

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 Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Matjaž Grabljevec

Analiza vpliva prometa na stanje vozišča s programom HDM-4

Diplomska naloga št.: 2840

Mentor:

doc. dr. Marijan Žura

Somentor:

asist. mag. Bojan Strah

Ljubljana, 27. 10. 2005

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji prometne smeri :

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:625.76.004.6:656.1(043.2)
Avtor:	Matjaž Grabljevec
Mentor:	doc.dr. Marijan Žura
Somentor:	mag. Bojan Strah
Naslov:	Analiza vpliva prometa na stanje vozišča s programom HDM-4
Obseg in oprema:	70 str., 8 pregl., 33 sl.
Ključne besede:	gospodarjenje z vozišči, HDM-4, propadanje vozišč, poškodbe asfaltnih vozišč, MSI, cestno omrežje, Banka cestnih podatkov

Izvleček

Diplomsko delo obravnava analizo vpliva prometa na stanje voziščne konstrukcije, obenem pa ugotavlja stroške uporabnikov in upravljalcev cest. Dokazano je, da največ škode na voziščih povzročijo tovorna vozila. Stroški uporabnikov cest so neposredno povezani s stanjem vozišča, kar vpliva na porabo goriva, obrabo gum, potovalno hitrost in s tem povezane zamude ter druge stroške. Prvi del diplomske naloge obsega splošen opis gospodarjenja z vozišči, kamor spada zbiranje podatkov o stanju vozišča ter v drugi fazi principe in metode za racionalno razporejanje denarja za vzdrževanje vozišč. Glede zbiranja podatkov je opisano pridobivanje podatkov iz Banke Cestnih Podatkov (BCP) in prilagajanje teh podatkov za uporabo v programu HDM-4. V nadaljevanju je ta program, ki se uporablja za optimizacijo finančnih vlaganj v cestno infrastrukturo tudi podrobneje opisan. V analizi se za analizirano cestno omrežje v okolici Kranja dolžine 63 km predpostavlja struktura tovrnega prometa od 0 do 30 %. Analiza upošteva 3 različne scenarije vzdrževalnih ukrepov, ki vključujejo osnovno redno vzdrževanje, preplastitev ter posodobitev vozišča. Na koncu je prikazana tudi napoved stanja vozišča čez 15 let za različne višine finančnih vlaganj.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:625.76.004.6:656.1(043.2)
Author: Matjaž Grabljevec
Supervisor: Assist. Prof. Ph.D. Marijan Žura
Co-Supervisor: MSc. Bojan Strah
Title: Analysis of the effect of traffic on road driving surface with HDM-4 software
Notes: 70 p., 8 tab., 33 fig.
Keywords: pavement management system, HDM-4, road deterioration, bituminous pavement distress modes, MSI, road network, Road databank

Abstract

The following Graduation Thesis focuses on analysis of effect of traffic on road condition, while also calculating road agency and road user costs. It is a well known fact, that heavy traffic vehicles cause the greatest damage on roads. Furthermore, road user costs are directly linked to road condition, which has influence on fuel consumption, tyre wear, travel speed etc. First part of Graduation Thesis describes pavement management system, which consists of data management in a first phase and in a second phase methods for assigning financial resources for road maintenance. There is a description of Road Database, which deals with road data of all kinds. HDM-4 software, which optimises financial investment on roads, is described afterwards. Road network, used in the analysis, is situated in Gorenjska region, with a total length of 63 km. The composition of heavy traffic vehicles varies from 0 to 30 %. Road maintenance is composed of 3 different scenarios: periodic maintenance, asphalt overlay and rejuvenation. In the analysis, road agency and road user costs were examined, together with roughness of driving surface after the analysis period of 15 years.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju Marijanu Žuri in somentorju Bojanu Strahu ter predvsem svoji družini, ki me je podpirala v letih študija.

»Zakaj?«, je rekel Rick. »Zakaj bi to napravil? Dal bom odpoved in se odselil.«

Stari mož je rekel: »Od tebe se bo zahtevalo, da delaš napačno, ne glede na to, kam pojdeš. To je osnovna postavka življenja, ki zahteva, da prekršiš svojo lastno identiteto. Nekoč bo vsaka pojava, ki živi, prisiljena v to. To je končni zastor, poraz ustvarjanja. To je prekletstvo pri delu, prekletstvo, ki se napaja ob vsem življenju. Povesod v vesolju.«

(Philip K. Dick; Do Androids Dream Of Electric Sheep?)

Prividi so subjektivne podobe, ki nam jih pričara posebno stanje našega duha in čutil. Dejstva pa so prividi, ki jih nismo sposobni razkrinkati kot take.

(Orson Maynard)

Brezupno je! Mar ne vidiš, da je popolnoma brezupno?

(Neznan)

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	PRINCIP GOSPODARJENJA Z VOZIŠČI.....	3
3	PROGRAM HDM – 4	4
3.1	Nastanek	4
3.2	Natančnost programa.....	6
3.3	Nivoji uporabe	7
3.3.1	Strateški nivo	9
3.3.2	Programski nivo.....	10
3.3.3	Projektni nivo.....	12
3.4	Tehnični modeli	13
3.4.1	Model propadanja vozišč in cestnih ukrepov (RDWE – Road deterioration and Works Effect).....	13
3.4.2	Model vpliva na uporabnika (RUE – Road User Effect)	14
3.4.3	Model vpliva na okolje (SEE – Social and Environmental Effect)	15
3.5	Ukrepi na cestnem telesu	16
3.5.1	Vzdrževalni ukrepi	17
3.5.2	Gradbeni ukrepi	17
3.6	Poškodbe na asfaltnih voziščih	19
3.6.1	Uvod	19
3.6.2	Razpoke	23

3.6.3	Preoblikovanje - kolesnice.....	24
3.6.4	Obraba	25
3.6.5	Udarne jame	26
3.6.6	Poškodbe robov vozišča	27
3.6.7	Ravnost.....	28
4	UPORABA PROGRAMA HDM-4.....	29
4.1	Cestno omrežje	30
4.1.1	Splošni podatki o odseku	30
4.1.2	Geometrijski parametri odseka	31
4.1.3	Voziščna konstrukcija	32
4.1.4	Poškodbe voziščne konstrukcije	33
4.1.5	Dodatni parametri za opis odsekov	36
4.2	Vozni park	38
4.2.1	Splošno	38
4.2.2	Cene vozil.....	40
4.3	Ukrepi na cestišču	42
4.4	Nabor nastavitvev	44
4.4.1	Nastavitve klimatskih razmer	44
4.4.2	Izbira denarne valute.....	45
4.4.3	Urna distribucija prometa in kapaciteta ceste	45
5	PRIMER PROGRAMSKE ANALIZE	46
5.1	Uvod.....	46
5.2	Cilj analize	47
5.3	Cestno omrežje	49

5.4	Homogenizacija odsekov	51
5.4.1	MSI – Modified Swiss Index	52
5.5	Vzdrževanje in kriteriji.....	57
5.5.1	Redno vzdrževanje	57
5.5.2	Investicijsko vzdrževanje	58
5.6	Analiza	60
5.7	Rezultati.....	63
6	ZAKLJUČEK	68
	VIRI	70

KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1 : POTEK ANALIZE V PROGRAMU HDM-4	8
PREGLEDNICA 2 : SEZNAM ODSEKOV	50
PREGLEDNICA 3 : RAZREDI POŠKODOVANIH POVRŠIN PO MSI	53
PREGLEDNICA 4 : JAKOST POŠKODB.....	53
PREGLEDNICA 5 : KRITERIJI SLUŽNOSTI VOZIŠČA V ODVISNOSTI OD PLDP IN MSI.....	54
PREGLEDNICA 6 : OBRAVNAVANI ODSEKI V ANALIZI	55
PREGLEDNICA 7 : STRUKTURA TOVORNIH VOZIL.....	60
PREGLEDNICA 8 : RAST PROMETA.....	61

KAZALO SLIK

SLIKA 1 : STROŠKI UPRAVLJALCEV IN UPORABNIKOV CEST	2
SLIKA 2 : IZGLED PROGRAMA HDM-4.....	5
SLIKA 3 : SHEMA PROGRAMA HDM-4.....	9
SLIKA 4 : UTRDITEV ASFALTNEGA VOZIŠČA	20
SLIKA 5 : PREČNI PREREZ CESTE.....	21
SLIKA 6 : RAZPOKE	23
SLIKA 7 : PREOBLIKOVANJE	24
SLIKA 8 : OBRABA ASFALTA NA AVTOBUSNI POSTAJI	25
SLIKA 9 : UDARNA JAMA	26
SLIKA 10 : POŠKODOVANI ROB VOZIŠČA	27
SLIKA 11 : GLAVNO OKNO PROGRAMA HDM-4	29
SLIKA 12 : VNOS GLAVNIH PODATKOV ZA CESTNI ODSEK.....	30
SLIKA 13 : VNOS GEOMETRIJSKIH PARAMETROV ODSEKA	31
SLIKA 14 : VNOS PARAMETROV ZA VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO	32
SLIKA 15 : VNOS POŠKODB VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE.....	33
SLIKA 16 : VNOS DODATNIH PARAMETROV ODSEKA.....	36
SLIKA 17 : VNOS PODATKOV ZA BANKINE	37
SLIKA 18 : SEZNAM VOZIL VOZNEGA PARKA	38
SLIKA 19 : OSNOVNI PARAMETRI ZA VOZILO	39
SLIKA 20 : VNOS CEN IN STROŠKOV VOZILA	41
SLIKA 21 : MASKA ZA VNOS KRITERIJA UKREPA.....	42
SLIKA 22 : VNOS PODATKOV ZA PREPLASTITEV.....	43
SLIKA 23 : KLIMATSKI PARAMETRI	45
SLIKA 24 : PRINCIP HOMOGENIZACIJE	51
SLIKA 25 : ANALIZIRANI ODSEKI	56
SLIKA 26 : ŠTEVEC PROMETA QLD-6.....	61
SLIKA 27 : SKUPNI STROŠKI ZA UKREPE REDNEGA VZDRŽEVANJA	63
SLIKA 28 : SKUPNI STROŠKI ZA SCENARIJ PREPLASTITVE.....	63
SLIKA 29 : SKUPNI STROŠKI ZA SCENARIJ POSODOBITVE	64

SLIKA 30 : ZDRUŽEN GRAF VSEH TREH SCENARIJEV.....	64
SLIKA 31 : RAVNOST VOZIŠČA GLEDE NA TOVORNI PROMET IN VLOŽENI DENAR	65
SLIKA 32 : RAVNOST VOZIŠČA PRI STROŠKIH UKREPOV 3 MILIJONE €.....	66
SLIKA 33 : NSV PROGRAMA PRI STROŠKIH UKREPOV 3 MILIJONE €.....	67

1 UVOD

Inženiring je dejavnost, pri kateri se ena ali več panog znanosti uporabijo za rešitev nekega problema. Gradbeno inženirstvo (gradbeništvo) združuje fiziko, kemijo, matematiko ter vede o materialih in se ukvarja z projektiranjem, gradnjo in vzdrževanjem grajenih objektov. Cilj prometnega inženirstva pa je projektiranje varnih prometnih objektov, ki zagotavljajo ustrezen nivo uslug za uporabnike v vseh pričakovanih prometnih pogojih, in to tako danes kot v prihodnosti.

Za javne ceste na splošno velja, da predstavljajo enega od največjih posameznih premoženj, ki je v lasti javnih entitet, gospodarjenje in upravljanje s tem premoženjem pa predstavlja enega največjih izzivov.

Cesta je inženirski objekt, ki je vitalnega pomena za delovanje vsake države. Omogoča transport ljudi in blaga in nemalokrat neposredno vpliva na finančno blagostanje določene regije. Cesta mora biti zgrajena tako, da omogoča varno in hitro odvijanje prometa, da čim manj posega v prostor ter da predstavlja za uporabnike in vzdrževalce cest čim manjši strošek; to pa se doseže s kvalitetno gradnjo, ki omogoča dolgotrajno uporabo brez popravil.

Finančna vrednost cestnega omrežja neke države je izredno visoka, vendar še večjo vrednost predstavljajo ogromni prihranki za uporabnike, ki jih omogoča kvalitetno cestno omrežje.

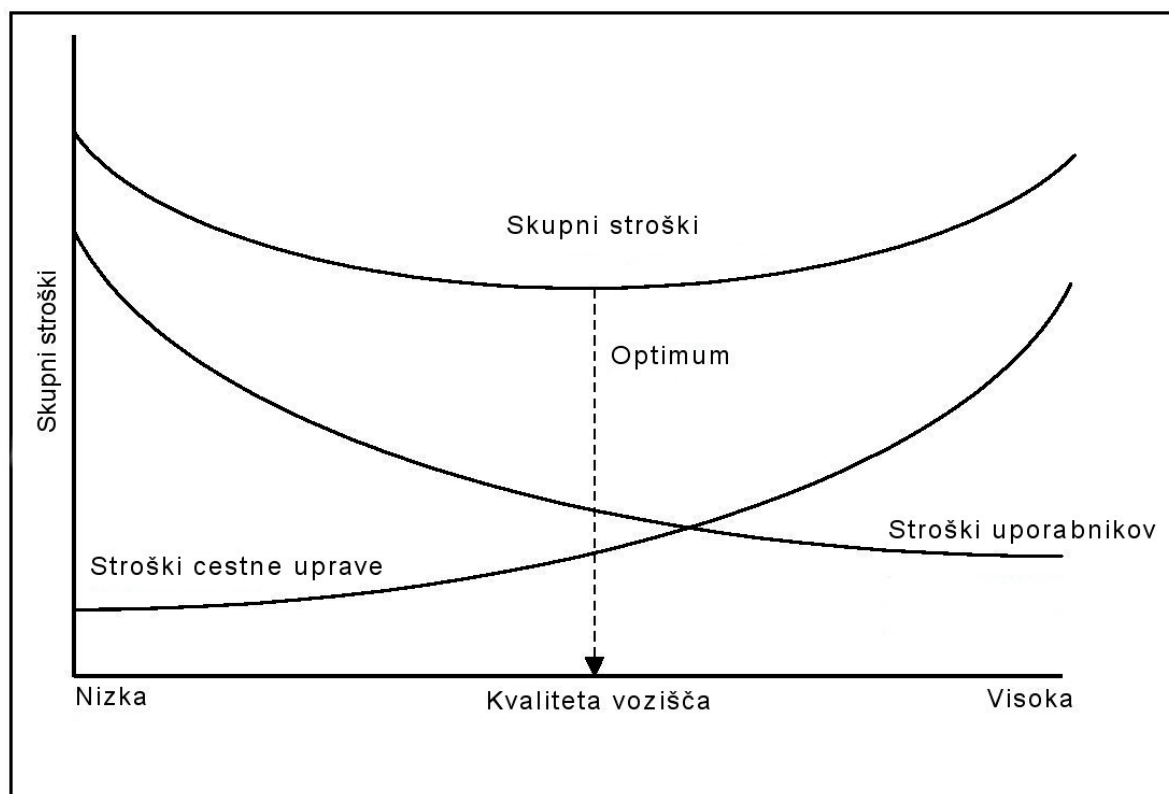
Ko obravnavamo stroške cest, moramo poleg stroškov izgradnje (v katero so vključeni planiranje, odkup zemljišč, projektiranje, različne študije), prišteti še stroške vzdrževanja, stroške uporabnikov, stroške prometnih nesreč, stroške vplivov na okolje (hrup, emisije – stroške določimo tako, da določimo količino finančnih sredstev, potrebnih, da okolico povrnemo v stanje brez vplivov; npr. protihrupne bariere). Šele ko smo upoštevali vse naštetе stroške, lahko celostno gledamo na smiselnost vlaganja v obnovo cestišč in ugotavljamo morebitne prihranke, ki jih dosežemo z vzdrževanjem.

Dejstvo je, da se vzdrževalnih ukrepov ne izvaja samo na podlagi strokovnih ocen o upravičenosti investicije, temveč nemalokrat na pobudo in željo širše javnosti ali celo

političnih krogov. Zato je potrebno logično uskladiti strokovne zahteve upravljalcev cest ter zahteve javnosti.

V splošnem so stroški upravljalca cest ter stroški uporabnika v obratnem sorazmerju. Večji ko so stroški upravljalca oziroma vzdrževalca, nižji so stroški za uporabnika, zaradi izboljšane vozišča. Obratno pa stroški uporabnika naraščajo z zmanjševanjem stroškov vzdrževalca cest, saj s slabšanjem vozne površine naraščajo obraba vozila in pnevmatik, daljšajo se potovalni časi,... Izziv upravljalcev ces je, da poiščejo tisto razmerje stroškov uporabnikov in vzdrževalcev, pri katerem bodo skupni stroški najmanjši.

Princip te soodvisnosti je prikazan na sliki št. 1.



Slika 1 : Stroški upravljalcev in uporabnikov cest

2 PRINCIP GOSPODARJENJA Z VOZIŠČI

Pri sistemu gospodarjenja z vozišči (pavement management system) gre za orodja ali metode, ki upravljalcem cest pomagajo najti cenovno najbolj sprejemljivo strategijo za oceno in vzdrževanje vozne površine. Sistem za gospodarjenje sestavljata dva bistvena dela. Prvi del je baza podatkov, ki vsebuje informacije o trenutnem in preteklem stanju vozišč, količini in strukturi prometa, poškodbah vozišč ter vseh preteklih ukrepov na cestišču. Drugi sestavni del sistema za gospodarjenje z vozišči pa je model, ki na podlagi vpliva zunanjih dejavnikov; kot so gostota in struktura prometa, podatkov iz prvega dela sistema, klimatskih razmer ter ostalih vplivov napoveduje stanje voziščne konstrukcije in na podlagi stroškov ukrepov na cestišču določa odseke, na katerih bo smiselno izvesti vzdrževalne ali gradbene ukrepe.

