosti oziroma spremembe voznih površin po izvedenem obnovitvenem ukrepu, ki povzročajo korist uporabniku. Primer reseta je kolesnica, ki je pred ukrepom globoka 8 mm, po njem pa se njena globina zmanjša na 0 mm.

Ukrepi, ki so uporabljajo pri gospodarjenju z voznimi površinami s trenutno verzijo PMS-DARS, so predstavljeni v nadaljnjih alinejah (tj. katalog ukrepov):

- *zamenjava obrabne plasti na posameznem prometnem pasu*: rezkanje do globine 4 cm na posameznem prometnem pasu, če to zahteva stanje vozne površine, nato nadomestitev izrezkane površine z vgradnjo nove plasti (DBM11s), debele 4 cm
- *zamenjava 11 cm asfaltnih zmesi na posameznem prometnem pasu*: rezkanje do globine 11 cm na posameznem prometnem pasu, če to zahteva stanje vozne površine, nato nadomestitev izrezkane površine z vgradnjo nosilne plasti (npr. BD 22S), debele 7 cm, in obrabne plasti (DBM11s), debele 4 cm.
- *tankoplastna prevleka po hladnem postopku 0/8 mm samo preko voznega, prehitevalnega in počasnega pasu s predhodnimi lokalnimi sanacijami na 5% površine v debelini 4 cm* (z BB 11k)
- *preplastitev preko vseh prometnih pasov s 4,5 cm* (na odstavnem pasu BB11s, na ostalih pasovih DBM11s) *s predhodnimi lokalnimi sanacijami na 5% celotne površine vozišča v debelini 8 cm* (nadomestitev z 8 cm BD 32S)
- *preplastitev preko vseh prometnih pasov s 4,5 cm asfaltnih zmesi* (na odstavnem pasu BB11s, na ostalih pasovih DBM11s) *s predhodnimi izravnanimi z asfaltno zmesjo v količini 325 t/km* (to pomeni, da je 10% vozišča izravnano v debelini 7 cm)

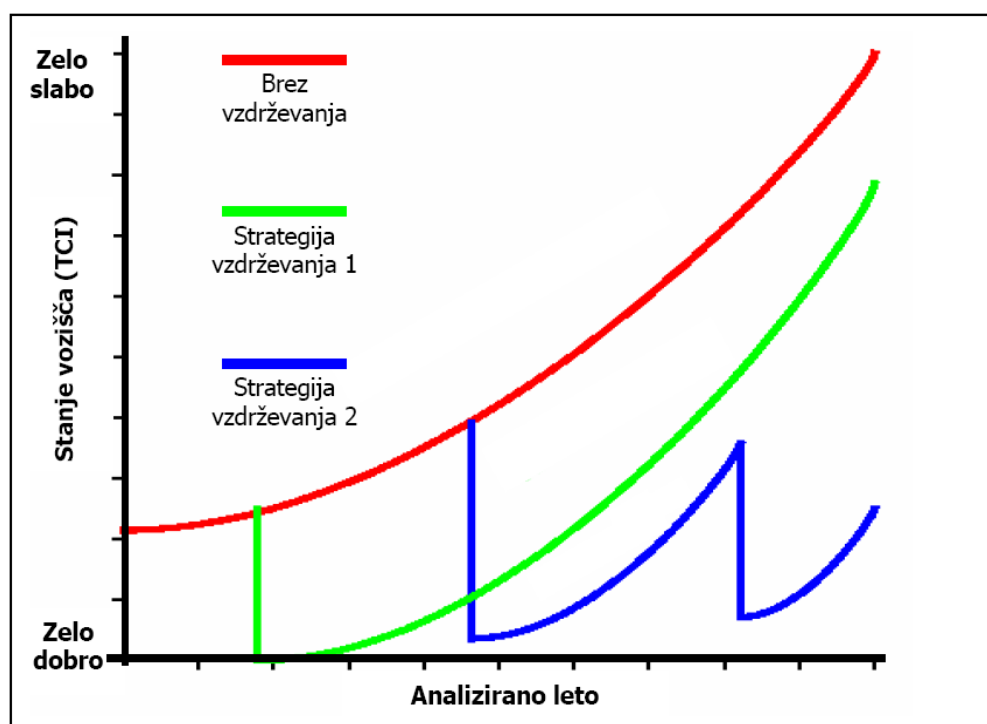
- *preplastitev preko vseh prometnih pasov s 4,5 cm asfaltne zmesi (na odstavnem pasu BB11s, na ostalih pasovih DBM11s) s predhodnim rezkanjem krovne plasti asfalta v debelini 9 cm na celotnem posameznem prometnem pasu, če to zahteva stanje vozišča, in vgradnja BD 32S v debelini 9 cm*
- *ipd.*

V obdobju analize stanja vozne površine cestnega omrežja se pojavijo različne strategije vzdrževanja. Izbor najugodnejše strategije za posamezno leto analiziranega obdobja in s tem povezani vplivi so obravnavani v poglavju 8.

8 ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLUSA

8.1 Generacija ali nabor različnih strategij

V življenjskem ciklusu voziščne konstrukcije se analizirajo različni načini vzdrževanja ali ukrepi vzdrževanja. Kombinacija različnih ukrepov se imenuje strategija ukrepanja ali scenarij vzdrževanja, ki jih program dTIMS_CT naniza več vrst glede na stanje vozišča.

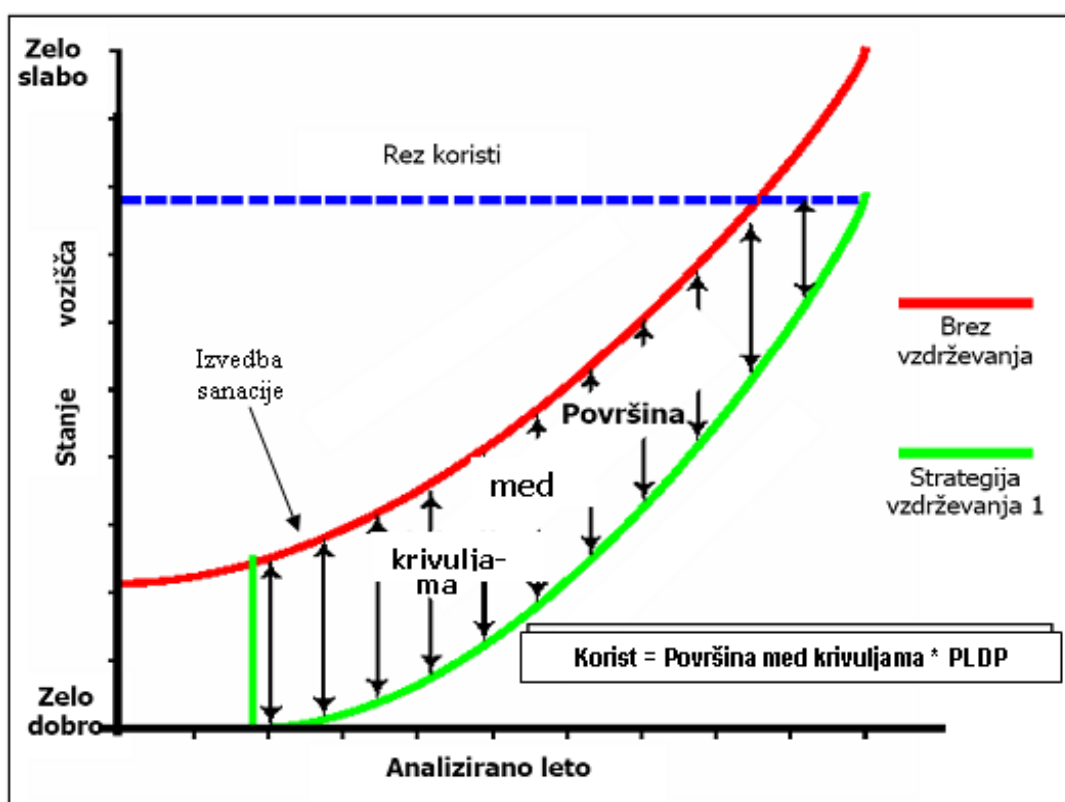


Strategije vzdrževanja (Jamnik J., 2006: str. 634)

Zgornja slika prikazuje različne možne strategije vzdrževanja in njihovo shematično slabšanje stanja vozišča s časom. Z rdečo krivuljo je prikazan primer, ko se vozišče ne vzdržuje in se ne vlaganja nobenih sredstev za izboljšanje njegovega stanja (tj. strategija »Brez vzdrževanja« ali »Do nothing«). Z modro barvo je prikazana strategija vzdrževanja 1, ki predvideva vzdrževanje z manjšim ukrepom, ki se ga izvaja takrat, ko stanje vozne površine doseže neko nižjo mejo poslabšanja. Dokler vozišče še ni preveč poškodovano, se izvede prva preplastitev, ki pomeni določen strošek 1a in tudi povzroči koristi 1a uporabnikom. Stanje vozišča se spremeni v zelo dobro. Ko vozišče zopet propade do določene stopnje, ki je določena z

robnimi pogoji v katalogu ukrepov, se izvede druga preplastitev, ki zopet pomeni določen strošek 1b in določene koristi 1b itd. Z zeleno krivuljo je prikazana strategija vzdrževanja 2, ki predvideva vzdrževanje z rekonstrukcijo voziščne konstrukcije. Ko je vozišče že zelo poškodovano se izvede rekonstrukcija voziščne konstrukcije, ki pomeni strošek 2 (ki je bistveno večji od stroškov 1) in koristi 2.

Vsaka strategija vzdrževanja posebej povzroča določene stroške upravljavca in koristi uporabnika, kar je izraženo s površino med krivuljama na spodnji sliki, uteženo še z gostoto prometa. Korist je tako tem večja, čim večja je omenjena površina ali čim večji je vpliv ukrepa na stanje vozišča in čim večja je gostota prometa na njem. Na vsakem homogenem odseku cestnega omrežja se generira več možnih strategij vzdrževanja.