V Sloveniji Direkcija Republika za ceste (DRSC) uporablja program BCP (Banka cestnih podatkov), ki po svojem namenu spada v prvi sestavni del sistema za gospodarjenje z vozišči. Program Banka cestnih podatkov je namenjen vodenju, analiziranju in posredovanju podatkov o javnih cestah. Podatke o stanju zgrajenih novih javnih cest in objektov na njih ter o spremembah stanja obstoječih javnih cest in objektov na njih, ki so posledica njihove rekonstrukcije, zagotavlja za Banko cestnih podatkov njihov investitor. Za spremembe, ki so posledica izvajanja obnovitvenih in rednih vzdrževalnih del ali drugih ukrepov na njih, zagotavljata podatke za Banko cestnih podatkov Direkcija Republike Slovenije za ceste in občinske uprave (če gre za občinske ceste).

Pravilnik o načinu označevanja javnih cest in o evidencah o javnih cestah in objektih na njih (Ur.l. RS, 1997/49) nalaga občinam vodenje in posredovanje podatkov o občinskih javnih cestah in objektih na njih. Računalniški program BCP uporabljajo vse slovenske občine (193 občin).

3 PROGRAM HDM – 4

3.1 Nastanek

Program za načrtovanje in vzdrževanje cest (Highway development and management software) je program za optimizacijo finančnih investicij v cestno infrastrukturo.

Prvi korak k nastanku modela za oceno investicij v cestno omrežje je leta 1968 naredila Svetovna banka. Prvi model je bil narejen v sodelovanju z Laboratorijem za raziskave transporta in cest (TRRL – Transport and Road Research Laboratory) iz Anglije. Kasneje je MIT (Massachusetts Institute of Technology) iz ZDA po obsežni raziskavi naredil izboljššan model in leta 1971 je nastal program HCM (Highway Cost Model). HCM je bil pomemben vmesni korak k razvoju uporabnejših modelov vplivov na voziščne konstrukcije, saj je osvetlil področja, ki jih je bilo potrebno temeljiteje raziskati.

Temu je sledila obsežna terenska raziskava v Keniji, s katero so raziskovali propadanje asfaltnih in makadamskih vozišč ter faktorje, ki vplivajo na stroške uporabnikov. Na podlagi rezultatov te raziskave je bil napisan program RTIM (Road Transport Investment Model), ki je bil namenjen za cestna omrežja držav v razvoju.

Svetovna banka je leta 1976 financirala nadaljnji razvoj programa HCM in nastala je prva verzija programa HDM, ki se je takrat imenoval še Highway Design and Maintenance Standard.

Svetovna banka je na podlagi prejšnjih pridobljenih spoznanj razvila program HDM-III, ki so mu leta 1994 dodali za uporabnika prijaznejši uporabnejši vmesnik za delo z meniji.

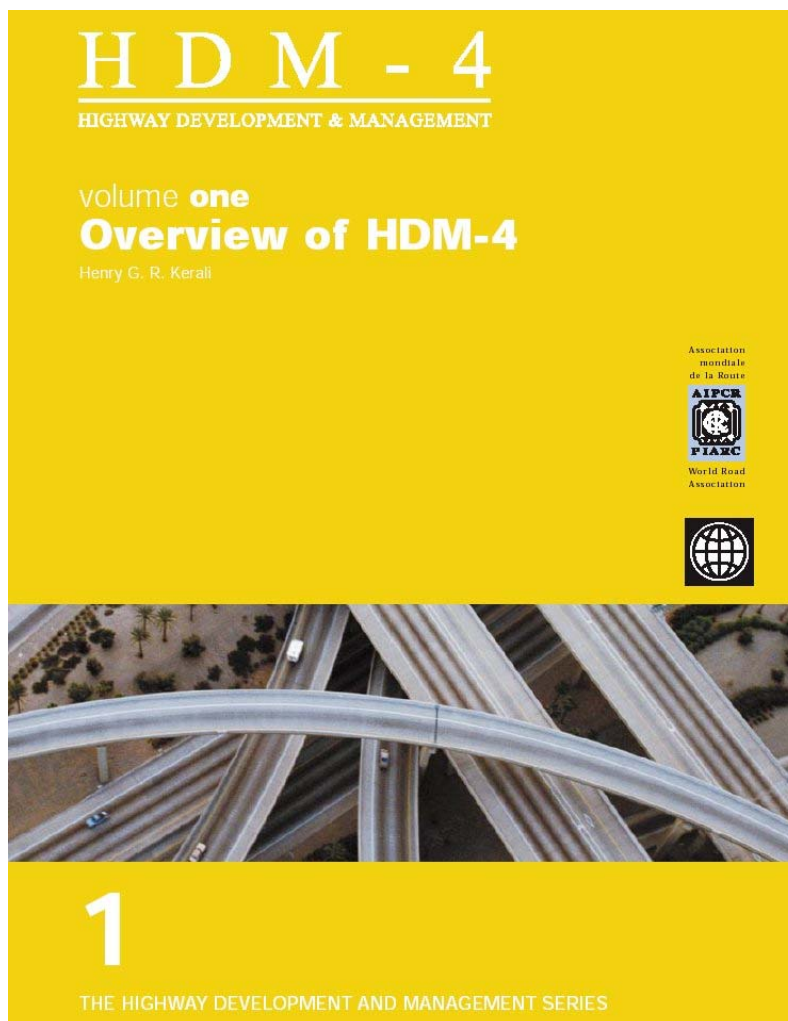
Različne verzije programa HDM so se za ekonomsko vrednotenje cestnih projektov uporabljale v več kot 100 državah. Z izkušnjami so se kopičila spoznanja in ugotovitve, na podlagi katerih je nastala potreba po temeljni prenovi modela, ki bi vključevala večjo količino različnih vozniških površin in pogojev uporabe programa.

Leta 1995 je bil program HDM-III star že več kot 10 let. Modeli za propadanje vozišč so bili sicer še zadovoljivo uporabni, vendar je bilo v predhodnem desetletju po svetu izvedenih že toliko terenskih raziskav, da se je zdelo smiselno tudi te raziskave vključiti v obstoječ model in ga tako popraviti. Ker je vmes prišlo tudi do napredka v tehnologiji prevoznih sredstev, kar

ima za posledico manjše stroške uporabe vozil, so v prenovljen model vključili tudi te novosti. Tako modificiran program je dobil ime HDM-4, ki vsebuje tudi modele za upoštevanje zgoščenega prometa, hladnih klimatskih razmer, večje količine različnih vozni površin ter vplive na okolje (poraba energije, emisije izpušnih plinov iz vozil).

Ta program, ki po svojem namenu spada k drugi polovici sistema za gospodarjenje z vozišči, sem uporabljal pri raziskavi. Uporabljal sem različico programa 1.0, ki je bila izdana leta 2000.

Na voljo je tudi že izboljšana različica 2.0, ki je bila dokončana poleti 2004. Verzija 2.0 ima izboljšane modele za propadanje vozišč in vplive ukrepov na vozišče. Te verzije nisem imel priložnosti preizkusiti.



Slika 2 : Izgled programa HDM-4

3.2 Natančnost programa

Program HDM-4 modelira stanje vozišča. To vključuje napoved propadanja vozišč zaradi prometa in staranja, vpliv na uporabnika ceste in vpliv ukrepov na cestišču na stanje vozne površine. Kot vsak model, je tudi model v programu HDM-4 samo približek realnosti. Realnost oziroma točnost modela je odvisna od treh faktorjev :

1. *Natančnost osnovnih modelov vplivov na ceste in uporabnika*

Tu gre za to, kako dobro so modelirani vplivi prometa na stanje voziščne konstrukcije oziroma kako stanje vozišča vpliva na stroške uporabnikov. Te modele je možno točneje nastaviti s kalibracijskimi faktorji (glej spodaj), s katerimi lahko uporabnik natančneje določa modele, ki predstavljajo sovisnosti med cesto, okoljem in uporabniki.

2. *Natančnost in količina vhodnih podatkov*

Sem spadajo vsi podatki, ki jih mora uporabnik definirati, preden se začne modeliranje stanja voziščne konstrukcije. Z natančnostjo je mišljeno, da mora uporabnik v program navajati čimbolj točne podatke, ki odražajo realno stanje na terenu. S količino vhodnih podatkov pa je mišljeno, da mora uporabnik podati čimveč podatkov, tudi tistih, ki niso bistveni za samo delovanje programov. Sem spadajo predvsem cene posameznih delov vozila, ki ne vplivajo na delovanje programa, ampak le na končen strošek uporabnika.

3. *Kalibracijski faktorji*

Kalibracijski faktorji omogočajo uporabniku, da na podlagi točnejših podatkov o sovisnosti med okoljem, prometom in cesto natančneje definira modele, ki računajo stroške in propadanje voziščne konstrukcije

Prvi od teh treh dejavnikov, ki predstavlja točnost programskih modulov za propadanje vozišč, cestne ukrepe in vpliv na uporabnike se je v preteklosti izkazal kot dovolj točen. Zato je realnost modela HDM-4 odvisna predvsem od točnosti vhodnih podatkov ter od kalibracijskih faktorjev. Od zadnjih dveh je mnogo težje ugotavljati točne kalibracijske faktorje, zato je zelo pomembno, da si uporabnik priskrbi čimbolj točne vhodne podatke o stanje vozišč, prometu, klimatskih razmerah, voznem parku ter ukrepih na cestišču. Za določitev natančnih kalibracijskih faktorjev bi potreboval veliko časa ter dodatnih raziskav. Določanje teh faktorjev ni bil cilj moje diplomske naloge, zato sem jih večino ohranil na prednastavljeni vrednosti.

3.3 Nivoji uporabe

Program HDM-4 omogoča 3 nivoje uporabe, glede na velikost analiziranega cestnega omrežja in glede na stopnjo analize, ki jo želimo izvajati. Na voljo so nam naslednji trije nivoji uporabe oziroma analiz :

- projektna analiza
- programska analiza
- strateška analiza

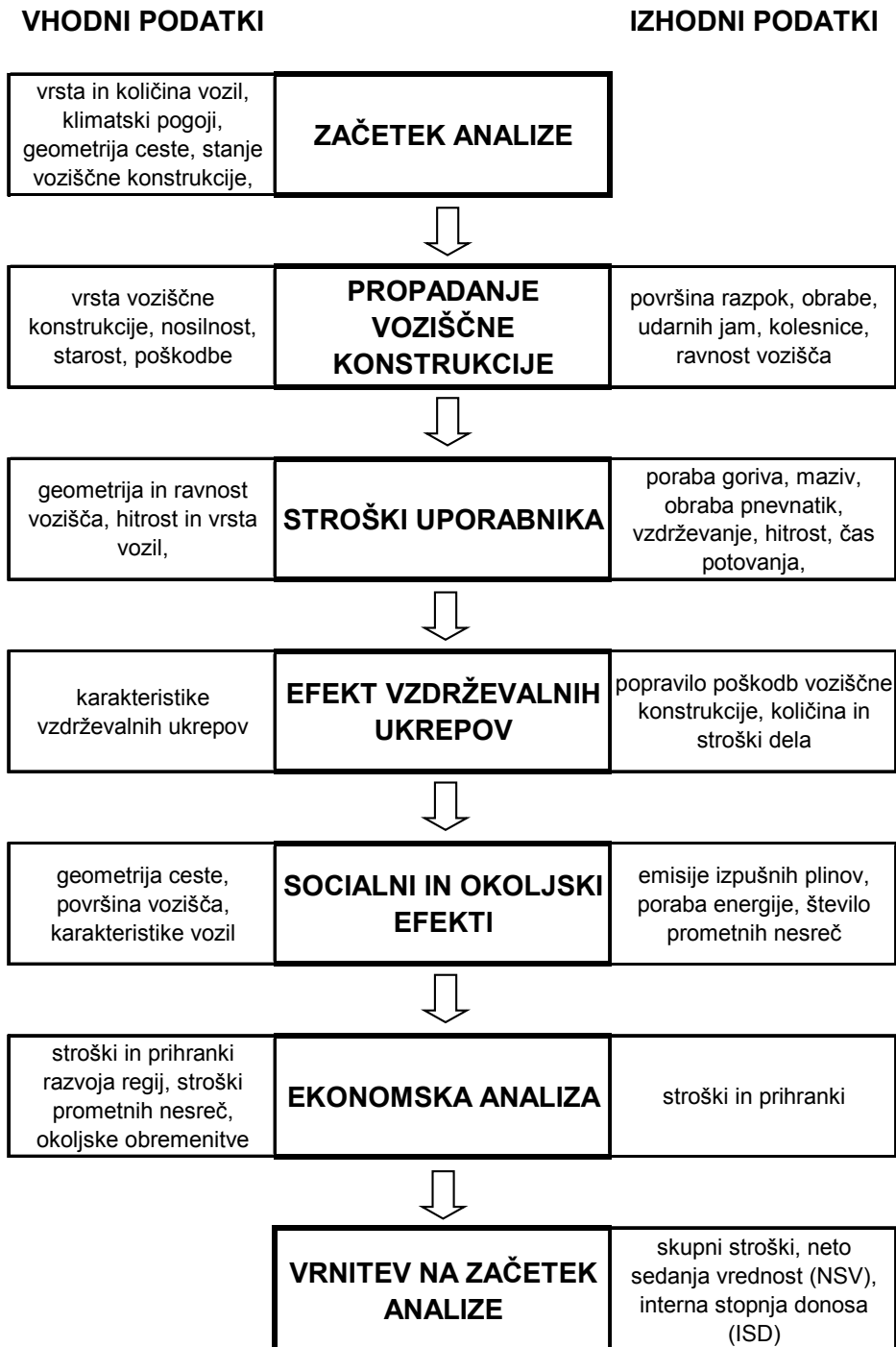
V vsakem od treh analiz program v osnovi ugotavlja eno od dveh možnosti :

- koliko denarja bi potrebovali za vse izvedene ukrepe in željeno stanje cest po končanem obdobju
- kam za optimalen učinek usmeriti finančna sredstva, v primeru ko imamo na voljo omejeno količino denarja

Ne glede na to, kateri nivo analize izberemo, nam program dogajanje na vozišču v vsakem primeru modelira po sistemu življenjskega cikla (life-cycle analysis).

Na preglednici je predstavljen življenjski cikel v programu HDM-4, na sliki št. 3 pa je prikazana shema posameznih komponent programa. Posamezne komponente so podrobneje razložene v naslednjih poglavjih.

Preglednica 1 : Potek analize v programu HDM-4





Slika 3 : Shema programa HDM-4

3.3.1 Strateški nivo

Strateški nivo je analiza na najvišji ravni in analizira cestna omrežja na območju celotne države ali širših regij. Cestni odseki so tukaj združeni v kategorije, ki reprezentativno kažejo na kvaliteto vozišča in količino prometa. Na ta način upravljalec cest določi, katerim kategorijam cest bo v prihodnjih proračunskih obdobjih pripadala določena količina denarja za vzdrževanje. Časovno obdobje strateške analize je običajno več deset let.

Omenjene kategorije cest vsebujejo fizične odseke cest, ki pa so v teh skupinah združeni in nerazpoznavni. Posamezna skupina (npr. skupina z dobro kvaliteto vozišča in majhno količino prometa) vsebuje enake podatke o odseku, kot če bi obravnaval posamezen fizičen odsek, le da ima skupina celotno dolžino vseh odsekov, ki jo sestavljajo.

3.3.2 Programski nivo

Programski nivo analize programa HDM-4 se ukvarja z prednostnimi ukrepi na seznamu več cestnih odsekov v časovnem obdobju od enega do nekaj let. Pri tem imamo lahko na razpolago določeno vsoto denarja, ki jo lahko smiselno razporedimo po cestnem omrežju tako, da bomo za porabljeno vsoto denarja dobili kar najboljšo cestno površino in s tem najmanjše stroške uporabnikov. Vrsta ukrepov se izvaja pod kriteriji, ki jih določa upravljalec cest in so običajno odvisni od skupne razpoložljive vsote denarja (npr. preplastitev vozišča z 20 % poškodovane površine). Odstotek poškodovane površine je v tem primeru spremenljivka.

Ko se določi vse možne ukrepe za posamezne odseke, program analizira vsak odsek po programu vzdrževanja z določenimi ukrepi.

Glavna in edina razlika med strateškim in programskim nivojem je v tem, da so na programskem nivoju vsi cestni odseki fizično ločeni med seboj, pri čemer je vsak od njih natančno definiran. Pri strateški analizi pa so meje med posameznimi cestnimi odseki zabrisane, cestni odseki s podobnimi karakteristikami so združeni v enotno kategorijo.

Pri programski analizi gre v splošnem za to, da najdemo tisto kombinacijo ukrepov na cestnem omrežju, ki najbolj optimalno porabi določeno vsoto denarja za ukrepe. Če je naša naloga npr. dobiti največjo neto sedanjo vrednost (NSV), moramo izbrati tisto kombinacijo ukrepov na odsekih, ki prinesejo največjo skupno NSV v okviru danih finančnih pogojev.

Programska analiza vsebuje 2 različni metodi analize :

- life-cycle analysis (analiza finančnega obdobja)
- multi-year forward programme (analiza razvoja stanja voziščne konstrukcije)

ANALIZA FINANČNEGA OBDOBJA. Glavni princip analize nekega finančnega obdobja je v programu HDM-4 enak za vse tri vrste nivojev (projektni, programski, strateški). V vsakem primeru program za prihodnost modelira stanje voziščne konstrukcije in računa stroške uporabnikov ter upravljalcev cest glede na ukrepe, ki jih določi uporabnik programa. Glavni stroški, vsebovani v analizi finančnega obdobja so stroški gradnje in vzdrževanja cest ter stroški vozil, ki potujejo po teh cestah. Stroškom vozil lahko dodamo tudi stroške potovalnih časov. Dodatne stroške, ki jih predstavljajo prometne nesreče ter emisije plinov in poraba energije, lahko dodamo kasneje in niso bistveni za delovanje programa.