Definicija koristi po metodi površine med krivuljama (Jamnik J., 2006: str. 635)

Strategije se razvrstijo po koristih in stroških (določi se razmerje korist/strošek) in glede na vse potrebne ukrepe obnove se na celotnem cestnem omrežju s postopkom optimizacije določi prioriteta vzdrževanja posameznega odseka.

8.2 Optimizacija

Ko se zgenerirajo vse možne strategije vzdrževanja za vsak homogen odsek ceste, se izvede postopek optimizacije, s katerim se dosega nivo uslug z iskanjem minimalnih skupnih stroškov upravljavca in uporabnikov. Manjši stroški upravljavca povzročajo večanje stroške uporabnikom oziroma manjšo korist uporabnika, in obratno.

Pri postopku optimizacije je glavni omejitveni vir proračun za vzdrževanje. S pomočjo programske opreme dTIMS_CT se lahko določi poljubno število proračunskih scenarijev in primerja rezultate stanja vozišč na cestnem omrežju za vsak scenarij posebej (preglednica 8.1). Razpoložljiva sredstva lahko upravljavec omeji po letih in tako prisili programsko opremo dTIMS_CT, da odlaga določene ukrepe za kasnejši čas. Tako prehajajo vozišča v vedno slabše stanje in s tem z leti zahtevajo močnejše, dražje ukrepe, uporabniki pa se več let vozijo po voziščih v slabem in zelo slabem stanju, namesto, da bi uživali v varni in udobni vožnji po novo saniranih voziščih.

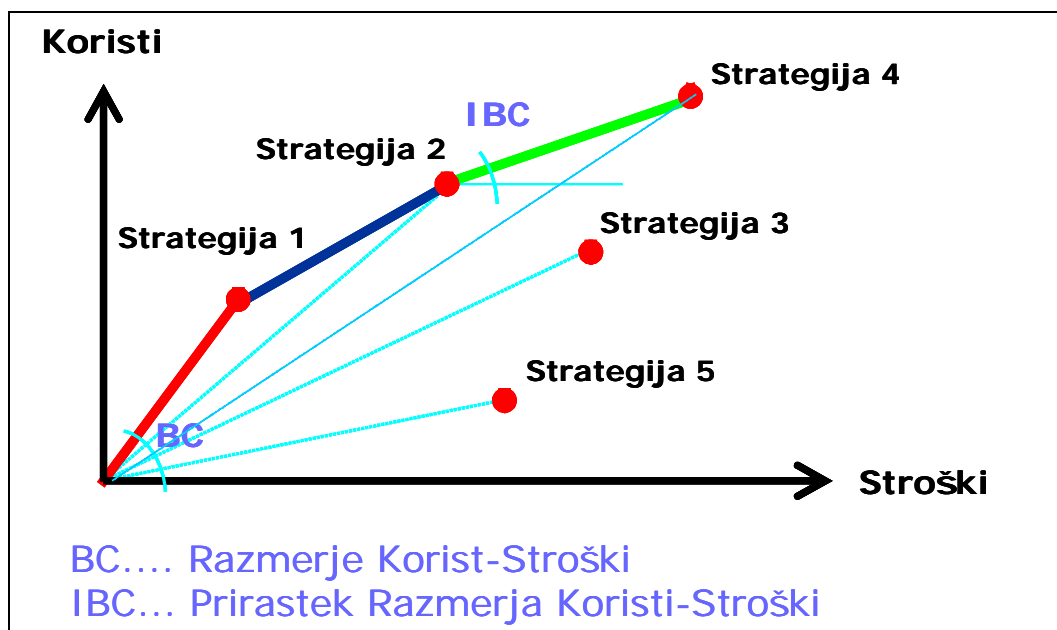
Vsak proračunski scenarij je določen po letih, to pomeni, da se vsako leto razpoloži določena vsota denarja za vzdrževanja cestnega omrežja (preglednica 8.1). Vedno je eden od proračunskih scenarijev »Do nothing«, ki ne predvideva vlaganja v vzdrževanje. Druga skrajnost je proračunski scenarij »neomejena sredstva«, ki predvideva neskončne vire sredstev za vzdrževanje. Vmesni proračunski scenariji so poljubno določeni z razpoložljivostjo finančnih sredstev za obnovo cestnega omrežja. Spodnja meja potrebnega proračuna je odvisna od povprečnega odstotka odsekov v zelo slabem stanju.

Vsaka strategija vzdrževanja povzroči določeno korist in strošek. V primeru nezadostnih sredstev za vzdrževanje je potrebno določiti prioritete vzdrževanja, saj za sanacijo vseh odsekov ni dovolj denarja. V dTIMS_CT je uporabljen način določanja prioritete vzdrževanja po metodi mejne učinkovitosti (Efficiency Frontier), ki je grafično prikazana na sliki 8.1.

Preglednica 8.1: Primer proračunskega scenarija iz PMS-DARS (denarne enote so prikazane v 100.000 €)

scenarij leta	»Do nothing«	»Neomejena sredstva«	Proračun 1	Proračun 2
2007	0	0	16	12
2008	0	0	17	30
2009	0	0	16	31
2010	0	0	17	30
2011	0	0	16	13
2012	0	0	17	20
2013	0	0	16	25
2014	0	0	16	30
2015	0	0	17	34
2016	0	0	17	34
2017	0	0	17	35
2018	0	0	17	37
2019	0	0	16	38
2020	0	0	16	40
2021	0	0	17	39

Postopek določanja prioritete vzdrževanja si lahko predstavljamo tako, kot da dTIMS_CT izdela skico učinkovitosti vseh možnih proračunskih scenarijev (izračuna razmerje koristi/stroški), na kateri vsaka točka predstavlja posamezno strategijo vzdrževanja na vsakem odseku cestnega omrežja. Optimizacija poteka po naslednjem algoritmu: Na vsakem odseku se išče ukrep, ki prinaša največjo korist uporabnika, kar v diagramu (slika 8.1) predstavlja »Strategija 4«, vendar ta prinaša tudi najvišje stroške. Ker v praksi navadno ne obstajajo neomejena sredstva, je potrebno izbrati strategijo, ki prinaša sicer nekoliko manjšo korist, zato pa tudi manjše stroške. To je »Strategija 2«, ki ob zadovoljivih stroških prinaša relativno veliko korist. V tem primeru bi bilo neupravičeno izbrati »Strategijo 3«, ki pri večjih stroških daje manjše koristi. V primeru, da je upravljavec proračunsko še bolj omejen, bo izbral »Strategijo 1« ali pa se bo v določenem letu vzdrževanja odločil za strategijo »Do nothing«. Nikakor pa se ne bo odločil za »Strategijo 5«, ker z visokimi stroški prinaša relativno majhne koristi uporabniku.



Slika 8.1: Mejna učinkovitost homogenega odseka

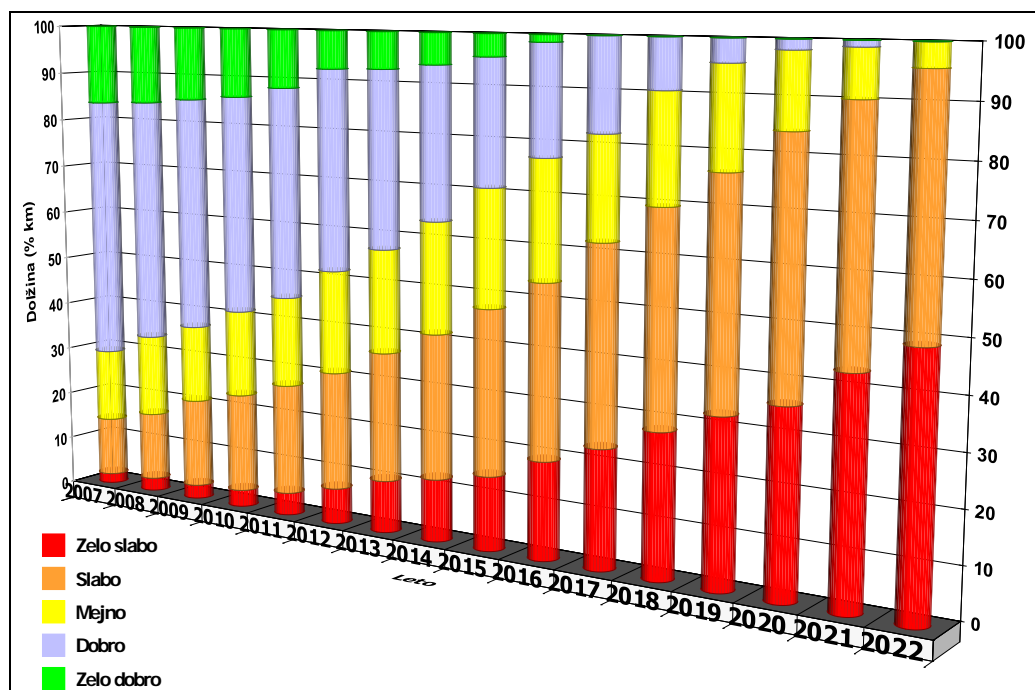
Na ta način se določi proračunske scenarije za obnove, ki zagotavlja zelen nivo uslug na cestnem omrežju, tj. optimalno zadovoljiti uporabnika pri določeni razpoložljivosti proračuna. Sistem PMS-DARS zelo nazorno prikaže posledice premajhnega vlaganja v vzdrževanje cestnega omrežja, kar se kaže v slabšanju vozišč.

Na mrežnem nivoju izbran scenarij omogoča oceno potrebnih sredstev za ohranjanje celotnega cestnega omrežja v zelenem stanju in vpogled v stanje cestnega omrežja v prihodnosti v primeru vlaganja v vzdrževalna dela in brez njih. Rezultat optimizacije na projektnem nivoju je plan vzdrževanja za analizirano obdobje ob upoštevanju omejitve proračuna. Te rezultati povedo, katera vzdrževalna dela naj bodo v določenem letu izvedena na nekem odseku (poglavje 9).

9 REZULTATI NA MREŽNEM IN PROJEKTNEM NIVOJU

Rezultati na mrežnem nivoju so prikazi stanja vozišč cestnega omrežja kot posledice različnih strategij vlaganja sredstev (različnih proračunov za vzdrževanje) v vzdrževanja le-tega. V nadaljevanju je slikovni prikaz rezultatov gospodarjenja z voznimi površinami, ki ga poda računalniški program za gospodarjenje z voznimi površinami PMS-DARS za vozišča cest v upravljanju DARS za različna omejena finančna sredstva, iz katerih program sestavi scenarije ukrepov.

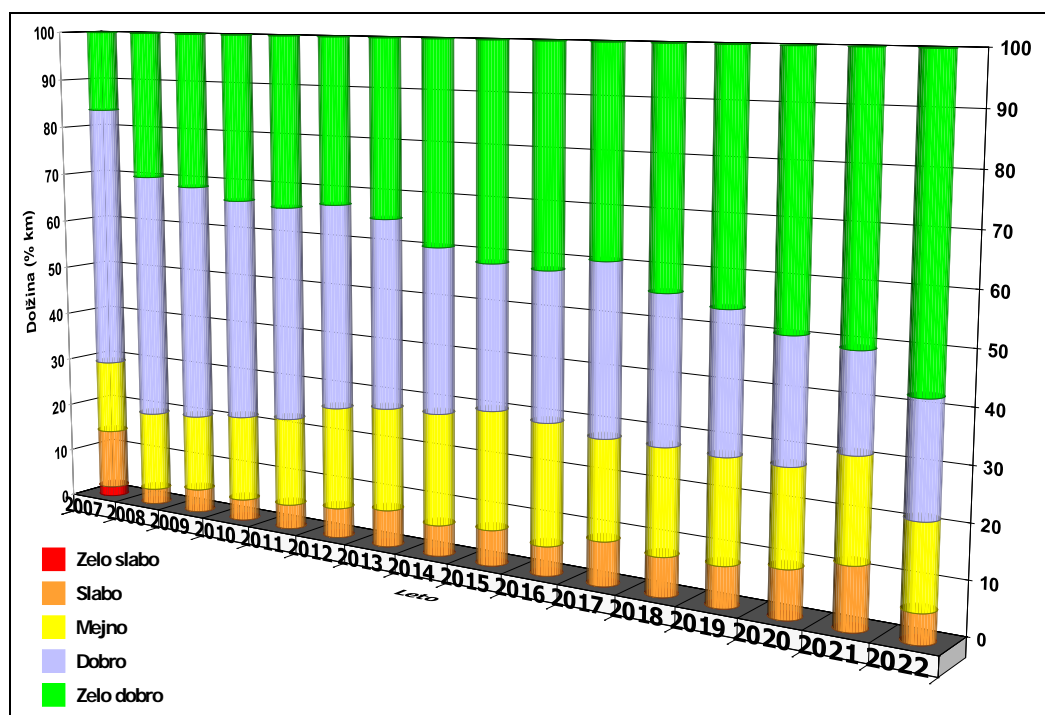
V primeru, da se v obnove vozišč ne vlaga nobenih sredstev, se omrežje pospešeno stara in je njegovo stanje po analiziranem obdobju (po petnajstih letih) slabo ali zelo slabo, kot kaže spodnja slika. Imenuje se STRATEGIJA BREZ VLAGANJA.



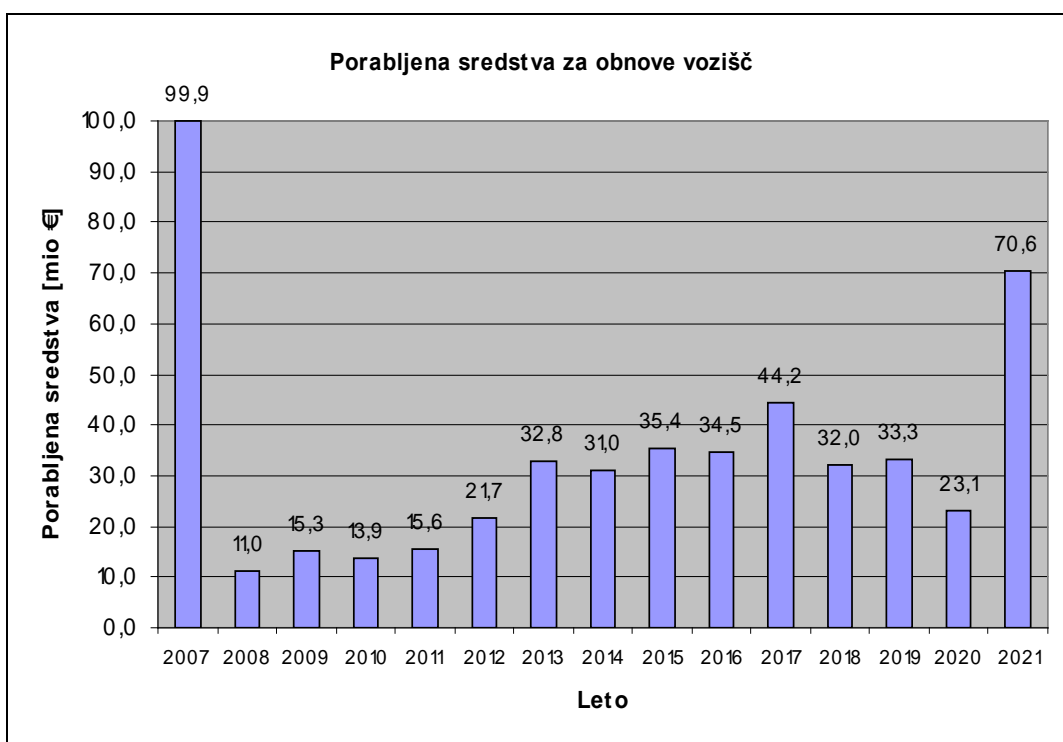
Stanje cestnega omrežja brez vlaganja v obnove (Jamnik, J., 2007a: str. 28)

Brez vzdrževanja vozišča je za vzdrževalce sicer ugodno, saj ne porabijo nobenih sredstev, vendar pa se kvaliteta in varnost vožnje uporabnika zelo poslabša.

Sledi strategija z vlaganjem neomejenih sredstev, imenovana OPTIMUM. Posledice taksnega vzdrževanja prikazujeta naslednja diagrama.

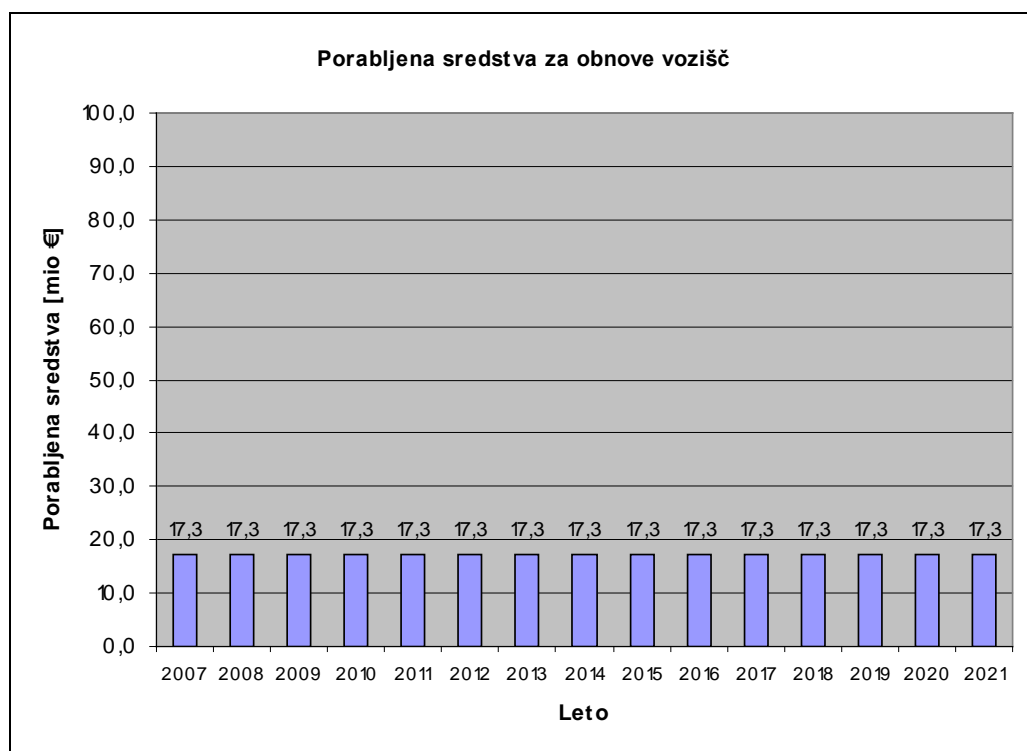


Stanje vozišč pri neomejenem vlaganju v obnove OPTIMUM (Jamnik, J., 2007a, str. 29)