Shema delovanja analize finančnega obdobja je prikazana v preglednici št. 1. Stroški vzdrževanja in stroški uporabnikov cest so med seboj odvisni (bolj točno, stroški uporabnikov cest so odvisni od stroškov vzdrževanja in gradnje cest). Skupni stroški uporabnikov in upravljalcev se seštevajo v diskontiranih stopnjah. Stroške uporabnikov in upravljalcev program izračuna tako, da predvidi količino porabljenih fizičnih sredstev (gorivo, pnevmatike, površina preplastitve, krpanja udarnih jam) in jih pomnoži s ceno enote teh sredstev. Finančne prihranke program izračuna tako, da skupne stroške neke alternative ukrepov (stroški uporabnikov + stroški vzdrževalca) primerja z alternativo ukrepov, kjer ukrepi niso predvideni (do nothing) ali pa so predvideni le najnunejši ukrepi (do minimum alternative).

ANALIZA RAZVOJA STANJA VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE.

Analiza razvoja stanja voziščne konstrukcije je poenostavitev analize finančnega obdobja, ki primerja naslednji alternativni :

- izvedba ukrepov na cestišču v danem finančnem obdobju
- odlog izvedbe ukrepov na cestišču do prvega leta po koncu finančnega obdobja

Za izvedbo programske analize (katerekoli) potrebujemo naslednje podatke :

- cestno omrežje : definiramo v okolju za določitev podatkov o cestah – Road network manager (poglavje 4.1)
- vozila : vse karakteristike vozil določamo v okolju Vehicle fleet manager. Program HDM-4 loči v osnovi 2 vrsti vozil : motorizirane in nemotorizirane (poglavje 4.2)
- ukrepi na cestišču : ukrepi, ki izboljšujejo stanje voziščne konstrukcije. Delijo se na vzdrževalne (maintenance) in na gradbene ukrepe (improvement). Definira se jih v okolju Road works manager (poglavje 4.3)

V svoji diplomski nalogi sem na primeru izvedel programski nivo analize, ki je opisan v poglavju št. 5.

3.3.3 Projektni nivo

Projektni nivo omogoča uporabniku, da izvede ekonomsko upravičenost izvedbe določenega ukrepa v primerjavi z nekim podobnim ukrepom na istem odseku.

Projektna analiza je sestavljena iz naslednjih procesov :

- modeliranje propadanja voziščne konstrukcije
- določanje stroškov uporabnikov (gorivo, rezervni deli, stroški nesreč,...)
- modeliranje ukrepov za vzdrževanje in njihovih stroškov
- izračun prihrankov izvedbe projekta v primerjavi s primerjalnim projektom

Namen projektnega nivoja analize je ugotoviti, pri katerem projektu imamo ob najnižjih stroških čim večje koristi oz. prihranke.

V splošnem se projekt definira kot vrsta cestnih ukrepov na enem ali več cestnih odsekih, ki jih lahko smiselno združimo v eno pogodbo za izvajalca. Za en sam odsek lahko definiramo več projektnih alternativ in nato ugotavljamo, katera od njih nam ob najmanjših stroških postreže z najboljšim stanjem vozišča in s tem tudi z najmanjšimi stroški uporabnikov ceste.

3.4 Tehnični modeli

Program HDM-4 temelji na empiričnih modelih, ki so bili pridobljeni z dolgotrajnimi terenskimi preizkusi na različnih cestiščih v različnih državah. S primerjavo vhodnih podatkov (vozila, cene, obremenitve,...) in rezultatov na vozišču in okolici ter stanju vozil so strokovnjaki določili različne modele, ki jih program uporablja za izračun rezultatov analize (stroški, stanje vozišč). Ti modeli so sestavljeni iz empirično dobljenih formul, katere sestavljajo konstante in spremenljivke, ki jih dobimo iz vhodnih podatkov o cestah, vozilih, prometu in klimatskih pogojih.

V nadaljevanju sem za vsakega od modelov podal po en primer empirično dobljene formule.

3.4.1 Model propadanja vozišč in cestnih ukrepov (RDWE – Road deterioration and Works Effect)

Model propadanja vozišč temelji na modeliranju 8 karakteristik vozišča :

1. Razpoke
2. Obraba
3. Udarne jame
4. Poškodbe robov vozišča
5. Kolesnice
6. Ravnost
7. Globina profila
8. Odpornost proti zdrsu (SCRIM)

$$IRV = K_{vi} * CDS^2 * a_0 * RRF \exp(a_1 * YAX)$$

IRV..... čas do začetka obrabe (v letih)

K_{vi}..... kalibracijski faktor za začetek obrabe

CDS..... indikator napak na asfaltnih površinah

a₀..... kalibracijski faktor, odvisen od materiala vozne površine

RRF..... kalibracijski faktor zaradi vzdrževanja

YAX..... skupno število prevozov nominalnih osi v enem letu

a₁..... kalibracijski faktor, odvisen od materiala vozne površine

3.4.2 Model vpliva na uporabnika (RUE – Road User Effect)

Model vpliva na uporabnika računa naslednje stroške uporabnika oziroma vozila :

1. Poraba goriva
2. Poraba motornega olja
3. Obraba pnevmatik
4. Obraba delov vozila
5. Stroški vzdrževanja vozila
6. Zmanjšanje vrednosti vozila
7. Obresti
8. Stroški voznika (velja za gospodarska vozila)
9. Režijski, fiksni stroški

Primer formule za izračun porabe motornega olja :

$$OIL_{kp} = OILCONT + OILOPER * FC_{kp}$$

OIL_{kp}..... poraba motornega olja (l/1000 km)

OILCONT..... izguba motornega olja (l/1000 km)

OILOPER..... poraba motornega olja med delovanjem vozila (l/1000 km)

FC_{kp}..... poraba goriva v določenem obdobju (l/1000 km)

Vrednosti za porabo motornega olja so za posamezno vrsto vozila že definirane, vendar jih uporabnik lahko spreminja.

Program nato na osnovi cen vozila, goriva, olja, pnevmatik, fiksnih in drugih stroškov in količine porabljenih materialov izračuna skupne stroške, ki nastanejo pri vožnji posameznega vozila na cestnem omrežju.

3.4.3 Model vpliva na okolje (SEE – Social and Environmental Effect)

Program HDM-4 omogoča tudi napoved vpliva prometne obremenitve na okolje. Tu gre predvsem za emisije izpušnih plinov motoriziranega prometa. Z analizo lahko za vsako vozilo ugotovimo emisije ogljikovodikov, ogljikovega monoksida, dušikovih oksidov, žveplovega dioksida, ogljikovega dioksida, sajastih delcev ter svinca.

Ena od zanimivih analiz je primerjava zmanjšanja ali povečanja emisij na posameznem odseku po opravljenem ukrepu. Poleg tega program omogoča tudi izračun porabe energije za izdelavo in delovanje vozil ter za dobavo in porabo goriva v nekem časovnem obdobju. Ta možnost je primerna za izračun skupnih okoljskih vplivov, vendar je v svoji analizi nisem uporabljal.

Sedanja verzija programa emisij hrupa in njegovega vpliva na okolje še ne upošteva.

Primer formule za izračun emisij ogljikovega monoksida :

$$E_{CO} = [3,6 * K_{ec0} * (a_0 + a_1 * K_{ec1} * IFC) * (1 + 0,5 * a_2 * LIFE) * 1000] / SPEED$$

E_CO..... emisije ogljikovega monoksida (g/voz/km)

a₀, a₁, a₂..... parametri, definirani za posamezen model vozila (fiksna vrednost)

K_{ec0}..... kalibracijski faktor (osnovna vrednost 1)

K_{ec1}..... kalibracijski faktor (osnovna vrednost 1)

LIFE..... predvidena življenska doba vozila (v letih)

IFC..... poraba goriva pri mirovanju vozila v prostem teku (ml/s)

SPEED..... hitrost vozila na odseku (km/h)

3.5 Ukrepi na cestnem telesu

K ukrepom na cestnem telesu spadajo vsa tista gradbena dela, katerih namen je izboljšati stanje voziščne konstrukcije, s čimer se posledično znižajo stroški uporabnikov. V prvih letih po izgradnji ali rekonstrukciji cestnega odseka se da z manjšimi posegi (ukrepi) relativno poceni za določen čas izogniti večjim posegom, ki zahtevajo mnogo večja finančna vlaganja. Zato v primeru, ko se le da, težimo k temu, da izvajamo redno vzdrževanje in s tem odlagamo dražje ukrepe, kot je npr. rekonstrukcija.

V splošnem naj bi bili ukrepi na cestišču zastavljeni tako, da bodo stroški ukrepa čim manjši, doba trajanja popravljenega vozišča čim daljša, uporaba ceste med popravilom čim manj ovirana, vpliv popravila na okolje pa naj bo čim manjši.

V praksi uveljavljeni postopki za popravilo poškodb na asfaltnih voziščih temeljijo na različnih osnovnih izhodiščih, na podlagi katerih sem pripravil tudi ukrepe za primer analize :

- preventivno ukrepanje je zasnovano na vnaprej pripravljenem planu (togo)
- ukrepanje na osnovi dejanskega stanja se prilagaja dejanskim oziroma trenutnim potrebam (pogoj je redno spremljanje stanja na vozišču)
- ukrepanje po poružitvi je najdražji postopek, ki pogojuje popolno rekonstrukcijo

Z ukrepi na cestnem telesu imamo v mislih tudi vsa tista gradbena dela na cestah oz. voziščnih konstrukcijah, katerih namen je izboljšati udobnost in varnost vožnje. Ti ukrepi se lahko delijo po posameznih vrstah vozni površin (bitumenske, betonske, makadamske).

V naslednjih 2 podpoglavjih so opisani ukrepi, kot jih podajamo v programski modul Ukrepi na cestišču programa HDM-4.

3.5.1 Vzdrževalni ukrepi

K rednemu vzdrževanju prištevamo tiste ukrepe, ki zadržujejo propadanje vozišč z zagotavljanjem ravnosti in tako omogočajo nizke stroške uporabnikov. Nadalje se vzdrževalni ukrepi delijo na 3 podvrste :

- rutinsko vzdrževanje, ki se običajno izvaja vsako leto (zalivanje razpok, krpanje udarnih jam, popraviljanje robov, utrjevanje bankin, barvanje horizontalne signalizacije, obrezovanje obcestne vegetacije, čiščenje jarkov,...)
- periodično vzdrževanje, ki se običajno izvaja, ko stanje vozišča pade pod določeno mejo (preplastitve, posodobitve, tankoplastne prevleke,...)
- posebno vzdrževanje, katerega posegov ne moremo napovedati vnaprej in se običajno izvaja v zelo kratkem času od nastanka potrebe (soljenje in pluženje cest, odstranjevanje posledic prometnih nesreč, odstranjevanje zemeljskih plazov,...)

Parametri, potrebni za določitev vzdrževalnega ukrepa, so naštet in opisani v poglavju 4.3.

3.5.2 Gradbeni ukrepi

K gradbenim ukrepom spadajo tista gradbena dela, s katerimi izboljšamo nosilnost voziščne konstrukcije, povečamo kapaciteto ceste, povečamo varnost z dodatnimi pasovi za zavijalce ali izboljšamo geometrijo ceste (zmanjšamo naklone ali povečamo horizontalne radije).

Ko definiramo gradbene ukrepe, je potrebno sočasno definirati tudi vse parametre, ki določajo obseg, ceno, rezultat ukrepa in druge karakteristike :

- ime ukrepa
- krajša oznaka
- vrsta voziščne konstrukcije (obravnaval sem le asfaltna vozišča)
- vrsta gradbenega ukrepa (gradnja dodatnega pasu, razširitev obstoječega pasu, rekonstrukcija vozišča, ojačitev vozišča, izboljšanje horizontalnih cestnih elementov)

- vrsta ukrepa (predviden – na določeno število let, interventen – po potrebi glede na stanje vozišča)
- vrsta ceste po opravljenem ukrepu
- material voziščne konstrukcije po opravljenem ukrepu
- povečanje širine po opravljenem ukrepu
- leto začetka izvajanja ukrepa
- stroški ukrepa
- vrsta in debelina asfaltne obrabnozaporene plasti
- geometrijske karakteristike odseka po opravljenem ukrepu
- vozne lastnosti vozišča po opravljenem ukrepu (ravnost, kolesnice,...)

3.6 Poškodbe na asfaltnih voziščih

3.6.1 Uvod

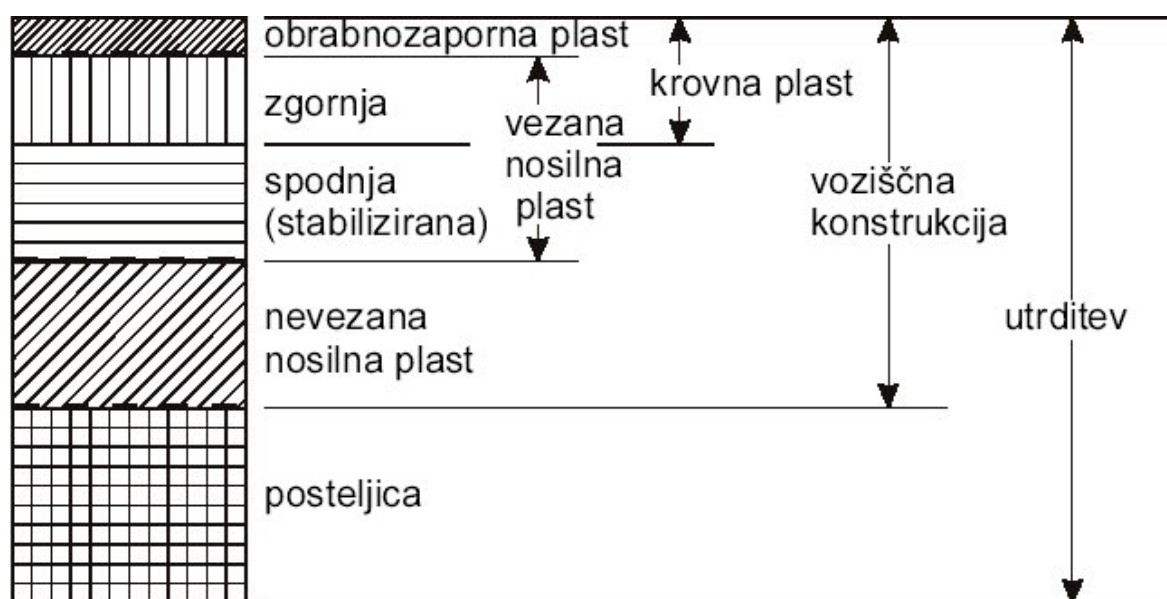
Vsi materiali so po vgraditvi v voziščne konstrukcije izpostavljeni številnim vplivom. Poleg prometnih obremenitev sem spadajo še klimatske obremenitve in značilnosti podlage (terena). Učinki teh vplivov se prej ali slej pokažejo v vrsti in obsegu sprememb. Te spremembe označujemo kot poškodbe, kar v določeni meri tudi dejansko so. Spremembe materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije, so praviloma posledica :

- normalne uporabe vozišča, ki pogojuje določeno obrabo in utrujanje materialov
- skritih napak, sem spadajo predvsem materiali slabše kakovosti in neustrezni postopki pri pripravi in vgrajevanju teh materialov, ki pogojujejo prekomeren vpliv na stanje vozišča
- vrste specifičnih zunanjih obremenitev, ki pogojujejo staranje materialov

Vsakršen ukrep za preprečitev prekomernih sprememb, ki škodljivo vplivajo na uporabnost zgrajenega vozišča (varnost, udobnost in gospodarnost prometa) ter na ohranitev vrednosti v izgradnjo vozišča vloženi finančni sredstev, mora temeljiti na ustrezni strokovni razpoznavni in nedvoumni opredelitvi stanja in obsega poškodbe. Od uspešnosti ugotovitve vzroka za poškodbo je odvisen uspeh njenega popravila.

Če posamezna plast v voziščni konstrukciji ne ustreza popolnoma pogojem uporabe, na njej in posledično na celotni voziščni konstrukciji nastanejo poškodbe. Vedeti je potrebno, da uporabnikov cest ne prizadene enako vsaka poškodba na vozišču: udarna jama ima bistveno drugačen vpliv kot npr. razpoka. Vendar če takšna poškodba ni pravočasno odpravljena, lahko povzroči poškodbe še na ostalih plasteh v voziščni konstrukciji (npr. zaradi prodiranje vode v spodnje plasti).

Voziščna konstrukcija je sestavljena iz več plasti, katerih skica in razlaga sta prikazani na spodnji sliki.