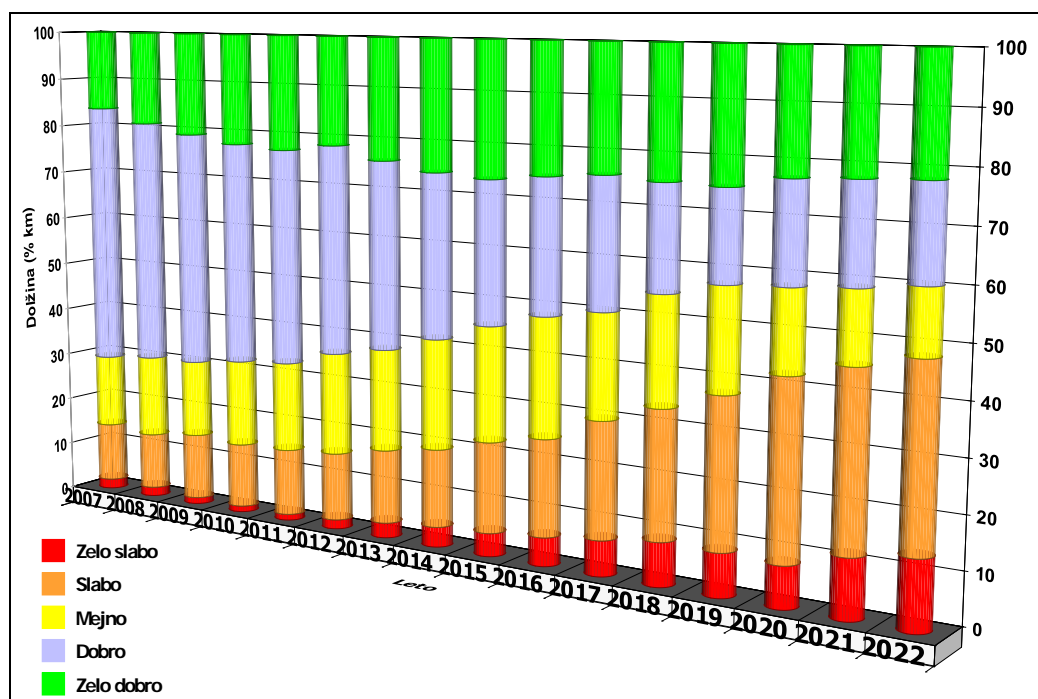
Potrebna vložena sredstva za doseg optimalnega stanja vozišč (Jamnik, J., 2007a: str. 29)

Optimalno vlaganje sicer v analiziranem obdobju privede do zelo ugodnega stanja vozišč, vendar so stroški za vzdrževanje v prvem letu preveliki za slovensko gospodarstvo. V ta namen se določi poljubno število proračunov z omejenimi sredstvi (strategije). STRATEGIJA 1 predstavlja vsakoletno enakomerno vlaganje denarnih sredstev, ki so prikazana na prvi sliki (npr. 17,31 mio €). Posledica tega vlaganja prikazuje druga slika spodaj.



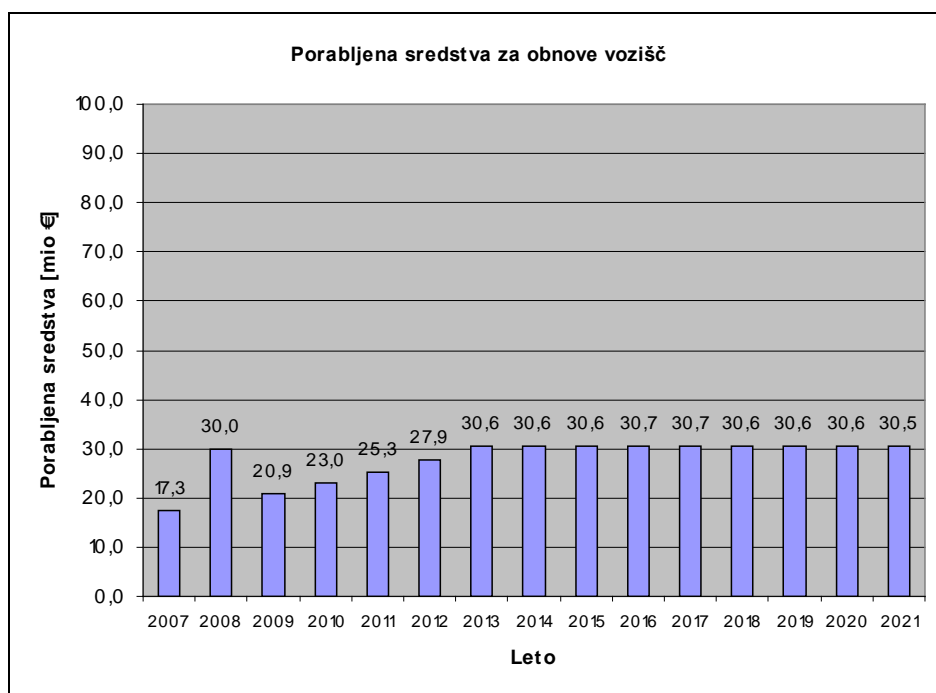
Vložena sredstva v obnove vozišč po SCENARIJU 1 (Jamnik, J., 2007a: str. 30)

Rezultati STRATEGIJE 1 niso zadovoljivi, saj je na koncu analiziranega obdobja še vedno velik delež omrežja v slabem in zelo slabem stanju (naslednji prikaz).

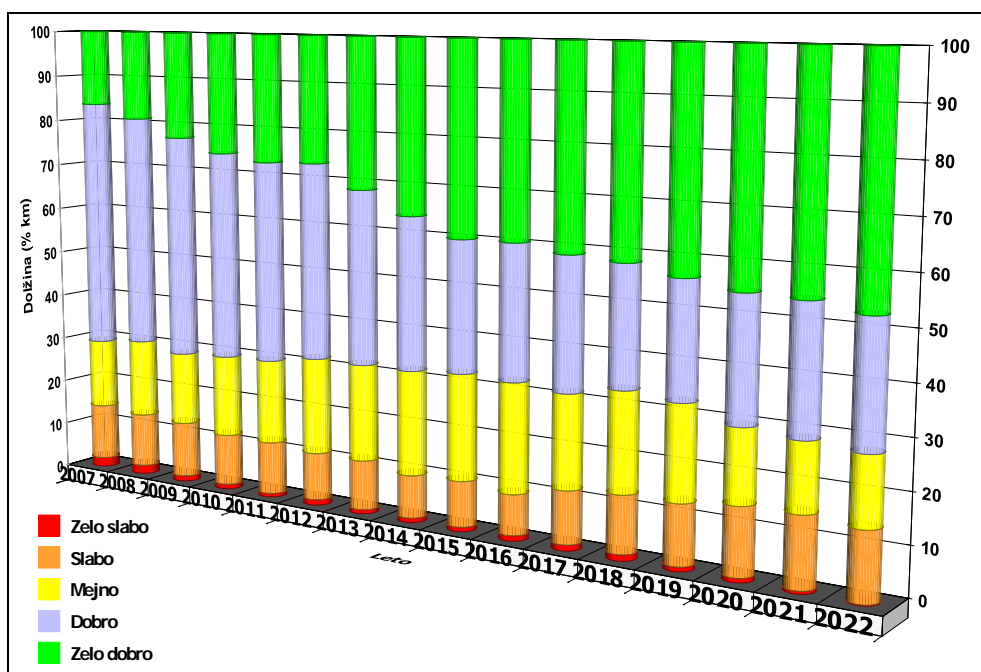


Stanje vozišč pri vlaganju v obnove po SCENARIJU 1 (Jamnik, J., 2007a: str. 30)

Sledi STRATEGIJA 2, kjer se vložijo sredstva, prikazana na prvi sliki. Naraščajoče letno vlaganje z 10% naraščanjem (npr. do leta 2013), nato pa enakomerno vlaganje po 30,7 mio €. Stanje v analiziranem obdobju se izboljšuje (prvi prikaz na strani 138).

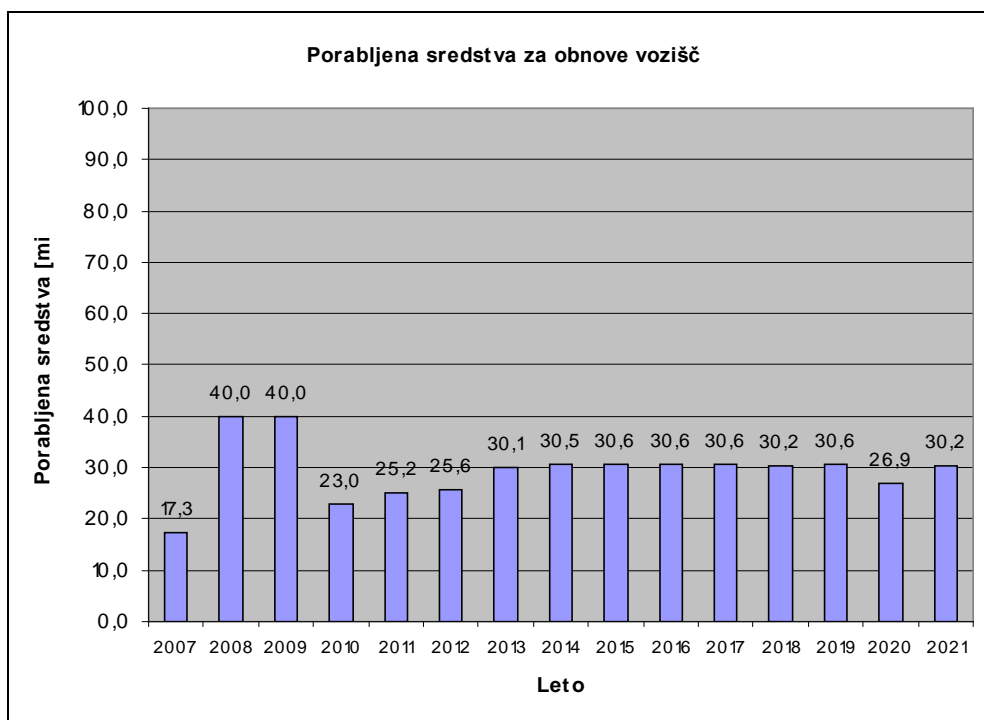


Vložena sredstva v obnove vozišč po SCENARIJU 2 (Jamnik, J., 2007a: str. 32)