Slika 4 : Utrditev asfaltne vozišča

UTRDITEV VOZIŠČA : skupni izraz za plasti v voziščno konstrukcijo in v posteljico vgrajenih materialov

VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA (ZGORNJI USTROJ) : del utrditve prometne površine, ki sestoji iz ene ali več nosilnih plasti in obrabne plasti

OBABNOZAPORNA PLAST : vrhnji del voziščne konstrukcije na prometni površini, ki prometne obremenitve neposredno prevzema in jih prenaša na spodaj vgrajene plasti; preprečuje tudi vdiranje vode v voziščno konstrukcijo

NOSILNA PLAST : plast med obrabnozaporeno plastjo in posteljico (različne sestave, z vezivom in/ali brez njega) ali planumom podlage pod voziščno konstrukcijo; vgrajena je predvsem za zagotovitev potrebnega raznosa prometnih obremenitev

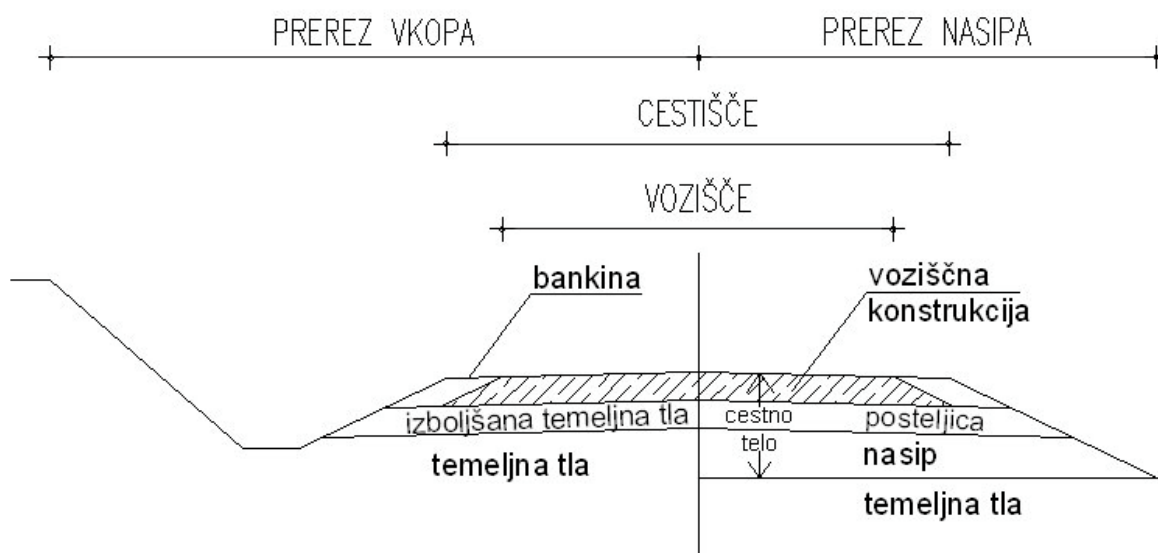
POSTELJICA : vrhnja (zaključna) plast nasipa ali temeljnih tal, debela do 50 cm, s posebnimi lastnostmi (povečana nosilnost, zmanjšana občutljivost na mrz)

TEMELJNA TLA : zemljina ali kamnina, praviloma v naravnih tleh, ki neposredno meji na nasip ali voziščno konstrukcijo

CESTNO TELO : skupek materialov, uporabljenih za nasipe in utrditev ceste (vključno z vgrajenimi objekti in napravami) med planumom temeljnih tal in vozno površino

PLANUM : površina z določenimi predpisanimi značilnostmi kakovosti glede višine, ravnosti, zgoščenosti ali nosilnosti

Zgornja slika št. 4 predstavlja del prečnega prereza ceste, ki je v celoti predstavljen na spodnji sliki. Sicer ni nujno, da ima vsaka cesta opisan prečni prerez, vendar je to izvedba, ki zagotavlja trajnost konstrukcije in varno uporabo za uporabnike.



Slika 5 : Prečni prerez ceste

VOZIŠČE : enakomerno neprekinjeni utrjeni del cestišča, primeren za vožnjo vozil, ki ga sestavljajo prometni in posebni pasovi

CESTIŠČE : skupna širina ceste med zunanjsima robovoma bankin, vključno z napravami za odvodnjavanje ob vozišču ali ob robnem pasu (jarki, koritnice)

BANKINA : mehanično stabilizirani del cestišča ob vozišču za oporo voziščni konstrukciji. Bankina ni namenjena vožnji ali ustavljanju vozil

NASIP (SPODNJI USTROJ) : del cestnega telesa med posteljico in temeljnimi tlemi, umetno zgrajen iz zemljin in/ali kamnin

VKOP : odkop za širino cestišča, ki je tako globoko pod površino terena, da je brežina ob robu usmerjena navzgor

Vse vrste poškodb na asfaltnih voziščih se hitreje ali počasneje razraščajo. Takšno razraščanje poškodb običajno poteka v naslednjem vrstnem redu :

1. preoblikovanje
2. razpokanje
3. drobitev
4. udarna jama

Trajanje posamezne faze poškodovanja je zelo različno. Za poškodbe asfaltnih vozišč, ki ne potekajo v navedenem zaporedju je značilno, da praviloma nastanejo kmalu po izgradnji bodisi zaradi uporabe neprimernih materialov ali zaradi grobih napak pri izvajanju del. Najhitreje pa nastanejo poškodbe na asfaltnih voziščih zaradi sprememb stanja ob spomladanski odjugi in takšne poškodbe so praviloma tudi najtežje.

V nadaljevanju opisane poškodbe asfaltnih vozišč niso povsem v skladu z definicijami, ki so v uporabi v cestogradnji, temveč bolj sledijo vrstam poškodb, kot jih obravnava program HDM-4.

3.6.2 Razpoke

Razpoke predstavljajo eno najbolj pogostih poškodb na asfaltnih voziščih. Nastanku razpok pogojuje prekoračitev nateznih napetosti asfaltnih zmesi (staranje veziva), ki nastopi pri prekomernih upogibih (predvsem pri posedanju pod prometno obremenitvijo) in krčenju vgrajenih materialov (predvsem pri nizkih temperaturah). Navedena vpliva na vgrajene asfaltne zmesi povzročita njihovo utrujenost, ki se pokaže v različno oblikovanih razpokah.

Posamezne ali mrežaste razpoke lahko nastanejo na asfaltnih voziščih na različnih mestih, predvsem pa na delovnih stikih, na stikih asfaltnih zmesi z drugimi materiali ali na robovih in razširitvah vozišča. Praviloma začnejo nastajati na površini vozišča in ne na dnu asfaltnih plasti.



Slika 6 : Razpoke

3.6.3 Preoblikovanje - kolesnice

Zaradi prekoračitve strižnih in tlačnih napetosti vgrajenih asfaltnih zmesi in ostalih v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov nastanejo na asfaltnih voziščih (krovnih plasteh) poškodbe, ki jih označujemo kot deformacije (preoblikovanje).

Preobremenjeni materiali se preoblikujejo v vseh smereh. Za bitumensko vezane zmesi kamnitih zrn (asfaltne zmesi) je značilno predvsem plastično preoblikovanje. Vzrok za takšno preoblikovanje je lahko v spremembi v vsaki plasti v utrditvi vozišča, vključno tudi spremembe v podlagi (nasip, temeljna tla).

Če do preoblikovanja pride v prečni smeri, pride do nastanka t.i. perilnika, če pa pride do preoblikovanja v vzdolžni smeri, pa lahko nastanejo kolesnice.

Vzrok za nastanek kolesnic je velikokrat prekomerna obremenitev osi težkih tovornih vozil.



Slika 7 : Preoblikovanje

3.6.4 Obraba

Obraba pomeni postopno izgubljanje materiala v obrabnem sloju zaradi vremenskih vplivov in zaradi trenja z pnevmatikami. Obraba se bolj pogosto pojavlja na voziščih s tankimi sloji asfalta, še posebej tankoplastnimi prevlekami. Na obrabnih slojih iz bitumenskega betona se pojavlja bolj redko.

V splošnem pa do obrabe pride takrat, ko sta prekoračeni natezna trdnost asfaltne zmesi ali odtržna trdnost vgrajene plasti od podlage. Običajno do obrabe pride na mestih, kjer težka vozila zavirajo in pospešujejo, še posebej na avtobusnih postajah, lahko tudi pred križišči ali pred cestninskimi postajami. Iz tega razloga se voziščno konstrukcijo pred cestninskimi postajami običajno dela v betonski izvedbi.



Slika 8 : Obraba asfalta na avtobusni postaji

3.6.5 Udarne jame

Udarne jame običajno nastanejo na vozišču, ki je že razpokano in na katerem je že prišlo do obrabe. Voda na vozišču pospeši nastanek udarnih jam, predvsem zaradi oslabitve posameznih plasti v konstrukciji. Na mestih, kjer je material že zelo oslabljen, lahko vozila povzročijo dodatno odpadanje materiala z roba udarne jame.



Slika 9 : Udarna jama

3.6.6 Poškodbe robov vozišča

Tu gre za poškodbe in odnašanje materiala obrabne in nosilne plasti z roba vozišča. Vzrok za to vrsto poškodbe sta strižna obremenitev ter obraba. Do poškodbe robov vozišča najpogosteje prihaja na ozkih cestah, kjer zunanje kolo vozila vozi po robu vozišča. Ta poškodba je toliko bolj pogosta, če so bankine neutrjene.

Tu gre za poškodbo vozišča, ki je sestavljena iz razpok in udarnih jam, vendar ga program HDM-4 obravnava kot samostojno poškodbo.



Slika 10 : Poškodovani rob vozišča

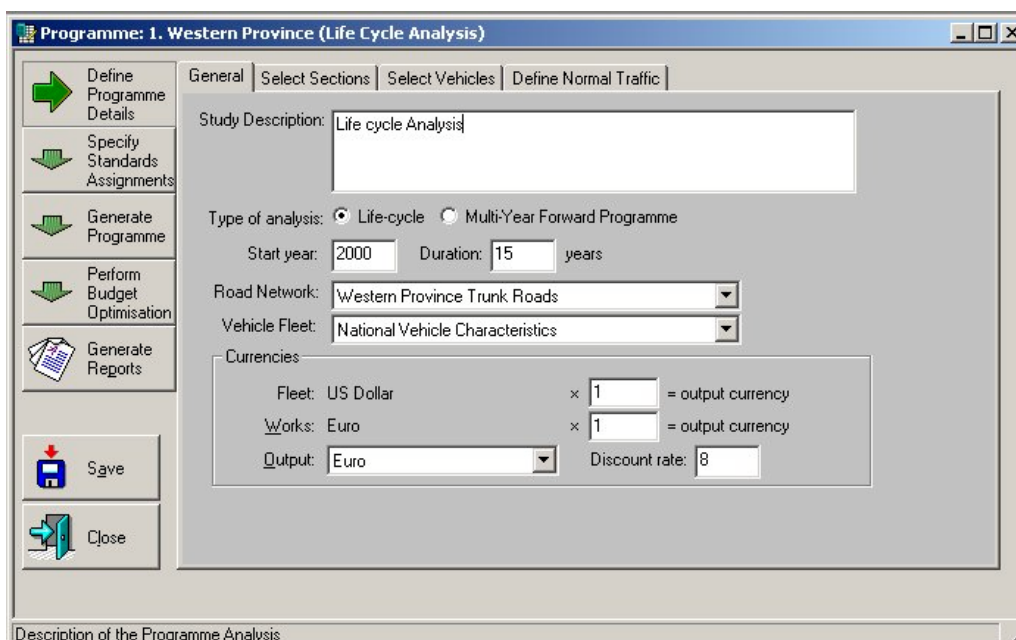
3.6.7 Ravnost

Vzdolžna ravnost vozni površin je ena od pomembnejših lastnosti, ki vplivajo na varnost in udobnost vožnje v cestnem prometu. Ker je ravnost pogoj za udobno vožnjo in večje hitrosti vožnje, je pomembno vsako večje odstopanje od teoretično ravne vozne površine. Valovi različnih dolžin in globin predstavljajo neravnine. Neravnosti so posledica napak pri projektiranju in nekakovostne izvedbe. Največkrat pa pride do neravnosti med uporabo ceste zaradi normalnih, še bolj pa izrednih prometnih obremenitev. Zaradi slabšanja vozne površine ceste, s tem višanja stroškov vzdrževanja vozil, porabe goriva, hrupa in drugih neugodnih posledic, so ob prekoračitvi določene stopnje neravnosti nujni vzdrževalni ukrepi.

Trenutno obstaja več vrst naprav za merjenje ravnosti. Najbolj izpopolnjene so tiste, pri katerih vozilo preko laserskega žarka meri oddaljenost površine vozišča od referenčne ravnine v vozilu. Na podlagi izmerjenih neravnin se po določeni metodi izračuna indeks ravnosti. Indeks, ki se uporablja pri meritvah v Sloveniji, in kateri je tudi uporabljen v BCP, se imenuje IRI (International Roughness Index) – mednarodni indeks za neravnost. IRI se meri v mm/m ali m/km, pri čemer vrednost 0 predstavlja popolnoma ravna površina, močno poškodovano vozišče pa ima lahko vrednost IRI 12 ali tudi več. To vrsto podatkov zahteva tudi program HDM-4.

4 UPORABA PROGRAMA HDM-4

Uporabnik podatke v program HDM-4 vnaša preko 4 programskih modulov, ki zajemajo področja cestnega omrežja, vozil in voznega parka, ukrepov na cestišču in parametre za delovanje programa (klimatske razmere, promet,...). Nekateri podatki v teh modulih so bolj pomembni od ostalih, spet drugih ni potrebno vpisovati, saj program že ponudi najbolj običajno vrednost. V primeru, ko imamo v analizi veliko število odsekov, je potrebno vpisati tudi veliko količino podatkov, kar je lahko zelo zamudno opravilo. Na srečo je podatke možno vnašati tudi preko obrazca v obliki datoteke dbf (dBase File), ki ga lahko urejamo s programom MS Access. Vsak odsek ima 159 parametrov, kar pri 43 odsekih pomeni skoraj 7000 parametrov. Da bi se izognil vpisovanju tako velike količine podatkov, sem iz primera analize naredil vzorec podatkov v formatu dbf, v program Access sem dodal potrebne odseke in nato popravljaj le tiste podatke, ki so se razlikovali od vzorčnega odseka. Tako popravljeno datoteko dbf sem nato uvozil v program HDM-4 in se tako izognil dolgotrajnemu vnašanju podatkov preko vnosnih mask. Vsi podatki so iz Banke Cestnih Podatkov (BCP).



Slika 11 : Glavno okno programa HDM-4

V nadaljevanju je opisan vnos podatkov v program za vse 4 programske module, skupaj z vnosnimi maskami iz programa.

4.1 Cestno omrežje

4.1.1 Splošni podatki o odseku

Section: 1105-006

Definition | Geometry | Pavement | Condition

Section Name: 1105-006
 Section ID: 36
 Link Name: 9200-10300
 Link ID: Zg. Jezersko - Sp. Jezersko
 Speed flow type: Two Lane Wide
 Traffic flow pattern: Inter-urban
 Climate zone: CZ_PMSDRSC03_01
 Road class: Secondary or Main
 Surface class: Bituminous
 Pavement Type: Asphalt Mix on Asphalt Pavement

Length: 1,1 km
 Carriageway width: 5,1 m
 Shoulder width: 0,3 m
 Number of Lanes: 2

Traffic
 Motorised: 232 AADT
 NMT: 0 AADT
 Year: 2002
 Flow direction: Two-way

Details... OK Cancel

Name of section

Slika 12 : Vnos glavnih podatkov za cestni odsek

Section name : Oznaka odseka, ki sem ga uporabljal za splošno označevanje. Prva številka pomeni številko odseka po Banki cestnih podatkov, druga pa številka pododseka po opravljeni homogenizaciji odsekov (homogenizacija poglavje 5.4)

Section ID : Zaporedna številka pododseka

Link Name : Kilometraža odseka, ki je razdeljen na posamezne pododseke

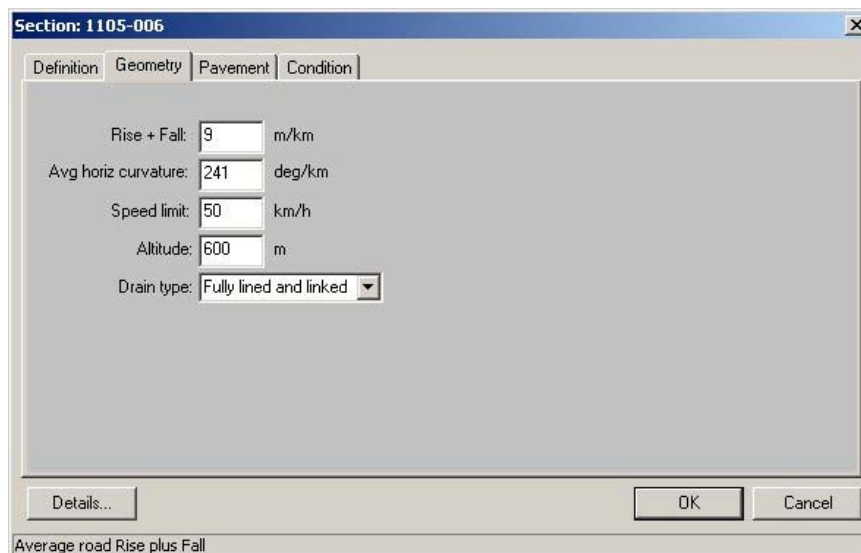
Link ID : Ime oziroma lokacija odseka

Speed flow type : Določitev kapacitete ceste, upoštevana je kapaciteta 1600 vozil na uro na en prometni pas

Climate zone: Parametri, ki določajo klimatske razmere, v katerih se nahaja dani odsek. Natančnejši opis je v poglavju 4.4.1.

Road class : Nastavitev, ki v grobem določa vrednost IRI. Vrednost IRI je kasneje natančneje določena.

4.1.2 Geometrijski parametri odseka



The screenshot shows a software window titled "Section: 1105-006" with four tabs: "Definition", "Geometry", "Pavement", and "Condition". The "Geometry" tab is selected. It contains several input fields with numerical values and units: "Rise + Fall" is 9 m/km, "Avg horiz curvature" is 241 deg/km, "Speed limit" is 50 km/h, and "Altitude" is 600 m. The "Drain type" is set to "Fully lined and linked" via a dropdown menu. At the bottom of the window are "Details...", "OK", and "Cancel" buttons. A status bar at the very bottom of the window displays "Average road Rise plus Fall".

Slika 13 : Vnos geometrijskih parametrov odseka

Rise+Fall (Višinska razlika) : Iz podatkov o višinskih točkah odsekov sem izračunal višinsko razliko na posameznem pododseku

Average horizontal curvature (horizontalna krivina) : Banka cestnih podatkov hrani tudi podatke o radijih in dolžinah horizontalnih krivin. Iz teh dveh podatkov sem izračunal spremembo smeri v stopinjah na celotnem pododseku. Skupno spremembo smeri na odseku sem delil z njegovo dolžino v kilometrih in tako dobil povprečno horizontalno ukrivljenost v kotnih stopinjah na kilometer.

Speed limit (Omejitev hitrosti) : Podatke o omejitvah hitrosti sem pridobil iz katastra vertikalne signalizacije, kjer je poleg stacionaže, ki sem jo primerjal s stacionažo odsekov, podana tudi vsebina signalizacije, odkoder sem ugotavljal omejitve hitrosti

Altitude (Nadmorska višina) : Večina odsekov se nahaja na nadmorski višini 400 metrov.

Drain type (odvodnjavanje) : Podatkov o odvodnjavanju nisem imel na voljo. Zato sem za vse odseke predpostavil, da imajo pravilno urejeno odvodnjavanje (Fully lined and linked).

4.1.3 Voziščna konstrukcija

The screenshot shows the 'Section: 1105-006' dialog box with the following data:

Category	Parameter	Value	Unit
Surfacing	Material type	Asphaltic Concrete	
	Most recent surfacing thickness	40	mm
	Previous/old surfacing thickness	30	mm
Previous works (HDM-4 Work Types)	Last reconstruction or new construction	1974	year
	Last rehabilitation (overlay)	1998	year
	Last resurfacing (resealing)	1998	year
	Last preventative treatment	1998	year
Strength	Calculated Dry season model parameters	SNP: 5.76	DEF: 0.39 mm
	[1] Structural Number	1.5	
	Subgrade CBR	8	%
Road base (for stabilised base only)	Base thickness		mm
	Resilient modulus		GPa

Slika 14 : Vnos parametrov za voziščno konstrukcijo

Material type (material obrabne plasti) : material obrabne plasti sem pridobil iz Banke cestnih podatkov (BCP). V vseh primerih gre za bitumenski beton (Asphaltic Concrete).

Most recent, previous surfacing thickness (predhodna in trenutna debelina obrabne plasti) : Za posamezni odsek sem z uravnoteženim povprečjem izračunal debelino obrabne plasti. Če ni bilo podatkov o predhodnih preplastitvah, sem predhodno debelino plasti nastavil na 0.

Previous works (seznam predhodnih ukrepov) : iz seznama preteklih ukrepov sem razbral zadnje leto ukrepov. Običajno je šlo pri teh ukrepih za rekonstrukcijo ali preplastitev.

Strenght (nosilnost voziščne konstrukcije) : Program HDM-4 v modelih vozišča uporablja vrednost SNP (structural number of pavement – strukturno število vozišča). To vrednost program lahko pridobi iz treh različnih virov. Sam sem vrednosti za izračun SNP podajal preko rezultatov meritev FWD (Falling Weight Deflectometer – deflektometer s padajočo utežjo), s katerimi se v Sloveniji določa nosilnost voziščne konstrukcije. Vir izračuna za SNP je lahko tudi meritev z Benkelmanovo gredjo ali pa z definiranjem posameznih plasti zgornjega ustroja. Vrednost FWD podajamo v tisočinkah milimetra.

4.1.4 Poškodbe voziščne konstrukcije

Condition at end of year	2002
Roughness (IRI - m/km)	3.71
Total area of cracking (%)	63.00
Ravelled area (%)	64.00
Number of Potholes (No./km)	1.00
Edge break area (m ² /km)	1.00
Mean rut depth (mm)	0.00
Texture depth (mm)	0.78
Skid resistance (SCRIM 50km/h)	0.41
Drainage	Fair

Slika 15 : Vnos poškodb voziščne konstrukcije

Condition at end of year (leto, za katero veljajo poškodbe) : Tu uporabnik vnese leto, v katerem so bile ugotovljene spodaj navedene poškodbe cestišča. V moji analizi se poškodbe nanašajo na leto 2002.

Roughness (ravnost) : ravnost sem podajal z indeksom IRI (International Roughness Index – Mednarodni indeks ravnosti). Enota ravnosti je mm/m oziroma m/km. V BCP so vrednosti IRI podane za vsakih 10 metrov, pri čemer sem na vsakem odseku izračunal uravnoteženo povprečje

Cracking (razpoke) : podatke o razpokah je potrebno vnašati glede kot površino. Sam pa sem imel podatke o razpokah v drugačni obliki, in sicer v vrednosti MSI. Zato sem moral vrednosti MSI pretvoriti v površino poškodb.

MSI obravnava 4 vrste poškodb na asfaltnih voziščih : udarne jame, razpoke, obrabljenost ter zakrpanost.

Vsaki poškodbi se na 50-metrskem odseku določi vrednost od 0 do 3, pri čemer te vrednosti predstavljajo površino poškodovane površine :

- vrednost 1 predstavlja manj kot 10 % površine
- vrednost 2 predstavlja 10-50 % površine
- vrednost 3 predstavlja več kot 50 % površine

Za vsak pododsek sem izračunal povprečno vrednost določene poškodbe, nato pa sem to povprečno vrednost MSI po spodnjem vzorcu pretvoril v površino poškodbe.

- vrednost 1 pomeni 7 % površine
- vrednost 2 pomeni 30 % površine
- vrednost 3 pomeni 70 % površine

Površine za vmesne vrednosti med 1 in 2 ter med 2 in 3 so linearno razporejene. Površine sem posameznim vrednostim priredil po lastni presoji.

Ravelled area (obrabljenost) : Površino obrabljenosti sem dobil na identičen način kot površino razpok.

Number of Potholes/km (število udarnih jam/kilometer) : tudi v tem primeru program zahteva podatek v drugačni obliki, kot ga podaja meritev MSI. Enako kot pri razpokah in obrabljenosti sem za vsak pododsek najprej izračunal povprečno vrednost MSI za udarne jame, nato pa preko naslednjih pravil vrednostim priredil število udarnih jam v enem kilometru :

- 2 udarni jami na kilometer za MSI vrednost 1
- 5 udarnih jam na kilometer za MSI vrednost 2
- 10 udarnih jam na kilometer za MSI vrednost 3

Edge break area (poškodbe robov vozišča) : Banka cestnih podatkov ne opisuje poškodovanih robov vozišča. Ker pa je očitno, da se v Sloveniji na marsikateri cesti pojavlja tudi ta vrsta poškodbe, sem se odločil, da jo kljub temu vključim v analizo. Na podlagi ocene širine razpokanih robov sem se odločil, da vsakemu odseku glede na ostale poškodbe določim še površino poškodovanih robov. Empirično sem tako za vsak odsek določil še kvaliteto vozne površine, ki je predstavljal naslednje površine poškodovanih robov :

- novo ($0 \text{ m}^2/\text{km}$)
- dobro ($0 \text{ m}^2/\text{km}$)
- srednje ($10 \text{ m}^2/\text{km}$)
- slabo ($100 \text{ m}^2/\text{km}$)
- zelo slabo ($300 \text{ m}^2/\text{km}$)

Mean rut depth (globina kolesnic) : V Sloveniji se na državnih cestah globina kolesnic ne meri. Te poškodbe tudi nisem poskušal empirično ocenjevati. Zato sem za vse odseke predpostavil, da so brez kolesnic.

Texture depth (Globina hrapavosti) : Ta vrednost se na slovenskih cestah meri direktno. Globino sem vnašal v milimetrih, na odsekih, kjer meritve niso bile izvedene oziroma za katere nisem dobil podatkov, pa sem globino določal na podlagi subjektivne ocene. Pri tem sem se opiral na vrednosti sosednjih odsekov, količino prometa ter na starost obrabnega sloja. Globina hrapavosti ni bila znana na naslednjih odsekih : 0230, 0231, 0232, 1122, 1136, 1142, 1143 ter 1455.

Skid resistance (Drsnost) : Ta vrednost je zelo pomembna za varno vožnjo vozil, saj direktno vpliva na trenje med voziščem in pnevmatiko vozila. Meritev se direktno izvaja z napravo Scrimtex. Na žalost so tu manjkali podatki za iste odseke kot za globino hrapavosti. Zato sem tudi v tem primeru moral določati manjkajoče vrednosti po istem principu kot pri zgornjem primeru. Ker program HDM-4 kot minimalno vrednost upošteva le vrednosti drsnosti večje od 0.35, sem moral nekaj meritev ročno popravljati.

Za vsak pododsek sem zbral vrednosti za drsnost ter mu priredil uravnoteženo povprečje.

Drainage (Odvodnjavanje) : Za ta parameter nisem imel na voljo nikakršnih podatkov, zato sem za vse odseke privzel, da imajo urejeno odvodnjavanje. To sicer ni realno stanje, vendar bi ugotavljanje kakovosti odvodnjavanja na slovenskih cestah zahtevalo veliko časa in denarja.

4.1.5 Dodatni parametri za opis odsekov

The screenshot shows a software dialog box titled "Section Calibration: 1105-006". It features three main tabs: "Surface Distress", "Surface Texture", and "Structural Defects". Under the "Surface Distress" tab, there are three sub-tabs: "Speed Related", "Drainage, Shoulders, and NMT Lanes", and "History". The "Speed Related" sub-tab is currently selected and contains the following parameters:

- Alignment:**
 - No. of rises + falls: 1 no./km
 - Superelevation: 3 %
 - adral: 0,1 m/s²
- Speed Reduction Factors:**
 - XNMT: 1 (range: 0.6 ≤ XNMT ≤ 1)
 - Road side friction: 1 (range: 0.6 ≤ XFRI ≤ 1)
 - XMT: 1 (range: 0.4 ≤ XMT ≤ 1)
 - Speed limit enforcement: 1,1

At the bottom of the dialog, there are "OK" and "Cancel" buttons. The status bar at the very bottom of the window displays "Average number of Rises and Falls per km".

Slika 16 : Vnos dodatnih parametrov odseka

Number of rises and falls (število vzponov in padcev) : imel sem datoteko s podatki o višinskih točkah ceste, s katero sem lahko narisal približni vzdolžni profil odseka, iz katerega sem nato odčital število vzponov in padcev na kilometer.

Superelevation (Prečni nagib cestišča) : točnih vrednosti tu nisem imel na razpolago. Program računa ukrivljenost glede na horizontalno ukrivljenost vozišča. Kjer je bila izračunana vrednost prevelika, sem jo zmanjšal na dovoljenih 7 %.

Adral : faktor, ki opisuje spremembo hitrosti vozil zaradi vožnje v koloni, načina vožnje ter geometrije ceste.

XNMT, XMT, Road side friction : Faktor oviranja prometa zaradi motoriziranega ali nemotoriziranega prometa oziroma zaradi del na cestah. Faktor 1 pomeni, da oviranja ni, faktor 0,6 pomeni, da je oviranje veliko.

Speed limit enforcement (Upoštevanje hitrostnih omejitev) : Faktor ki pove, s kakšno dejansko hitrostjo vozijo vozila v prostem prometnem toku glede na zakonsko predpisane omejitve hitrosti.

The image shows a software dialog box titled "Section Calibration: 1105-006". It has several tabs: "Surface Distress", "Surface Texture", "Structural Defects", "Speed Related", "Drainage, Shoulders, and NMT Lanes", and "History". The "Drainage, Shoulders, and NMT Lanes" tab is selected. Inside this tab, there are three main sections. The first is "Shoulders", which includes a "Number of:" input field with the value "2" and an "Edge step:" input field with the value "10" and the unit "mm". The second section is "Drainage", with a "Drain life calibration factor:" input field set to "1" and a "Drainage factor:" input field also set to "1". The third section is "Separate NMT lanes", which is unchecked. Below this, there is a "Number of lanes:" input field set to "0" and a "Pavement surface type:" dropdown menu currently showing "Bituminous". At the bottom right of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons. At the bottom left, a status bar displays "Number of shoulders".

Slika 17 : Vnos podatkov za bankine

Number of shoulders (Število bankin) : Podatki o bankinah so sestavni del Banke cestnih podatkov, od kjer sem črpal podatke o njihovem številu na cestišču

Edge step (Višina cestišča nad bankino) : Tega podatka nisem imel na voljo, zato sem na vseh odsekih uporabil vrednost 10 mm, s čimer sem se zelo približal realnemu stanju.

4.2 Vozni park

4.2.1 Splošno

Zelo pomemben paket podatkov so vozila, ki sestavljajo vozni park in vozijo po obravnavanem cestnem omrežju. Največji del skupnih stroškov na cestah predstavljajo prav stroški uporabnika, zato je toliko bolj pomembno, da smo pri vnosu stroškov za vozila čimbolj natančni. Vozila, ki jih tako definiramo, so le model neke obtežbe, ki deluje na voziščno konstrukcijo. Vozilom določimo maso, število osi ter hitrost in na ta način modeliramo njihov vpliv na cestišče.

Name	Class	Data Last Modified	Base Type	Category
Heavy truck	Trucks	09.09.2005	Truck Heavy	Motorised
Light Truck	Trucks	09.09.2005	Truck Light	Motorised
Medium Bus	Buses	09.09.2005	Bus Medium	Motorised
Medium Car	Passenger Cars	09.09.2005	Car Medium	Motorised
Medium Truck	Trucks	09.09.2005	Truck Medium	Motorised

Slika 18 : Seznam vozil voznega parka

V svoji analizi sem obravnaval pet vrst vozil :

- osebni avto (1 EOVS)
- avtobus (2 EOVS)
- lažje tovorno vozilo (2 EOVS)
- srednje težko tovorno vozilo (3 EOVS)
- težko tovorno vozilo (4 EOVS)

Natančnih parametrov vozil, ki so že privzete v programu in ki obravnavajo zračni upor, delovanje motorja, porabo goriva, delov, motornega olja, itd. nisem spreminjal. Določal sem predvsem cene vozil ter potrošnega materiala, ki bistveno prispevajo k skupnim stroškom uporabnika (gorivo, motorno olje, deli, pnevmatike,...).

Vehicle Attributes: Medium Car

Definition Basic Characteristics Economic Unit Costs Financial Unit Costs

Physical

Passenger Car Space Equiv: 1

No. of Wheels: 4

No. of Axles: 2

Tyres

Tyre type: Radial-ply

Base no. of recaps: 1,3

Retread cost: 15 %

Utilisation

Annual km: 23000 km

Working hours: 550 hrs

Average life: 10 years

Private use: 100 %

Passengers: 1,2 persons

Work related passenger-trips: 75 %

Loading

ESALF: 0

Operating weight: 1,2 tonnes

Calibration...

Reset Defaults

OK

Cancel

Passenger Car Space Equivalents factor (PCSE)

Slika 19 : Osnovni parametri za vozilo

Eden od parametrov, ki niso povezani s stroški, je tudi Passenger Car Space Equivalent (EOV – enot osebnih vozil). Te izhajajo iz tehničnih normativov za projektiranje mestnih prometnih površin (PTI).

4.2.2 Cene vozil

Cene vozil in stroške goriva sem zaradi poenotenja s stroški vzdrževanja vozišč podajal v evrih. Kljub temu so spodaj napisane cene v tolarjih.

Program ne omogoča razdelitve na vozila z dizelskim in bencinskim motorjem. Zato sem pri ceni goriva za osebna vozila uporabil predpostavko, da je trenutno v Sloveniji vsako peto osebno vozilo na dizelski pogon.

Nato sem primerjal cene obeh goriv in določil povprečje cene, ki je sestavljeno iz 80 % cene bencina in 20 % cene plinskega olja. Cene goriva na dan 5.9.2005 (pred podražitvijo) so bile:

- bencin (95 oktanski) : 237,9 SIT
- dizelsko gorivo (D2) : 230,7 SIT

Povprečna cena goriva za osebna vozila je tako 236,46 SIT. Vsa ostala vozila v analizi uporabljajo dizelsko gorivo.

Cene osebnih vozil in pripadajočega materiala so naslednje :

- novo vozilo : 3 mio SIT
- nova pnevmatika : 12.000 SIT
- liter motornega olja : 1000 SIT

Za reprezentativno osebno vozilo v Sloveniji sem izbral Opel Astro Classic, katere zastopnik za Slovenijo je Avtotehna Vis. Cenik Oplovih vozil sem našel na njihovi spletni strani (www.at-vis.si).

V raziskavi sem za cene avtobusov in tovornih vozil uporabljal naslednje cene :

- avtobus : 40 mio SIT
- lahki tovornjak : 10 mio SIT
- srednji tovornjak : 20 mio SIT
- težki tovornjak : 40 mio SIT
- nova pnevmatika za tovorno vozilo : 25.000 SIT
- liter motornega olja : 1.500 SIT

Podatke o cenah avtobusov in tovornih vozil sem pridobil od uradnega zastopnika za gospodarska vozila MAN v Sloveniji; Man Gospodarska vozila Slovenija, d.o.o., ki ima v svojem prodajnem programu vse vrste tovornih vozil ter avtobuse.

Čakalno uro potnika oziroma voznika sem ocenil na 1000 SIT, s stroški vzdrževanja in režijskimi stroški pa se nisem ukvarjal, saj ne predstavljajo večjega dela pri skupnih stroških uporabnikov.

Category	Parameter	Value	Unit
Vehicle resources	New vehicle	13750	
	Replacement tyre	50	
	Fuel	0.8	per litre
	Lubricating oil	4.2	per litre
	Maintenance labour	12.5	per hour
	Crew wages	0	per hour
	Annual overhead	1.67	
	Annual interest	6	%
Time Value	Passenger working time	4.2	per hour
	Passenger non-working time	4.2	per hour
	Cargo	0	per hour

Slika 20 : Vnos cen in stroškov vozila

4.3 Ukrepi na cestišču

Ukrepi na cestišču so podrobneje opisani v poglavju 3.6 na strani 17. Tu podajam le razlago vnosa podatkov za ukrepe na cestnem telesu.