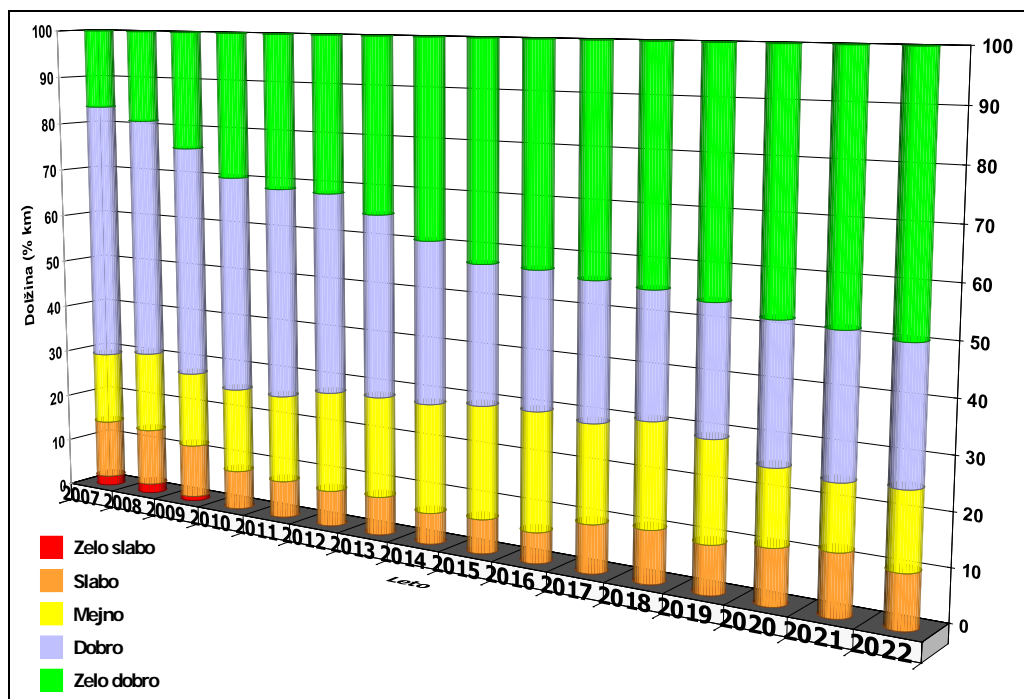


Stanje vozišč pri vlaganju v obnove po SCENARIJU 2 (Jamnik, J., 2007a: str. 32)

V STRATEGIJI 3 se denarna sredstva do leta 2013 vlagajo naraščajoče, nato pa enakomerno po 30,7 mio €, kot prikazuje prva slika, posledično spreminjanje stanja vozišč pa prikazuje druga slika.



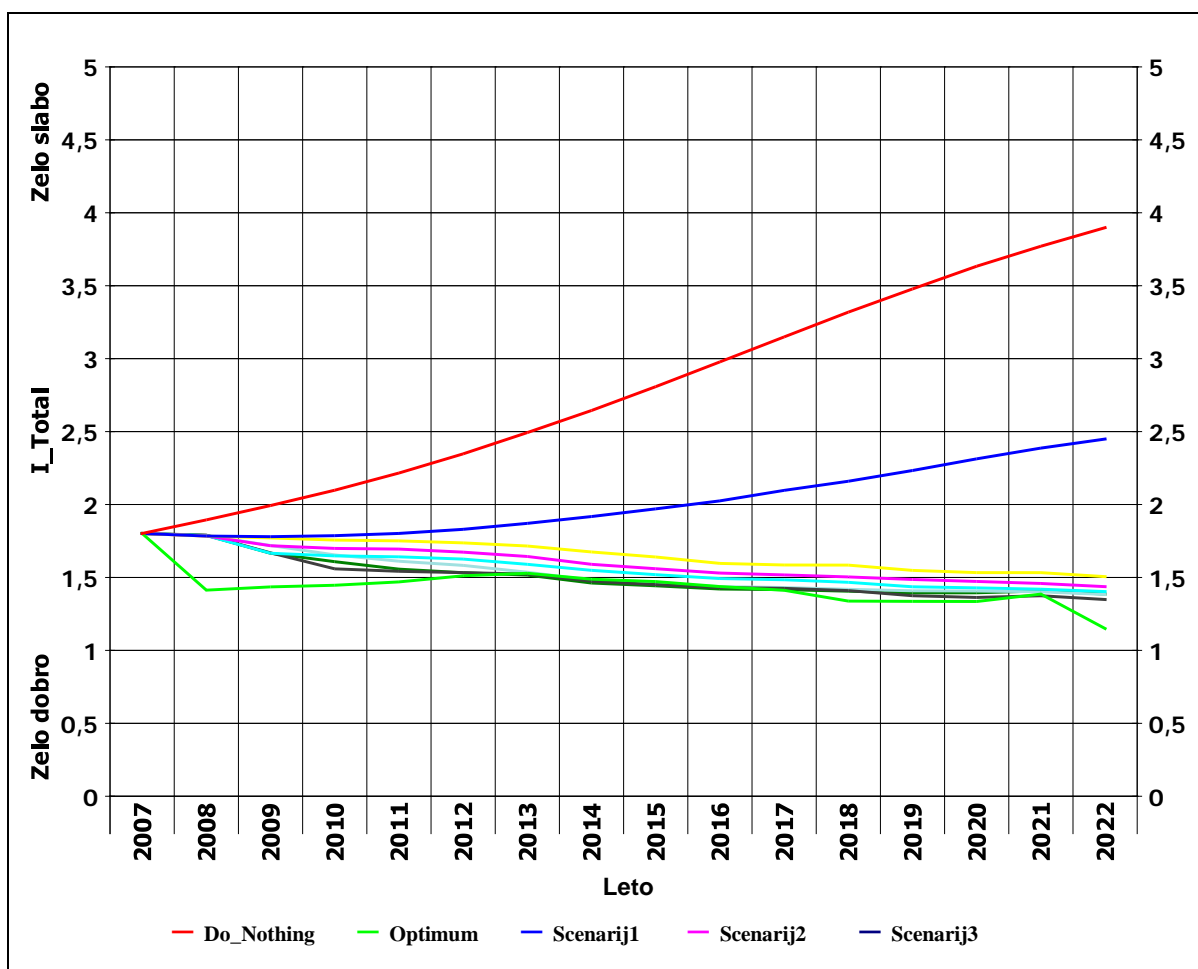
Vložena sredstva v obnove vozišč po SCENARIJU 3 (Jamnik, J., 2007a: str. 34)



Stanje vozišč pri vlaganju v obnove po SCENARIJU 3 (Jamnik, J., 2007a: str. 34)

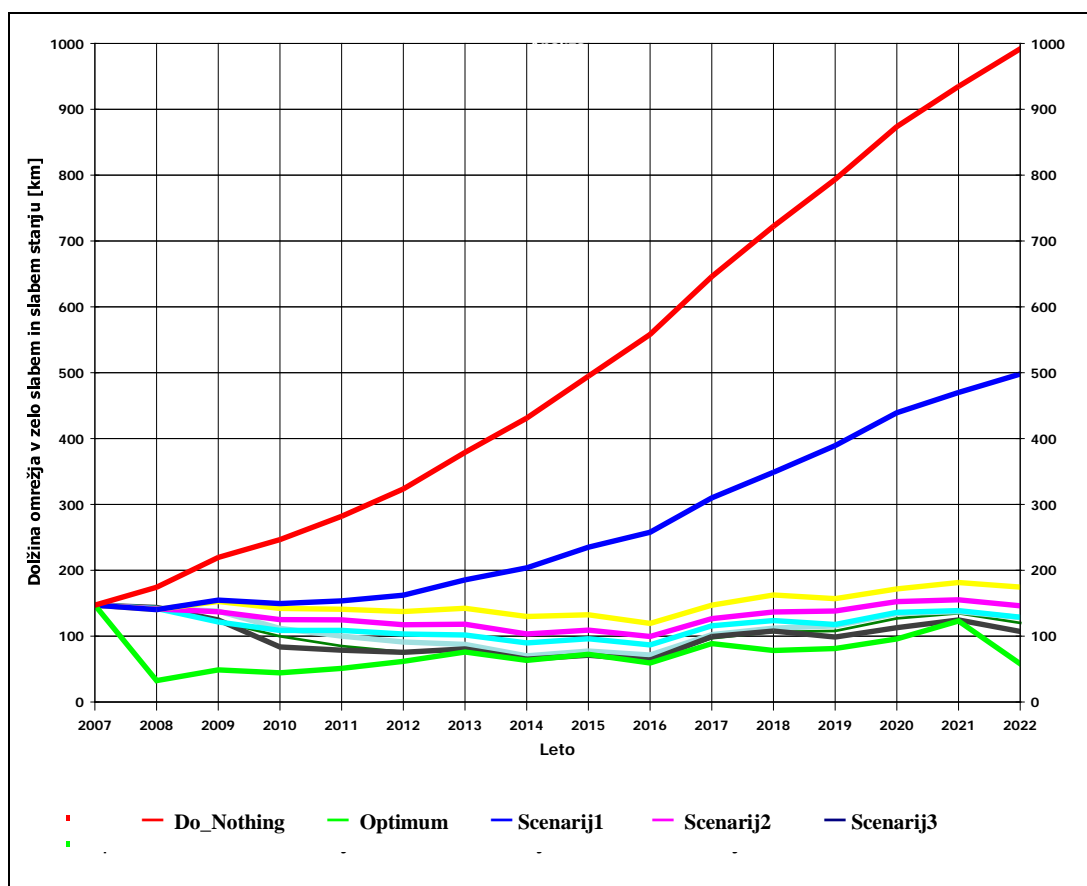
Možni so še mnogi drugi scenariji ali strategije ukrepov, izmed katerih se izbere najboljša varianta, kjer se stanje v analiziranem obdobju izboljšuje (naslednja slika), dolžina cestnega omrežja v dobrem in zelo dobrem stanju se povečujejo oziroma dolžina omrežja v slabem in zelo slabem stanju zmanjšuje (slika na drugi strani) ter nenazadnje je scenarij finančno možen.