Pri vnosu podatkov o ukrepih se je potrebno najprej odločiti, ali gre za vzdrževalni (poglavje 3.5.1) ali za gradbeni ukrep (poglavje 3.5.2). Pri svoji analizi sem uporabljal le ukrepe iz nabora vzdrževalnih ukrepov, saj sem preučeval stroške rednega, ne investicijskega vzdrževanja.

V obeh primerih je najprej potrebno navesti ime ukrepa, kratko kodo (6 znakov) in definirati, na kakšnem vozišču se ukrep izvaja (bitumensko, betonsko ali makadamsko). Naj omenim, da trenutna verzija programa (1.0) ne omogoča izvajanje gradbenih ukrepov za betonska vozišča. Vzdrževalne ukrepe sem definiral le za bitumenska vozišča, saj so bili vsi odseki na obravnavanem omrežju v bitumenski izvedbi.

Ko se odločimo, za kakšno vrsto ukrepa gre, je potrebno določiti, ali gre za ukrep, ki se izvaja v rednih časovnih intervalih ali gre za ukrep, ki se izvede, ko stanje vozišča pade po določeno mejo.

Maintenance Works Item: Posodobitev - RAZPOKE

General Design Intervention Costs Effects

Responsive Criteria

Total carriageway cracked >= 40 %

Add New Criterion...
Delete
Edit...

Limits

Last year: 2099 year
Max. roughness: 10 IRI (m/km)
Max. quantity: 5000 m²/km/year

Interval: 1
ADT: 0

Minimum Maximum
9999 year(s)
100000

OK Cancel Apply

List of responsive intervention criterion

Slika 21 : Maska za vnos kriterija ukrepa

Potrebno je podati še podatke o voziščni konstrukciji. Ti podatki so odvisni od ukrepa, ki se bo izvajal. V splošnem pa je potrebno vedeti naslednje lastnosti vozišča :

- vrsta obrabne plasti
- debelina obrabne plasti
- nosilnost plasti
- debeline nosilne plasti
- geometrija vozišč

Maintenance Works Item: Preplastitev - OBRABA

General Design Intervention Costs Effects

Surface material: Asphaltic Concrete

Thickness of new surfacing: 40 mm

Dry season Strength coefficient: 0,42

Depth of milling: 0 mm

Area of carriageway to inlay: 50 %

Construction Defect Indicators

Bituminous surfacing: 1 | 0.5 <= CDS <= 1.5

OK Cancel Apply

Construction defect indicator for bituminous surfacing, 0.5(brittle) <= CDS <= 1.5(soft)

Slika 22 : Vnos podatkov za preplastitev

Na koncu podamo še cene ukrepa ter stanje vozišča (IRI) po izvedenem ukrepu. Stanje po izvedenem ukrepu lahko na podlagi parametrov program izračuna sam ali pa uporabnik sam vnese vrednost IRI in globino kolesnic po izvedenem ukrepu. Sam sem pri svoji analizi izbral to zadnjo možnost.

4.4 Nabor nastavitvev

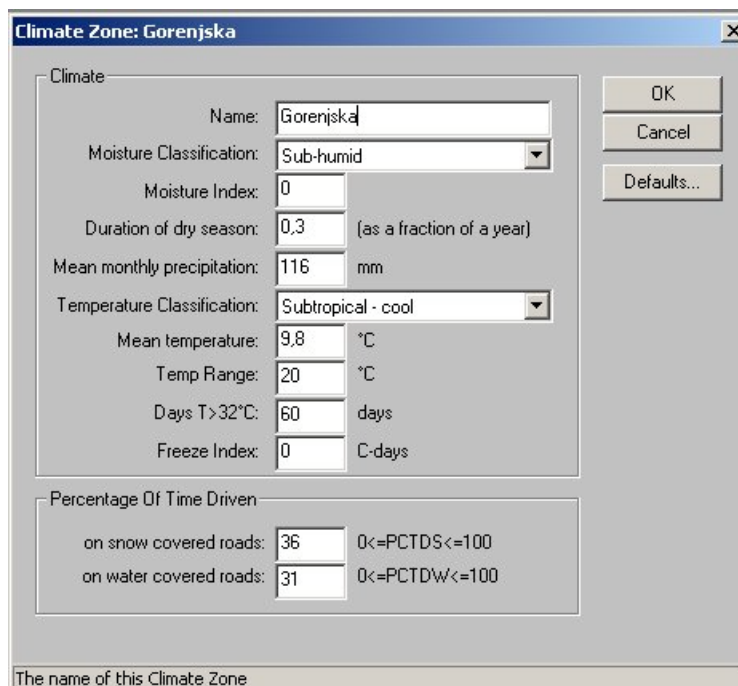
Ta programski modul obravnava vse nastavitve okolja, v katerem se promet odvija. Sem spadajo nastavitve klimatskih razmer (slika 23), izbira denarne valute, urne distribucije prometa, kapaciteta ceste in nazadnje tudi nastavitvev podatkov za grobo vnašanje podatkov. Slednjega pri svoji raziskavi nisem uporabljal. Opise s prednastavljenimi vrednostmi parametrov vozišča se uporablja na strateškem nivoju.

4.4.1 Nastavitve klimatskih razmer

Vse podatke za nastavitve klimatskih razmer sem pridobil na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (www.arso.gov.si). Vnešeni so bili naslednji parametri :

- indeks vlažnosti in količina padavin
- dolžina trajanja suhe sezone
- mesečna količina padavin
- povprečna letna temperatura
- odstopanje od povprečne temperature
- število dni toplejših od 32 ° C
- zmrzlinški index
- odstotek dni v letu, ki ga vozila vozijo pa mokrem ali zasneženem vozišču

Na spodnji sliki št. 23 je prikazano okno za vpis podatkov o klimatskih razmerah.



The screenshot shows a dialog box titled "Climate Zone: Gorenjska". It contains the following fields and values:

Parameter	Value	Unit/Notes
Name	Gorenjska	
Moisture Classification	Sub-humid	
Moisture Index	0	
Duration of dry season	0,3	(as a fraction of a year)
Mean monthly precipitation	116	mm
Temperature Classification	Subtropical - cool	
Mean temperature	9,8	°C
Temp Range	20	°C
Days T > 32°C	60	days
Freeze Index	0	C-days

Below the "Climate" section is the "Percentage Of Time Driven" section:

Category	Value	Formula
on snow covered roads	36	0 ≤ PCTDS ≤ 100
on water covered roads	31	0 ≤ PCTDW ≤ 100

Buttons on the right: OK, Cancel, Defaults...
Footer: The name of this Climate Zone

Slika 23 : Klimatski parametri

4.4.2 Izbira denarne valute

Tu sem se odločil, da bom uporabljal evre namesto tolarjev, saj so bile nekatere cene vozil, ki sem jih dobil, podane v evrih, na ta način pa bo ta raziskava z vstopom Slovenije v Evropsko monetarno unijo leta 2007 še bolj aktualna. Protivrednost 1 evra v analizi je bila 240 SIT.

4.4.3 Urna distribucija prometa in kapaciteta ceste

Podatke o urni porazdelitvi prometa (Traffic flow pattern) sem pridobil iz podatkov, ki jih pridobivajo avtomatski števeci prometa. Upošteval sem le avtomatske števecje tipa QLD-6, ki jih izdeluje slovensko podjetje Mikrobot d.o.o. Za kapaciteto ceste pa sem uporabil prednastavljeno vrednost široke dvopasovne ceste s kapaciteto 1600 vozil na uro (na 1 vozni pas). Takšna kapaciteta je veljala za vse odseke.

5 PRIMER PROGRAMSKE ANALIZE

5.1 Uvod

Z osamosvojitvijo Slovenije in še posebej z vključevanjem v evro-atlantske integracije se tovorni promet preko Slovenije povečuje. Obremenjena sta tako os vzhod-zahod (5. evropski prometni koridor) kot tudi sever-jug (10. evropski prometni koridor). Naraščata tako osebni kot tudi tovorni promet, pri čemer je naraščanje osebnega prometa povezano z naraščanjem motorizacije prebivalcev Slovenije, naraščanje tovornega prometa pa je predvsem povezano z večanjem tranzitnega tovornega prometa preko naše države. Na žalost le manjši del tega prometa poteka po železnici; večinoma ga predstavljajo cestna tovorna vozila.

Eden od problemov, ki ga povzročajo tovorna vozila na cestah, je zmanjševanje prepustnosti, saj težja vozila zaradi svojih slabših vozniških karakteristik ne omogočajo tako velikih pospeškov in hitrosti kot osebna vozila. Zaradi tega je osebnim vozilom oteženo prehitevanje počasnejših vozil, zaradi česar se posledično zmanjša njihova hitrost. Nemalokrat je posledica vsega tega tudi zmanjšana prometna varnost.

Naslednjo težavo predstavlja obremenjevanje okolja z izpušnimi plini ter hrupom. Tovorna vozila imajo zaradi večje teže večje in močnejše motorje, ki posledično v okolje izpuščajo več izpušnih plinov. Še večjo težavo pa pomenijo hrup in vibracije, ki so posledica velike teže tovornega vozila.

Še zadnjo težavo pa predstavlja vpliv vozil na stanje voziščne konstrukcije. Opravljenih je bilo veliko raziskav predvsem o vplivu tovornih vozil na propadanje voziščne konstrukcije. V splošnem velja, da težko tovorno vozilo, z največjo osno obremenitvijo 12,5 t, predstavlja enako obremenitev na cestno telo, kot jo ima približno 30,000 osebnih vozil. Ta ocena seveda ni merodajna za dimenzioniranje plasti materialov zgornjega ustroja, temveč je le groba ocena vpliva težkih tovornih vozil na stanje voziščne konstrukcije. Ravno zaradi tako velikega vpliva tovornih vozil že manjša sprememba v strukturi prometa lahko bistveno vpliva na stanje vozišča in s tem tudi na stroške uporabnikov in stroške vzdrževanja. S to tematiko sem se ukvarjal v svoji raziskavi.

5.2 Cilj analize

Leta 2004 sem na Prometno-tehničnem Inštitutu na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani sodeloval pri raziskavi z naslovom »Modeliranje vpliva gostote in strukture prometa na stanje voziščne konstrukcije«. Naročnik raziskave je bila Direkcija republike Slovenije za ceste. Namen raziskave je bil na primeru cestnega omrežja raziskati in določiti način ter obseg vzdrževalnih del za ohranjanje bitumenskih voziščnih konstrukcij. Cilj naloge je bil tudi določiti prednostni vrstni red obnavljanja cest, ekonomičnost posameznih ukrepov, stopnjo točnosti potrebnih podatkov, ustrezen čas za izvedbo in obseg finančnih sredstev, potrebnih za vzdrževanje cestišč. V raziskavi smo se ukvarjali z dejansko strukturo prometa na 144 km cestnega omrežja na Gorenjskem in na koncu kot rezultat dobili količino finančnih sredstev, potrebnih za željeno kvaliteto vozišča, merjeno v IRI. Analizirali smo obdobje 20 let.

Dejstvo je, da večino poškodb na vozišču, ki nastanejo zaradi prometne obremenitve in ne zaradi klimatskih pogojev, povzročijo tovorna vozila. V analizi sem se zato usmeril v preučevanje vplivov cestnega tovornega prometa na stroške uporabnikov in upravljalcev.

Glavni cilj analize moje diplomske naloge je bil ugotoviti, kakšni so dejanski stroški, ki jih uporabnikom cest povzroča tovorni promet in kakšno bo stanje voziščne konstrukcije v odvisnosti od strukture prometa in količine vloženih finančnih sredstev v prihodnosti.

Z večanjem tovornega prometa se večja količina poškodb na cestišču in s tem tudi stroški uporabnikov. Pri tem se nisem toliko osredotočal na velikost cestnega omrežja, temveč bolj na njegovo natančno predstavitev. Uporabil sem različne strukture prometa, pri čimer sem spreminjal količino tovornih vozil, nato pa za posamezno strukturo prometa ob danih scenarijih vzdrževanja ugotavljal stroške uporabnikov in upravljalcev cest. Predpostavil sem, da upravljalec cest izvede 3 različne scenarije vzdrževanja.

Prvi scenarij predvideva najbolj osnovno vzdrževanje, kar vključuje krpanje udarnih jam, zalivanje razpok ter popraviljanje poškodovanih robov ceste. Gre za najcenejše vzdrževanje, ki odpravlja le najbolj očitne poškodbe na vozišču.

Drugi scenarij poleg rednega vzdrževanja vključuje tudi preplastitev vozišča na celotnem odseku. Pogoj za izvedbo preplastitve je nezadostna ravnost vozišča, povečana obraba vozišča ali njegova razpakanost.

Tretji in zadnji scenarij je podoben drugemu scenariju, le da namesto preplastitve izvajamo posodobitev vozišča. Pogoj za izvedbo ukrepa posodobitve je podoben kot pri preplastitvi in je podrobneje opisan v nadaljevanju. Posodobitev zajema ojačitev vozišča z dvema asfaltnima plastema v skupni debelini 10 cm.

5.3 Cestno omrežje

Državno cestno omrežje v Sloveniji je zelo razvejano in raznoliko. Poleg avtocest, za katere skrbi DARS (Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji), je sestavljeno iz hitrih cest (H1), glavnih cest (G1 in G2), regionalnih cest (R1, R2, R3) in regionalnih turističnih cest (RT) v skupni dolžini skoraj 6000 km (5829 km). Posamezni odseki se med seboj razlikujejo po prometnih obremenitvah, ki nihajo od zelo majhnih do izredno velikih. Te so v splošnem osnova za določitev voziščne konstrukcije, ki mora biti načrtovana (in vzdrževana) tako, da bo sposobna v projektirani dobi trajanja brez večjih poškodb prevzeti vse predvidene prometne obremenitve. Pri tem pa je potrebno z vzdrževanjem ostati znotraj predpisanih finančnih okvirjev, saj nima smisla delati vozišča z veliko nosilnostjo na manj obremenjenih stranskih cestah.

Cestno omrežje, ki sem ga analiziral v diplomski nalogi, je sestavljeno iz državnih cest, za katere skrbi Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). Ceste se nahajajo na območju Gorenjske. Državne ceste na tem območju vzdržuje Cestno podjetje Kranj.

Za analizo s programom HDM-4 sem izbral tiste cestne odseke, katere vzdržuje cestna baza v Kranju že omenjenega podjetja. Enako cestno omrežje je bilo obravnavano tudi v raziskavi za DRSC. Izmed teh odsekov sem izbral le tiste, ki imajo PLDP nad 5000 vozil. Skupna dolžina tega omrežja je 62,9 kilometrov, sestavlja pa jo 43 pododsekov. Dejansko to zmanjšanje števila odsekov ne predstavlja spremembe poteka analize, saj sem se bolj osredotočal na vpliv strukture prometa na cestah, kot pa na dolžino cest. Položaj obravnavanega omrežja ni toliko pomemben, kot so pomembni podatki o omrežju, ki zagotavljajo natančnost rezultatov.

Vse podatke o karakteristikah cest in prometu, ki se odvija na njih, sem pridobil iz Banke Cestnih Podatkov (BCP). Podatke so mi odstopili na Direkciji Republike Slovenije za Ceste (DRSC).

Prvotno cestno omrežje, vzdrževano s strani CP Kranj, Cestna baza Kranj, sestavlja 23 odsekov s skupno dolžino 141,5 km. Odseki so prikazani v spodnji preglednici.

Preglednica 2 : Seznam odsekov

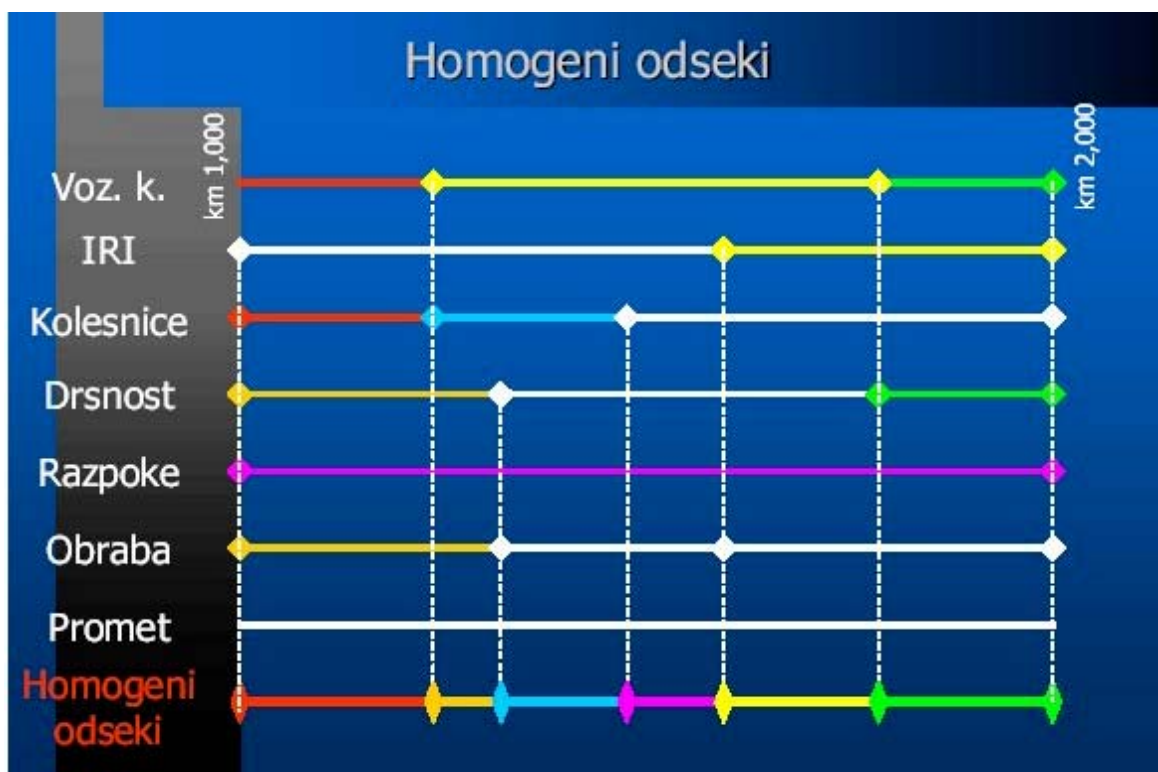
Zap_št	ODSEK	OPIS	STAC_ZAC	STAC_KON	Dolžina	Baza
1	210	KR (ISKRA - LABORE)	0	1450	1450	KR04
2	211	KRANJ (LABORE) - JEPRCA	0	8150	8150	KR04
3	230	ZVIRČE - PODTABOR	0	1455	1455	KR04
4	231	BISTRICA (TRŽIČ) - ZVIRČE	0	3280	3280	KR04
5	232	LJUBELJ - BISTRICA (TRŽIČ)	0	12500	12500	KR04
6	359	KR (KIDRIČEVA - ISKRA)	0	1500	1500	KR04
7	1078	ŠKOFJA LOKA - JEPRCA	0	6170	6170	KR04
8	1105	ZG. JEZERSKO - SP. JEZERSKO	0	10500	10500	KR04
9	1106	SP. JEZERSKO - PREDDVOR	0	15800	15800	KR04
10	1107	PREDDVOR - KR (PRIMSKOVO)	0	8575	8575	KR04
11	1108	KR (PRIMSKOVO - LABORE)	0	2600	2600	KR04
12	1109	KRANJ - ŠKOFJA LOKA	0	7770	7770	KR04
13	1122	LIPNICA - KROPA - RUDNO	0	15150	15150	KR04
14	1133	BISTRICA - TRŽIČ	0	320	320	KR04
15	1134	TRŽIČ - KOKRICA	0	13671	13671	KR04
16	1135	KOKRICA - KRANJ	0	2234	2234	KR04
17	1136	KRANJ - SP. BRNIK	0	8330	8330	KR04
18	1142	VODICE - SP. BRNIK	0	5100	5100	KR04
19	1143	SP. BRNIK - CERKLJE	0	4500	4500	KR04
20	1428	POLICA - PODTABOR	0	7160	7160	KR04
21	1454	POLICA - KR (KIDRIČEVA)	0	2035	2035	KR04
22	1455	GRAD - KRVAVEC	0	2530	2530	KR04
23	1471	KRANJ Z - POLICA	0	733	733	KR04

Predstavljeni odseki so dolgi tudi do 16 kilometrov, pri čemer se parametri ceste tekom odseka spreminjajo. Takih odsekov v programu HDM-4, ki obravnava le homogene odseke, nisem mogel uporabiti. Zato sem moral najti način, kako te odseke razdeliti na krajše pododseke, ki bodo imeli čim bolj podobne karakteristike. Postopek homogenizacije je predstavljen v naslednjem poglavju.

5.4 Homogenizacija odsekov

Homogenizacija odsekov je proces, pri katerem cestno mrežo razdelimo na odseke, ki imajo enake ali vsaj približno enake karakteristike (širina vozišča, nosilnost, ravnost, poškodbe,...). Homogene odseke lahko določamo po posamezni karakteristiki ceste ali po več karakteristikah istočasno (Slika 24). Načeloma imamo 2 načina homogenizacije odsekov :

- izberemo eno karakteristiko, na podlagi katere se bo cestno omrežje delilo na pododseke
- izberemo eno ali več karakteristik, ki posledično dano omrežje razdelijo na krajše cestne odseke



Slika 24 : Princip homogenizacije

Obstajajo programi za gospodarjenje z vozišči (dTIMS_CT), ki homogenizacijo izvedejo avtomatsko. Program HDM-4 tega ne omogoča. Pri procesu homogenizacije odsekov se postavi vprašanje, kaj narediti s parametri, ki deloma segajo na en odsek, deloma na drugega.

Oziroma točneje, katero vrednost parametra pripisati odseku, na katerem je več kot ena vrednost parametra. Pri tem se lahko odločamo za povprečno vrednost (kar sem v analizi tudi sam uporabljal) ali pa za odsek privzamemo tisto vrednost parametra, ki velja na večji dolžini.

Za homogenizacijo obravnavanega omrežja sem se odločil, da bom uporabljal en sam parameter, saj je bila homogenizacija na ta način enostavnejša.

Po pregledu parametrov sem se odločil, da bo osnova za homogenizacijo predstavljal modificiran švicarski indeks (MSI). MSI klasifikacija je dober odsev stanja in poškodb na vozišču, zato sem ugotovil, da odseki, ki so homogenizirani glede na MSI vrednost, morda nimajo povsem enakega prometa ali nosilnosti, imajo pa približno enako količino poškodb na vozišču.

Ko so bili odseki na ta način enkrat razdeljeni na približno homogene dele, sem za vsak odsek pregledal njegove parametre in preveril, če so kje prevelika odstopanja parametrov. Vendar prevelikih odstopanj nisem zasledil. Ocena vozišč, ki je bila osnova za homogenizacijo z vrednostjo MSI, je bila izvedena leta 2003.

V naslednjem poglavju je opisana MSI klasifikacija kot osnova za homogenizacijo cestnega omrežja.

5.4.1 MSI – Modified Swiss Index

MSI klasifikacija odseka poteka tako, da izkušen ocenjevalec pregleda 50-metrski odsek in na tem odseku oceni pet vrst poškodb :

- obraba
- razpoke
- udarne jame
- zakrpanost
- stiki (ocena velja samo za betonska vozišča)

MSI vrednost se dobi tako, da se za vsako vrsto poškodbe določi, kolikšno površino zaseda na vozišču, tako da za vsako poškodbo privzamemo vrednost od 0 do 3; po spodnji preglednici.

Preglednica 3 : Razredi poškodovanih površin po MSI

Obseg prizadete površine	0	1	2	3
	brez poškodbe	< 10 %	10 - 50 %	> 50 %

Nato za vsako vrsto poškodbe določimo jakost poškodbe. Ocena temelji na subjektivni oceni ocenjevalca, ki ima osnovo v spodnji preglednici.

Preglednica 4 : Jakost poškodb

Jakost poškodbe	1	2	3
RAZPOKE	ozke ali dobro zalite	široke, vzdolžne, prečne nad 3 mm ali slabo zalite	široke, mrežaste ali delno zalite
OBRABA	izpad posameznih zrn iz obrabne plasti	večji izpad zrn	luščenje obrabne plasti
UDARNE JAME	udarna jama v nastajanju, poglobljanje luščenja	udarna jama globine do 5 cm, premera do 20 cm	udarna jama globine nad 5cm, premera nad 20 cm
KRPE	krpa, narejena z odrezkanjem stare obrabne plasti	krpa narejena z zasekom pravokotno na smer vožnje z ravnimi robovi	deformirano hladno krpanje in neravno krpanje brez ravnih robov
STIKI NA BETONSKIH VOZIŠČIH	stik plošč brez občutnih stopenj	stik plošč s stopnjami do 1 cm	stiki plošč s stopnjami nad 1 cm

Vrednost MSI se nato izračuna po spodnji formuli, pri čemer imajo oznake naslednji pomen :

- r..... razpoke
- o..... obraba
- j..... udarne jame
- k..... krpe
- A..... obseg prizadete površine
- S..... stopnja, jakost poškodbe
- G..... utež, ki določa vrednost posamezne poškodbe napram skupni vrednosti MSI

$$MSI = \sum_{m=r,o,j,k,s} \sum_{i=1}^n G_m \cdot S_i \cdot A_i, \text{ ali bolj natančno}$$

$$MSI = \sum_i (A_i \cdot S_i \cdot G_i) = A_r \cdot S_r \cdot 0,4 + A_o \cdot S_o \cdot 0,3 + A_j \cdot S_j \cdot 0,1 + A_k \cdot S_k \cdot 0,2$$

Cestni odseki se nadalje delijo glede na količino prometa in na pridobljeno MSI oceno na njih. Kriterije so v DRSC izbrali glede na strokovno prakso pri zagotavljanju ohranjanja cestne substance, glede na delež omrežja državnih cest v posameznem razredu kvalitete in glede na znane podatke iz tuje strokovne prakse. Cestni odseki so homogenizirani s pomočjo kriterijev v spodnji preglednici.

Preglednica 5 : Kriteriji služnosti vozišča v odvisnosti od PLDP in MSI

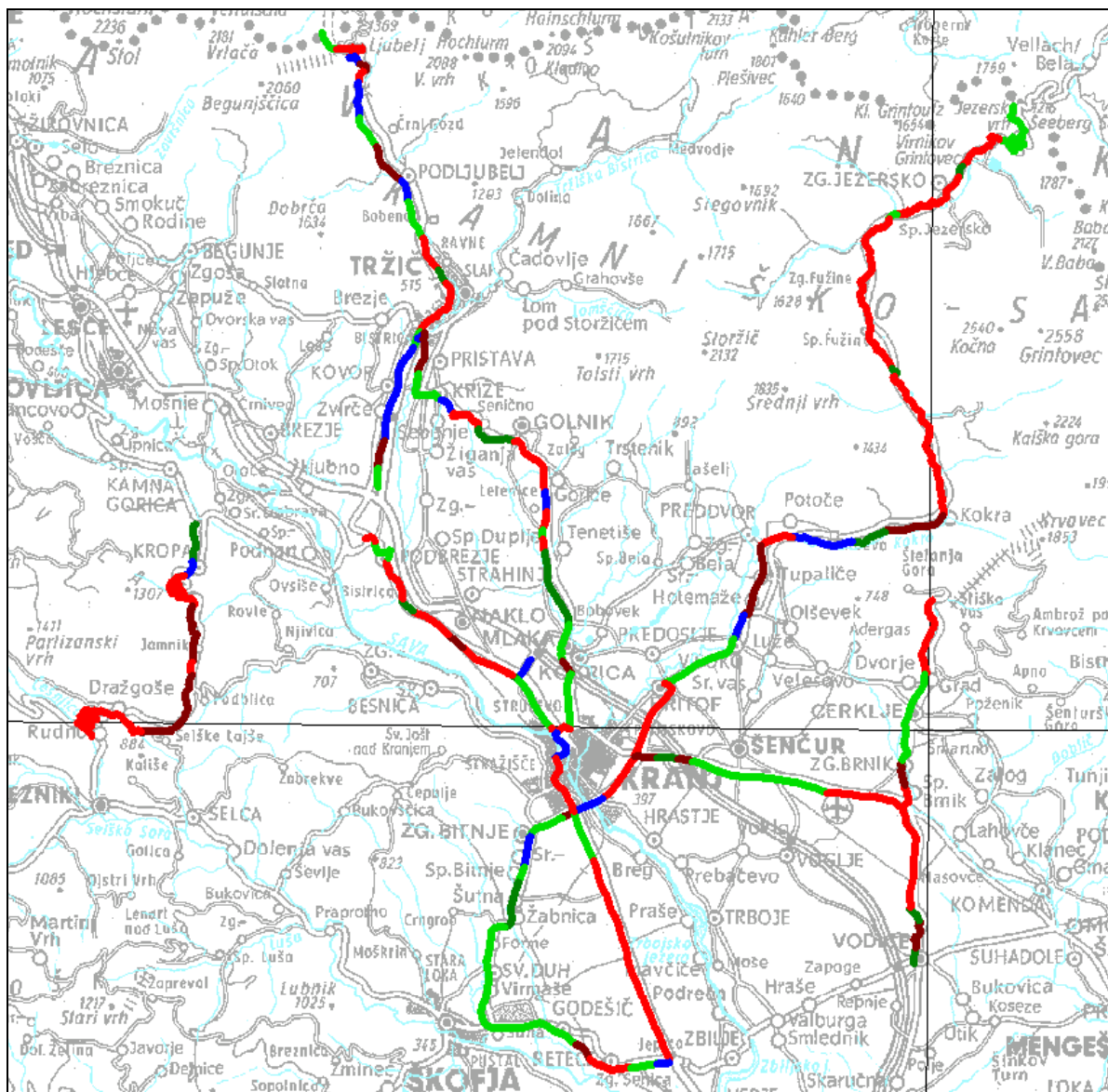
PLDP	zelo slabo	slabo	mejno	dobro	zelo dobro
nad 10000	> 2,4	1,6 - 2,4	1,0 - 1,6	0,4 - 1,0	< 0,4
5000 - 10000	> 2,5	1,7 - 2,5	1,1 - 1,7	0,5 - 1,1	< 0,5
3000 - 5000	> 2,6	1,8 - 2,6	1,2 - 1,8	0,6 - 1,2	< 0,6
2000 - 3000	> 2,7	1,8 - 2,7	1,3 - 1,8	0,7 - 1,3	< 0,7
1000 - 2000	> 2,8	2,0 - 2,8	1,4 - 2,0	0,8 - 1,4	< 0,8
500 - 1000	> 3,0	2,2 - 3,0	1,5 - 2,2	0,9 - 1,5	< 0,9
200 - 500	> 3,2	2,4 - 3,2	1,6 - 2,4	1,0 - 1,6	< 1,0
pod 200	> 3,4	2,6 - 3,4	1,7 - 2,6	1,1 - 1,7	< 1,1

Na ta način sem iz 23 odsekov dolžine 143 kilometrov dobil 101 homogen odsek, iz katerih sem nato izločil vse z vrednostjo PLDP pod 5000. Tako sem dobil 43 odsekov skupne dolžine 62,9 km, ki sem jih uporabil v analizi. Odseki so prikazani v spodnji tabeli, skupaj z stacionažami, lokacijami in vrednostmi MSI.

Preglednica 6 : Obravnavani odseki v analizi

ZAP.ŠT.	OZNAKA	stac.zac.	stac.konca	Dolžina	IME ODSEKA	PLDP	MSI
1	0210-001	0	850	850	Kranj (Iskra - Labore)	22835	4,44
2	0210-002	850	1450	600	Kranj (Iskra - Labore)	22835	2,92
3	0211-001	0	1600	1600	Kranj (Labore) - Jeprca	11938	0,06
4	0211-002	1600	8150	6550	Kranj (Labore) - Jeprca	11938	3,65
5	0230-001	0	850	850	Zvirce - Podtabor	7000	1,98
6	0230-002	850	2100	1250	Zvirce - Podtabor	7000	0,00
7	0230-003	2100	2700	600	Zvirce - Podtabor	7000	2,26
8	0231-001	0	300	300	Bistrica (Trzic) - Zvirce	7379	0,00
9	0231-002	300	3300	3000	Bistrica (Trzic) - Zvirce	7379	1,23
10	0359-001	0	1100	1100	Kranj (Kidriceva - Iskra)	17970	1,40
11	0359-002	1100	1550	450	Kranj (Kidriceva - Iskra)	17970	2,43
12	1078-001	0	3000	3000	Skofja Loka - Jeprca	12166	0,27
13	1078-002	3000	3650	650	Skofja Loka - Jeprca	12166	2,11
14	1078-003	3650	4950	1300	Skofja Loka - Jeprca	12166	4,80
15	1078-004	4950	5750	800	Skofja Loka - Jeprca	12166	0,35
16	1078-005	5750	6200	450	Skofja Loka - Jeprca	12166	1,16
17	1107-001	0	2350	2350	Preddvor - Kranj (Primskovo)	5973	2,31
18	1107-002	2350	3150	800	Preddvor - Kranj (Primskovo)	5973	1,65
19	1107-003	3150	5750	2600	Preddvor - Kranj (Primskovo)	5973	0,13
20	1107-004	5750	8500	2750	Preddvor - Kranj (Primskovo)	5973	3,59
21	1108-001	0	1550	1550	Kranj (Primskovo - Labore)	14509	3,05
22	1108-002	1550	2550	1000	Kranj (Primskovo - Labore)	14509	1,36
23	1109-001	0	400	400	Kranj - Skofja Loka	11885	1,86
24	1109-002	400	1550	1150	Kranj - Skofja Loka	11885	0,21
25	1109-003	1550	2500	950	Kranj - Skofja Loka	11885	1,22
26	1109-004	2500	3000	500	Kranj - Skofja Loka	11885	0,16
27	1109-005	3000	4500	1500	Kranj - Skofja Loka	11885	0,77
28	1109-006	4500	7800	3300	Kranj - Skofja Loka	11885	0,09
29	1133-001	0	350	350	Bistrica - Trzic	6000	1,57
30	1135-001	0	1700	1700	Kokrica - Kranj	7800	0,48
31	1135-002	1700	2250	550	Kokrica - Kranj	7800	4,25
32	1136-001	0	650	650	Kranj - Spodnji Brnik	12300	1,82
33	1136-002	650	1300	650	Kranj - Spodnji Brnik	12300	0,80
34	1136-003	1300	1750	450	Kranj - Spodnji Brnik	12300	2,04
35	1136-004	1750	5950	4200	Kranj - Spodnji Brnik	12300	0,30
36	1136-005	5950	8350	2400	Kranj - Spodnji Brnik	12300	4,08
37	1142-001	0	450	450	Vodice - Spodnji Brnik	6232	0,98
38	1142-002	450	1450	1000	Vodice - Spodnji Brnik	6232	2,24
39	1142-003	1450	2000	550	Vodice - Spodnji Brnik	6232	0,87
40	1142-004	2000	5100	3100	Vodice - Spodnji Brnik	6232	2,90
41	1428-001	0	1900	1900	Polica - Podtabor	12000	3,46
42	1454-001	0	2000	2000	Polica - Kranj (Kidriceva)	20070	0,11
43	1471-001	0	750	750	Kranj Zahod - Polica	17000	1,49

Na spodnji sliki so odseki iz preglednice št. 2, homogenizirani po MSI vrednostih. Označeni odseki predstavljajo celotno omrežje 101 odseka z dolžino 141 km, katere vzdržuje CP Kranj – baza Kranj.