Iz naslednjega diagrama je razvidno, da bi povprečno stanje vozišč pri scenariju BREZ VLAGANJA v 15 letih prešlo iz povprečno dobrega stanja (Totalni indeks stanja $I_{Total} = 1,8$) v povprečno slabo stanje ($I_{Total} = 3,9$), kar je skoraj že povprečno zelo slabo stanje. Prav tako Scenarij 1 ne zagotavlja vzdrževanja obstoječega povprečnega stanja, saj se I_{Total} poslabša v 15 letih na 2.5. Scenarija 2 in 3 zagotavljata postopno izboljševanje povprečnega stanja vozišč, pri čemer seveda Scenarij OPTIMUM zagotavlja največje koristi, saj že takoj v letu 2008 zniža I_{Total} na 1,4 in ga vzdržuje na približno tem nivoju vse analizirano obdobje. Na diagramu so prikazani tudi rezultati nekaterih drugih scenarijev vlaganja, ki pa niso podrobneje povzeti.



Povprečno stanje vozišč avtocest in hitrih cest pri različnih scenarijih vlaganja v obnove
(povzeto po: Jamnik, J. 2007a: str. 37)

Iz naslednjega grafa je razvidno, da bi dolžina smernih vozišč v zelo slabem in slabem stanju pri scenariju BREZ VLAGANJA v 15 letih narasla iz današnjih 147 km do 995 km. Tudi pri Scenariju 1 se dolžina smernih vozišč v zelo slabem in slabem stanju postopoma povečuje na 500 km. Scenarija 2 in 3 zagotavljata postopno izboljševanje povprečnega stanja vozišč, pri čemer seveda Scenarij OPTIMUM zagotavlja največje koristi, saj že takoj v letu 2008 skrajša dolžino zelo slabih in slabih smernih vozišč na 32 km, končno stanje v letu 2022 pa je 60 km. Na diagramu so prikazani tudi rezultati nekaterih drugih scenarijev vlaganja, ki pa niso podrobneje povzeti.



Dolžine smernih vozišč v zelo slabem in slabem stanju za različne proračune (povzeto po: Jamnik, J., 2007a: str. 41)

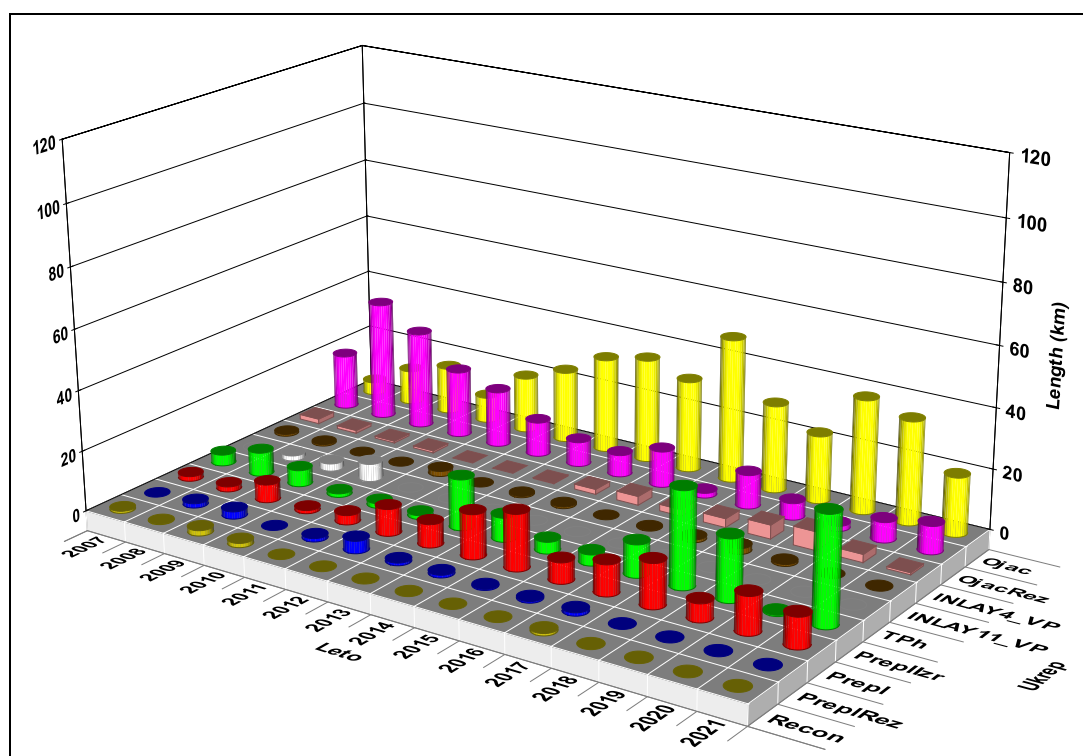
Scenarij OPTIMUM seveda predstavlja preko vsega analiziranega obdobja največjo korist oziroma stanje vozišča v najboljšem stanju, vendar je tudi finančno najdražji (naslednja preglednica). Iz tega naslova se izbere Strategija 3, katere skupni stroški za celotno analizirano obdobje znašajo za analizirani primer 441.4 mio €

Posamezni odseki omrežja so sanirani z različnimi ukrepi po različnih letih. Njihova dolžina je prikazana v naslednjem prostorskemu diagramu.

Na projektnem nivoju omogoča obstoječa aplikacija PMS-DARS izdelavo planov obnov 2007 – 2021 za celotno omrežje avtocest in hitrih cest. Določen je obnovitveni ukrep, strošek izvedbe ukrepa in potrebna debelina ojačitve oz. rekonstrukcije voziščne konstrukcije za poljubne razpoložljive proračune za obnove v posameznih letih. Rezultati so za scenarij OPTIMUM in SCENARIJ 3 zbrani v zadnjih dveh preglednicah (str. 137 in 138).

Stroški in dolžine dela omrežja (povzeto po: Jamnik, J., 2007a: str. 42)

Leto	Dolžine scenarija [km]				Stroški scenarija [mio €]			
	Optimum	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Optimum	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3
2007	147.71	34.420	33.530	31.280	99.9	17.3	17.3	17.3
2008	25.81	31.100	50.380	66.120	11.0	17.3	30.0	40.0
2009	32.11	31.820	39.440	67.370	15.3	17.3	20.9	40.0
2010	30.02	32.430	37.430	41.510	13.9	17.3	23.0	23.0
2011	29.55	34.560	49.100	45.160	15.6	17.3	25.3	25.2
2012	40.95	33.660	54.690	49.950	21.7	17.3	27.9	25.6
2013	63.2	32.150	65.450	66.050	32.8	17.3	30.6	30.1
2014	64.58	36.290	68.940	67.850	31.0	17.3	30.6	30.5
2015	74.96	39.360	69.750	68.480	35.4	17.3	30.6	30.6
2016	70.07	35.580	63.470	62.990	34.5	17.3	30.7	30.6
2017	89.33	40.770	64.930	67.020	44.2	17.3	30.7	30.6
2018	69.8	34.290	70.770	80.740	32.0	17.3	30.6	30.2
2019	68.8	38.420	71.360	72.660	33.3	17.3	30.6	30.6
2020	48.43	32.500	63.290	56.490	23.1	17.3	30.6	26.9
2021	156.36	35.330	69.190	75.040	70.6	17.3	30.5	30.2
Skupaj	1011.68	522.680	871.720	918.710	514.3	259.5	419.9	441.4



Sanirane dolžine po ukrepih obnove in po letih analize za SCENARIJ 3 (Jamnik, J., 2007a: str. 39)

1. primer plana sanacij severne ljubljanske obvoznice za leta 2007, 2008 in 2009 s proračunom OPTIMUM za celotno avtocestno omrežje (povzeto po: Jamnik, J., 2007a: str. 43 - 54)

Elemen ID	Ime odseka	Od km	Do km	Dolž km	Leto	Ukrep	Debelina ojačitve [cm]		Strošek [1000 €]	
							Potrebna	Izvedena	brez DDV	z DDV
0014_0,22	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,220	1,300	1,080	2007	RN9_VP+Ojac	11	11	592,356	710,827
0014_1,3	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,300	2,159	0,859	2009	RN9_VP+Ojac	12	12	520,897	625,076
0088_0	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	0,000	0,300	0,300	2009	Ojac	11	11	146,333	175,600
0088_0,3	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	0,300	0,950	0,650	2009	Ojac	11	11	317,055	380,466
0088_0,95	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	0,950	1,238	0,288	2009	Ojac	11	11	140,480	168,576
0089_0	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,000	0,320	0,320	2007	Recon	20	20	298,589	358,307
0089_0,32	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,320	0,840	0,520	2007	Recon	20	20	485,207	582,249
0089_0,84	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,840	0,950	0,110	2007	Recon	20	20	102,640	123,168
0089_0,95	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,950	1,550	0,600	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	316,093	379,312
0089_1,55	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	1,550	2,100	0,550	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	289,752	347,703
0089_2,1	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	2,100	2,654	0,554	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	291,860	350,231
0090_0	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,000	0,250	0,250	2007	Recon	21	21	237,079	284,495
0090_0,25	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,250	0,400	0,150	2007	RN9_VP+Ojac	12	12	95,598	114,717
0090_0,4	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,250	1,720	0,470	2007	RN9_PP+Ojac	12	12	264,402	317,282
0090_0,7	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,720	1,900	0,180	2007	Recon	21	21	170,697	204,836
0090_1,25	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,700	1,250	0,550	2009	Ojac	12	12	279,728	335,674
0614_0	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,000	0,300	0,300	2008	RN9_VP+Ojac	12	12	173,858	208,629
0614_0,3	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,300	0,600	0,300	2008	RN9_VP+Ojac	9	10	155,474	186,569
0614_0,6	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,600	1,500	0,900	2007	RN9_VP+Ojac	8	10	466,423	559,707
0614_1,5	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,500	1,856	0,356	2008	RN9_VP+Ojac	9	10	195,331	234,398
0615_0	LJ(BRDO-KOZARJE)	0,000	1,200	1,200	2007	RN9_VP+Ojac	10	10	642,341	770,809
0689_0	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	1,238	1,538	0,300	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	158,047	189,656
0689_0,3	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	1,538	2,388	0,850	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	447,799	537,359
0689_1,15	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	2,388	2,838	0,450	2007	RN9_VP+Ojac	11	11	237,070	284,484
0689_1,6	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	2,838	3,338	0,500	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	263,411	316,093
0689_2,1	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	3,338	3,886	0,548	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	288,699	346,438
0690_0	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,000	0,250	0,250	2007	RN9_PP+Ojac	12	12	140,639	168,767
0690_0,25	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,250	0,400	0,150	2007	Ojac	11	11	73,659	88,391
0690_0,4	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,400	1,340	0,940	2007	RN9_VP+Ojac	12	12	599,078	718,894
0690_1,34	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,340	1,894	0,554	2007	RN9_VP,PP+Ojac	12	12	394,491	473,389

2. primer plana sanacij severne ljubljanske obvoznice za leta 2007, 2008 in 2009 s proračunom 3 za celotno avtocestno omrežje (povzeto po: Jamnik, J., 2007a: str. 55 - 65)

Element ID	Ime odseka	Od km	Do km	Dolž km	Leto	Ukrep	Debelina ojačitve [cm]		Stroški [1000 €]	
							Potrebna	Izvedena	brez DDV	z DDV
0014_0	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,000	0,220	0,220	2007	RN9_VP,PP+Ojac	14	14	165,244	198,293
0014_0,22	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,220	1,300	1,080	2008	RN9_VP+Ojac	11	11	592,356	710,827
0014_1,3	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,300	2,159	0,859	2009	RN9_VP+Ojac	12	12	520,897	625,076
0088_0	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	0,000	0,300	0,300	2009	Ojac	11	11	146,333	175,600
0088_0,3	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	0,300	0,950	0,650	2009	Ojac	11	11	317,055	380,466
0088_0,95	LJ(TOMAČEVO-DUNAJSKA)	0,950	1,238	0,288	2009	Ojac	11	11	140,480	168,576
0089_0	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,000	0,320	0,320	2007	RN9_VP,PP+Ojac	11	11	192,506	231,008
0089_0,84	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,840	0,950	0,110	2007	RN9_VP,PP+Ojac	11	11	66,174	79,409
0089_0,95	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	0,950	1,550	0,600	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	316,093	379,312
0089_1,55	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	1,550	2,100	0,550	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	289,752	347,703
0089_2,1	LJ(DUNAJSKA-CELOVŠKA)	2,100	2,654	0,554	2007	RN9_PP+Ojac	11	11	291,860	350,231
0090_0	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,000	0,250	0,250	2007	RN9_VP,PP+Ojac	12	12	178,019	213,623
0090_0,25	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,250	0,400	0,150	2007	RN9_VP+Ojac	12	12	95,598	114,717
0090_0,7	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	0,700	1,250	0,550	2009	Ojac	12	12	279,728	335,674
0090_1,25	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,250	1,720	0,470	2007	RN9_PP+Ojac	12	12	264,402	317,282
0090_1,72	LJ(CELOVŠKA-KOSEZE)	1,720	1,900	0,180	2007	RN9_VP,PP+Ojac	12	12	128,174	153,809
0614_0	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,000	0,300	0,300	2008	RN9_VP+Ojac	12	12	173,858	208,629
0614_0,3	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,300	0,600	0,300	2008	RN9_VP+Ojac	9	10	155,474	186,569
0614_0,6	LJ(KOSEZE-BRDO)	0,600	1,500	0,900	2008	RN9_VP+Ojac	9	10	466,423	559,707
0614_1,5	LJ(KOSEZE-BRDO)	1,500	1,856	0,356	2008	RN9_VP+Ojac	9	10	195,331	234,398
0615_0	LJ(BRDO-KOZARJE)	0,000	1,200	1,200	2008	RN9_VP+Ojac	11	11	662,530	795,036

10 ZAKLJUČEK

Gospodarjenje z voznimi površinami je zahteven in zapleten postopek. Najprej je potrebno pridobiti vse podatke, ki so potrebni za analize cestnega omrežja, ki morajo biti čim bolj točni. Osnova tega je poznavanje vgrajenih materialov in njihove značilnosti ter lastnosti voznih površin in njihovo spreminjanje. V nadaljevanju je potrebno znati napovedati spreminjanje lastnosti voznih površin in na podlagi tega določiti možne ukrepe z določenimi omejitvami finančnih virov oziroma proračuna.

Namen gospodarjenja z voznimi površinami je v prvi vrsti zadovoljevanje potreb (koristi) uporabnikov vozišča oziroma omogočanje varnosti in udobne vožnje.

Zaradi zahtevnosti postopka gospodarjenja morajo biti izvajalci, nadzorovalci, upravljavci in ostali sodelavci v postopku gospodarjenja in izvajanja vzdrževalnih del visoko usposobljeni in kvalificirani. Ves čas so prisotne tudi nadgradnje znanja, ki omogočajo kvalitetnejše in lažje delo na področju gospodarjenja.

Učinkovito gospodarjenje z vozišči omogoča programska oprema dTIMS_CT, iz katere je podjetje DDC svetovanje inženiring d.o.o. razvilo aplikacijo za gospodarjenje z vozišči, imenovano PMS-DARS. Ta program je zelo široko zasnovan, zato ga je poleg tega mogoče uporabiti tudi na drugih področjih gospodarjenja, saj njegov uporabnik sam določa parametre, omejitve in zanke. Zaradi njegove 'individualne' uporabe se je DARS d.d. odločil za njegov nakup. Zaenkrat se v Sloveniji uporablja le za gospodarjenje na področju vozišč avtocest, predvideno pa je razširjeno gospodarjenje z vpeljavo ostalih delov ceste (tj. premostitveni objekti, regionalne ceste, protihrupne ograje, varnostne ograje, ipd.), kar je tudi drugod po svetu šele v razvoju začetku.

Programska oprema zahteva veliko vloženega znanja in razvoja ter individualno krojitev, zato se vsako leto prirejajo svetovne konference oziroma izobraževanja za uporabnike programa, kjer se izmenjujejo strokovne izkušnje iz celega sveta. V tem letu je bila organizirana tudi

prva konferenca za evropske uporabnike programske opreme, katere so se udeležili uporabniki in interesanti iz osmih evropskih držav.

VIRI

Henigman, S., Bašelj, R., Bradeško, S., Britovšek, Z., Cezar, J., Cotič, Z., Čotar, M., Donko, D., Kerstein, A., Lamut, T., Ljubič, A., mag. Lukač, B., Marolt, M., Naglič, O., Planinc, J., Podgoršek, F., Prešern, M., Prosen, J., Šuštar, J., dr. Tušar, M., Willenpart, B., Zupan, J. in prof. dr. Žmavc, J. 2006. Asfalti. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: str. 107-182.

Jamnik, J. 2004. Pilotni projekt vpeljevanja gospodarjenja z vozišči na avtocestno omrežje. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring: str. 229- 236

Jamnik, J., Žmavc, J., Cezar, J. 2005. Katalog ukrepov za novogradnje in vzdrževanje voziščnih konstrukcij in algoritem za izbiro postopka popravil: Končno poročilo. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring d.o.o.: str. 13-47

Jamnik, J. 2005. Vpeljava gospodarjenja z vozišči na odseke cest v upravljanju DARS. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring: str. 3-5, str. 25-31, str. 35-41, str. 54-171.

Jamnik, J. 2006. Gospodarjenje z vozišči na slovenskem avtocestnem omrežju. 8. slovenski kongres o cestah in prometu. Portorož : str. 632-634

Jamnik, J. 2007a. Nadgradnja ekspertnega sistema dTIMS_CT za gospodarjenje z vozišči na cestah v upravljanju DARS d.d.: 3. Kvartarno poročilo: Vrednotenje vplivov različnih proračunov za obnove vozišč s PMS-DARS. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring d.o.o.: str. 8-65

Jamnik, J. 2007b. Nadgradnja ekspertnega sistema dTIMS_CT za gospodarjenje z vozišči na cestah v upravljanju DARS d.d.: 2. Kvartarno poročilo: Vrednotenje vplivov različnih proračunov za obnove vozišč s PMS-DARS. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring d.o.o.: str. 11

Lastnosti voznih površin – HRUPNOST: TSC 06 640. 2001. Ljubljana, DRSC: 12 str.

Lastnosti voznih površin – PODAJNOST: TSC 06 630. 2003. Ljubljana, DRSC: 18 str.

Lastnosti voznih površin – RAVNOST: TSC 06 610. 2003. Ljubljana, DRSC: 11 str.

Lastnosti voznih površin – TORNA SPOSOBNOST: TSC 06 620. 2003.. Ljubljana, DRSC: 14 str.

Marinko, B. 2004. Ocena stanja vozišča na regionalnih cestah v Republiki Sloveniji po ocenjevanju v letu 2004. Poročilo. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring d.o.o.: f. 3 – 7.

Marinko, B. 2005. Ocena stanja vozišč na avtocestah 2004/2005: Poročilo. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring d.o.o.: 3 f.

Odvodnjavanje in kanaliziranje cestnih premostitvenih objektov: TSC SODOC. 1997. Ljubljana, DRSC: 16 str.

Odvodnjavanje cest: TSC 03.380. 2004. Ljubljana, DRSC: 64 str.

Panjan, J. 2002. Osnove zdravstvene hidrotehnične infrastrukture. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 10, str. 100, str. 219-221, str. 258-259

Projektiranje – Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij: TSC 06.520. 2003. Ljubljana, DRSC: 13 str.

Projektiranje – Dimenzioniranje ojačitev obstoječih asfaltnih voziščnih konstrukcij: TSC 06.541. 2003. Ljubljana, DRSC: 12 str.

Prometne obremenitve – določitev in razvrstitev: TSC 06 511. 2001. Ljubljana, DRSC: 18 str.

Redno vzdrževanje cest – Vzdrževanje prometnih površin asfaltnih površin: TSC 08.311/1. 2003. Ljubljana, DRSC: 45 str.

Smernice za določitev načina zaščite podzemne vode na območju avtoceste: Postopki določanja načina zaščite podzemne vode v odvisnosti od stopnje občutljivosti vodonosnika s tehničnimi ukrepi. 1999. Ljubljana, DARS d.d.: 20 f.

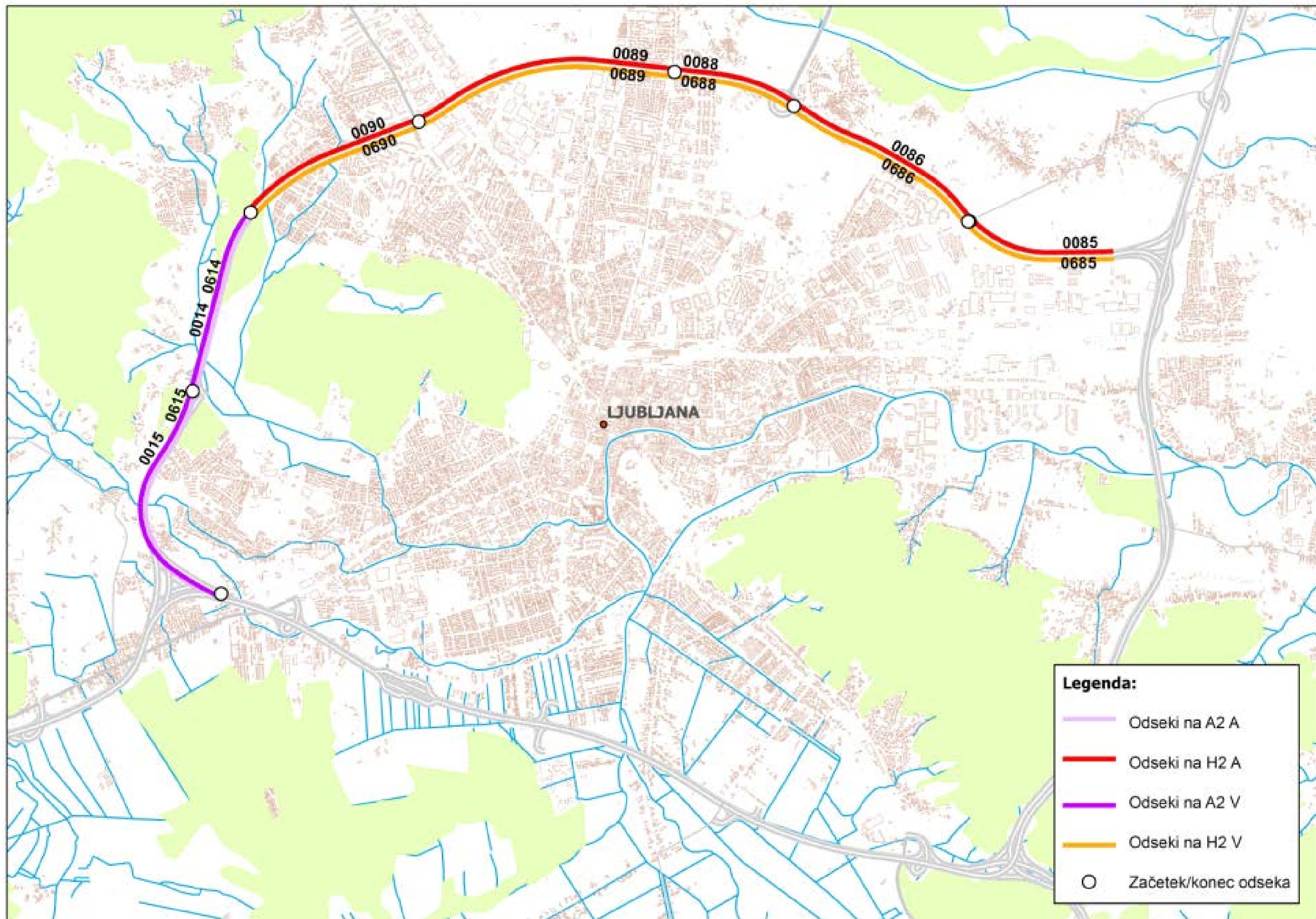
Smernice za projektiranje: Projektiranje cest: Odvodnjavanje cest: Knjiga 2: 1. del: poglavje 9. 2005. Ljubljana, DDC svetovanje inženiring d.o.o.: 16 str.

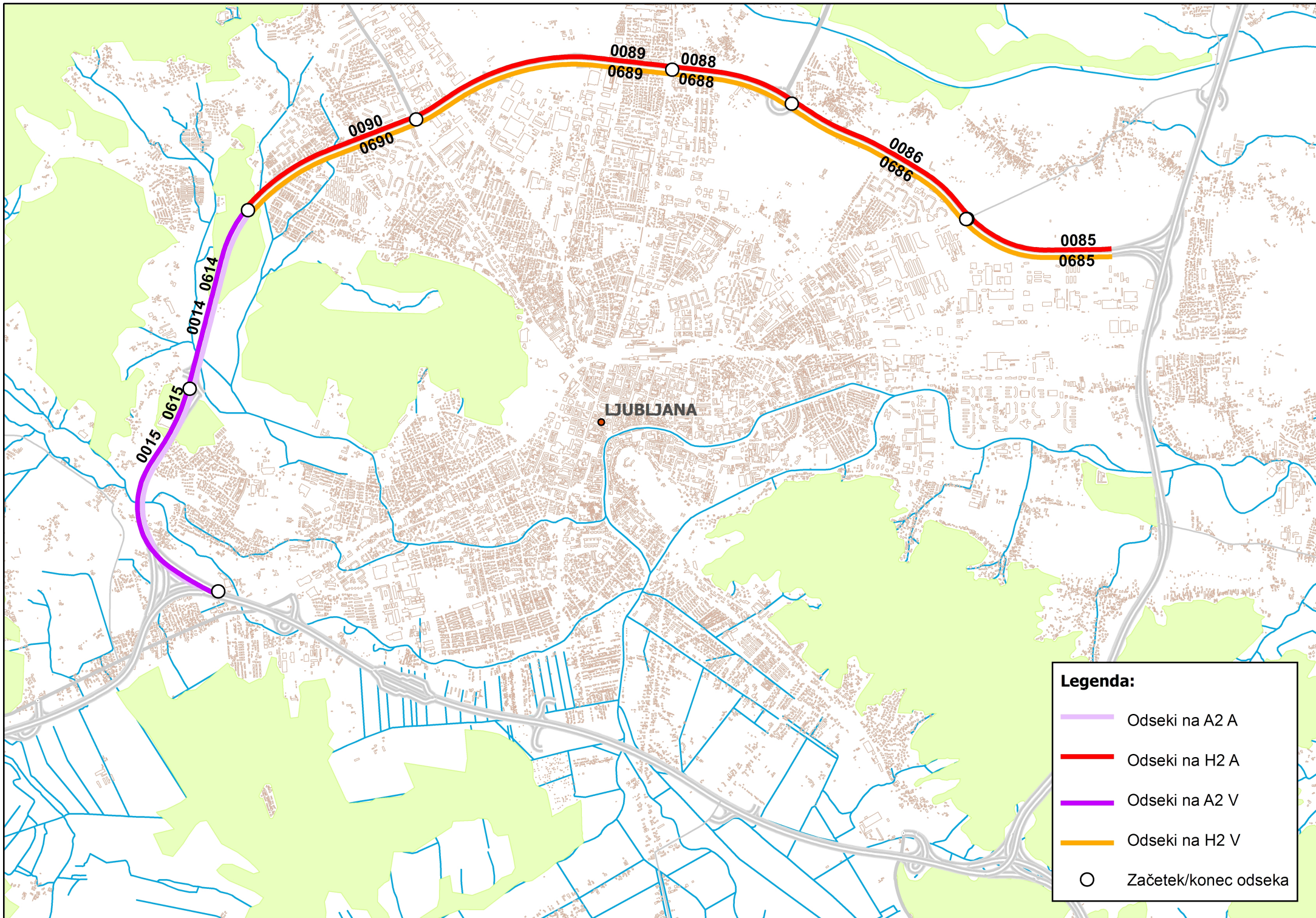
Žmavc, J. 1997. Voziščne konstrukcije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str. 113-120, str. 143, str. 285-329.

Žmavc, J. 1986. Poškodbe na asfaltnih voziščih. Ljubljana, Skupnost za ceste, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, PTI.

PRILOGA

PRIKAZ SEVERNE LJUBLJANJSKE OBVOZNICE





Legenda:

- Odseki na A2 A
- Odseki na H2 A
- Odseki na A2 V
- Odseki na H2 V
- Začetek/konec odseka

0015 0615

0014 0614

0090 0690

0089 0689

0088 0688

0086 0686

0085 0685

LJUBLJANA