Slika 25 : Analizirani odseki

5.5 Vzdrževanje in kriteriji

Vzdrževanje cestišča sem razdelil na ukrepe rednega vzdrževanja in na ukrepe investicijskega vzdrževanja. K ukrepom rednega vzdrževanja spadajo :

- popravilo robov
- krpanje udarnih jam
- zalivanje razpok

K investicijskim ukrepom pa spadata :

- preplastitev
- posodobitev

5.5.1 Redno vzdrževanje

Vsi ukrepi rednega vzdrževanja se izvajajo periodično, ne glede na stanje vozišča. Popravilo robov in zalivanje razpok se izvaja vsake 3 leta, udarne jame pa se krpajo vsako leto. Predstavniki Cestnega podjetja Kranj so mi posredovali naslednje cene ukrepov rednega vzdrževanja :

- popravilo robov : 3000 SIT/m²
- krpanje udarnih jam : 4500 SIT/m²
- zalivanje razpok : 600 SIT/m²

Pri vseh treh ukrepih sem definiral tudi maksimalno vrednost IRI, ki predstavlja največjo vrednost, pri kateri se ukrep še izvede. Vrednost sem nastavil na 10 mm/m.

Vse cene v programskem modulu za ukrepe na cestišču sem podajal v evrih (1 € = 240 SIT).

5.5.2 Investicijsko vzdrževanje

Pri investicijskem vzdrževanju sem predvidel 2 vrsti ukrepov, in sicer preplastitev ter posodobitev. Pri obeh ukrepih sem definiral stanje na vozišču, ki sproži ukrep (kriteriji), ceno ukrepa, vrste in cene pripravljanih del ter učinek, ki ga ima ukrep na vozišče.

PREPLASTITEV

Pri preplastitvi sem najprej definiral pripravljala dela :

- popraviljanje robov (cena ukrepa 2000 SIT/m²)
- krpanje udarnih jam (cena ukrepa 3000 SIT/m²)

Obe vrsti pripravljanih del predstavljata 60 % vrednosti samostojnega ukrepa.

Sama preplastitev je bila definirana kot polaganje obrabne asfaltne plasti debeline 4 cm. Primer materiala za preplastitev je bitumenski beton frakcije 0/11 mm. Sam strošek preplastitve znaša 2500 SIT/m². Po izvedenem ukrepu sem stanje vozišča definiral na IRI=1,5.

Kriteriji za izvedbo ukrepa se nanašajo na stanje oz. poškodbe vozišča. Ukrep se izvrši, ko je stanje na vozišču slabše od predvidenih 3 kriterijev:

- IRI > 2,5
- Obrabljenost > 20 %
- Razpokanost > 20 %

POSODOBITEV

Ukrep posodobitve ima pripravljala dela enaka kot pri preplastitvi. Ukrep posodobitve pa sem definiral kot plast 4 cm bitumenskega betona BB 0/11s ali BB 0/8s na 6 cm podlage BB 0/16. Cena posodobitve je 5100 SIT/m². Po izvedenem ukrepu se ravnost vozišča IRI povrne na 1,2.

Kriteriji za izvedbo ukrepa so enaki kot pri preplastitvi, le da se z ukrepom počaka na nekoliko slabše stanje kot pri preplastitvi, oziroma se izvede, ko stanje na vozišču ustreza enemu od naslednjih pogojev:

- IRI > 3,8
- Obrabljenost > 40 %
- Razpokanost > 40 %

Pri obeh vrstah investicijskih ukrepov (preplastitev, posodobitev) se poleg opisanih ukrepov hkrati izvaja tudi ukrepe rednega vzdrževanja. Kriteriji za te ukrepe rednega vzdrževanja so enaki kot v poglavju 5.5.1.

5.6 Analiza

Izvedel sem več analiz, s katerimi sem preverjal vpliv strukture prometa na skupne stroške vzdrževalcev in upravljalcev cest. Pri tem sem skupno količino tovornih vozil povečeval od 0 do 16 %. Kot je razvidno iz spodnje tabele, sem posamezen odstotek tovornih vozil enakomerno razdelil na tri enake dele za lahka, srednja in težka tovorna vozila.

Preglednica 7 : Struktura tovornih vozil

	Odstotek tovornih vozil				
	0	1	2	3	4
avtobus	1	1	1	1	1,33
lahko tovorno vozilo	0	0,33	0,66	1	1,33
srednje tovorno vozilo	0	0,34	0,67	1	1,34
težko tovorno vozilo	0	0,33	0,67	1	1,33
osebno vozilo	99	98	97	96	95

Ko sem določal rast prometa na analiziranem omrežju, sem upošteval le tiste odseke na območju CP Kranj, ki imajo v vozišče vgrajene sodobne števec prometa vrste QLD-6, slovenskega proizvajalca Mikrobit d.o.o. (slika na naslednji strani, št. 26).

Omenjeni števeci so sposobni iz prehodov vozila ugotoviti tudi vrsto vozila, zaradi česar lahko popolnoma avtomatsko beležijo vse potrebne podatke za strukturo in količino prometa.



Slika 26 : Števec prometa QLD-6

Za izračun rasti prometa sem upošteval obdobje v letih 1996 - 2002. Če je bil na katerem od teh odsekov vgrajen QLD-6 števec po letu 1996, sem za ta čas upošteval druge načine štetja prometa (ročno štetje). Rast prometa za posamezno vrsto vozil je napisana v spodnji tabeli.

Preglednica 8 : Rast prometa

	avtobus	lahko tovorno vozilo	srednje tovorno vozilo	težko tovorno vozilo	osebno vozilo
RAST	-6%	7%	-3%	5%	2%

Vse analize sem izvedel s tremi različnimi scenariji vzdrževanja, ki so opisani v prejšnjem poglavju :

- ukrepi rednega vzdrževanja (Base option)
- ukrepi preplastitve
- ukrepi posodobitve

Analizo stanja cestnega omrežja sem v programu HDM-4 izvajal za časovno obdobje 15 let. Pri tem sem dobil 2 rezultata, ki sta me zanimala na začetku pisanja diplomske naloge.

Prvi rezultat predstavlja odgovor na vprašanje, kolikšne skupne stroške za uporabnike cest predstavlja različna gostota tovornih vozil na cestah.

Drugi rezultat pa je odgovor na vprašanje, kakšno je stanje (ravnost) voziščne konstrukcije po 15 letih glede na količino tovornih vozil in glede na količino denarja, ki jo vložimo v vzdrževalne ukrepe.

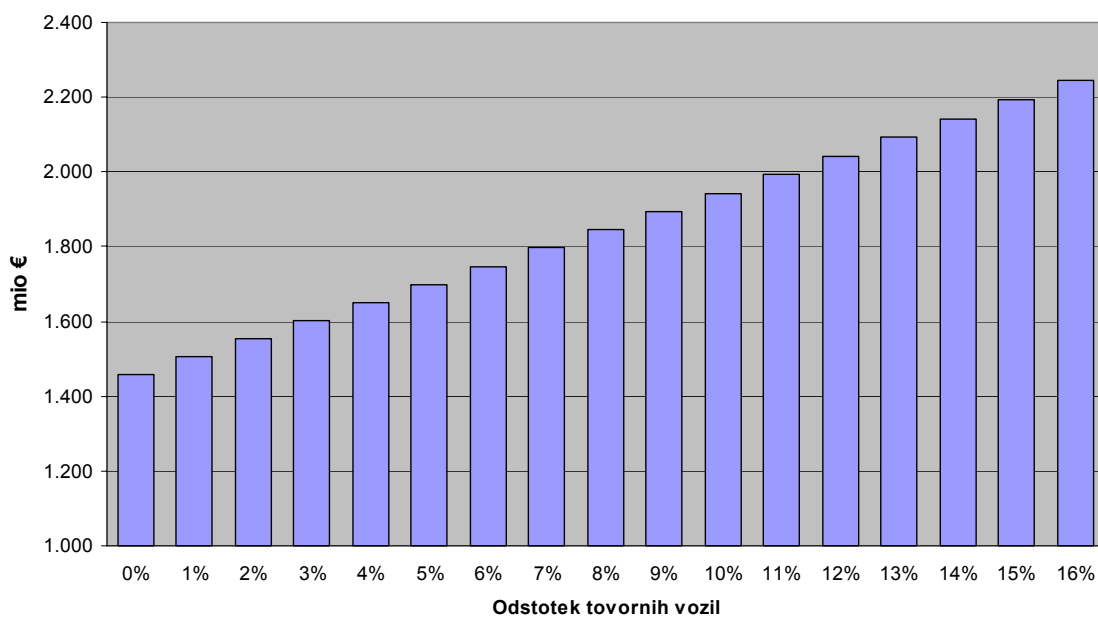
Postopek analize je potekal tako, da sem analizo stanja cest v programu HDM-4 za obdobje 15 let izvedel za različne strukture prometa, pri čemer je odstotek tovornih vozil naraščal od 0 do 16 %. Pri tem sem uporabljal vse tri scenarije vzdrževanja in dobil 3 različne grafe stroškov. Pri tej analizi program izvaja ukrepe glede na kriterije, ki jih določi uporabnik.

Nato sem za količino tovornih vozil, ki se je spreminjala od 0 do 30 %, izvajal še analize, pri katerih sem omejeval skupno vsoto denarja, ki se nameni za vzdrževanje. Program glede na to zmanjšano vsoto izbere od vseh treh scenarijev tiste ukrepe, ki dajejo največjo neto sedanjo vrednost (NSV).

5.7 Rezultati

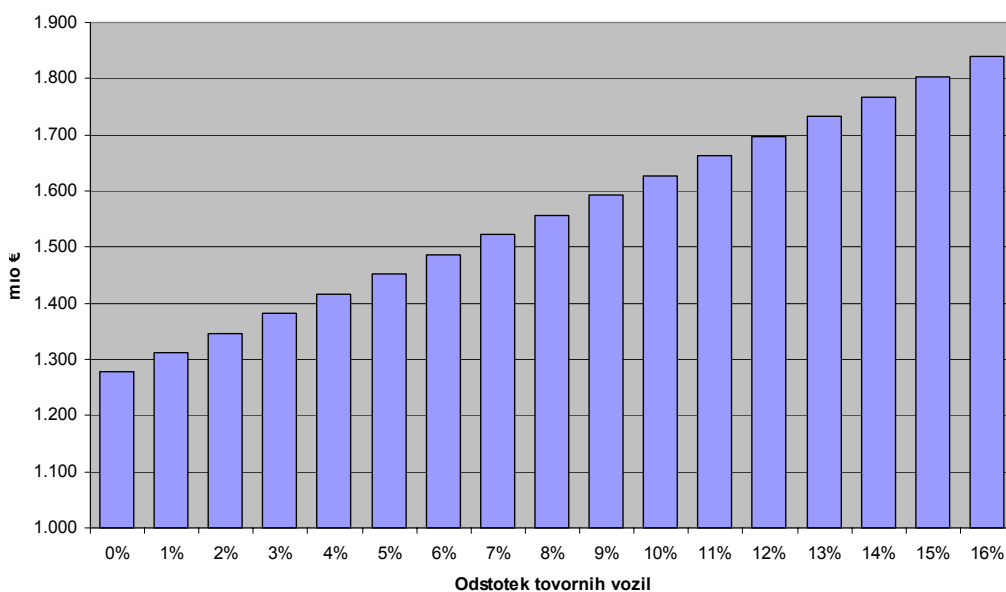
Na slikah 27-29 so prikazani skupni stroški uporabnikov in upravljalcev po 15 letih glede na scenarij vzdrževanja, na sliki št. 30 pa so vsi trije grafi združeni v enega.

Base option

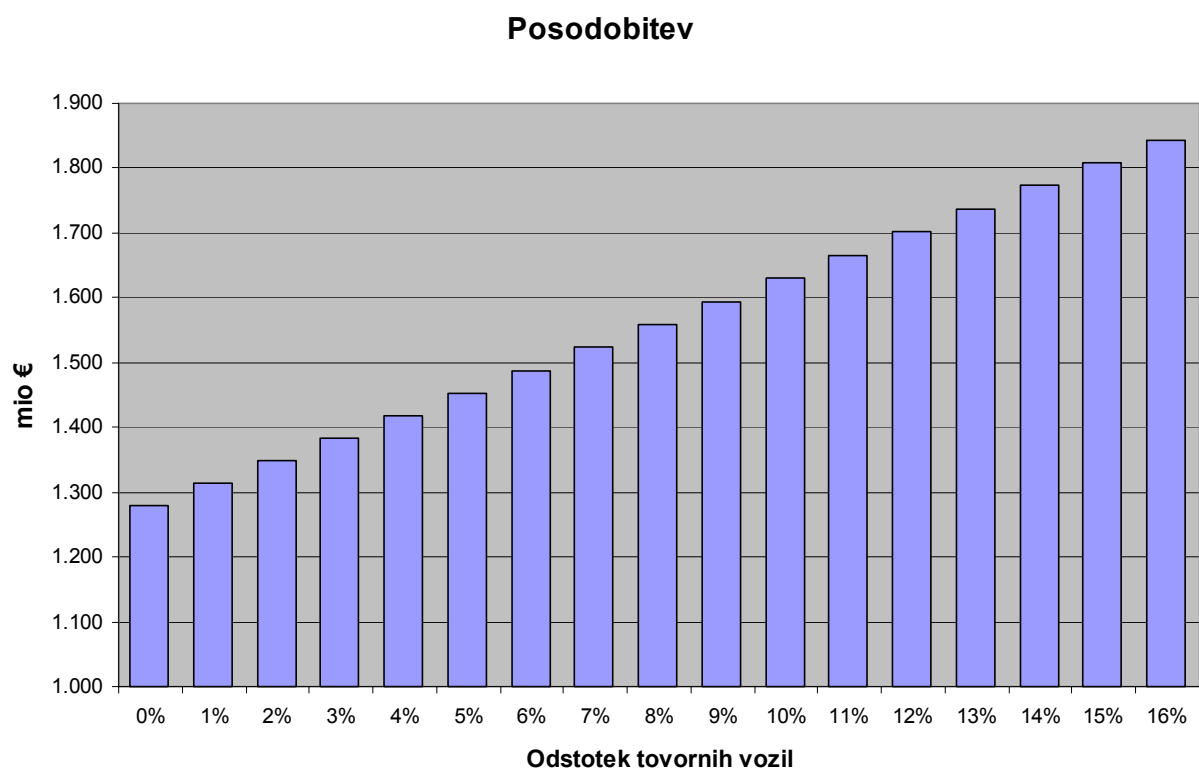


Slika 27 : Skupni stroški za ukrepe rednega vzdrževanja

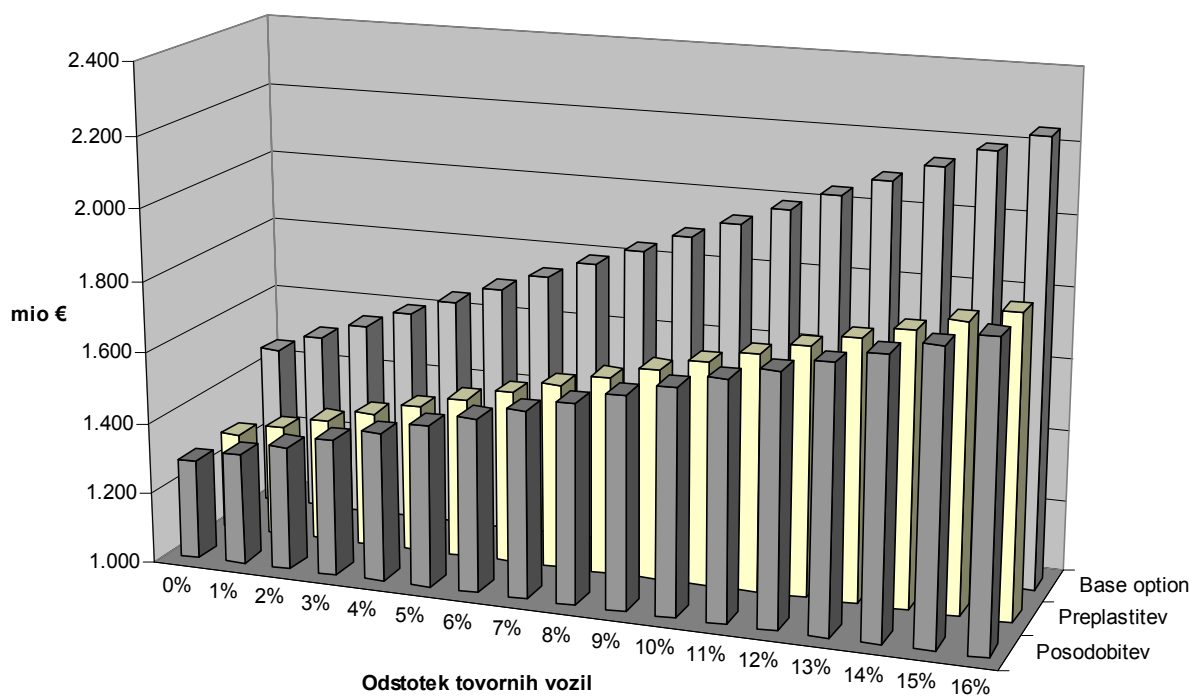
Preplastitev



Slika 28 : Skupni stroški za scenarij preplastitve



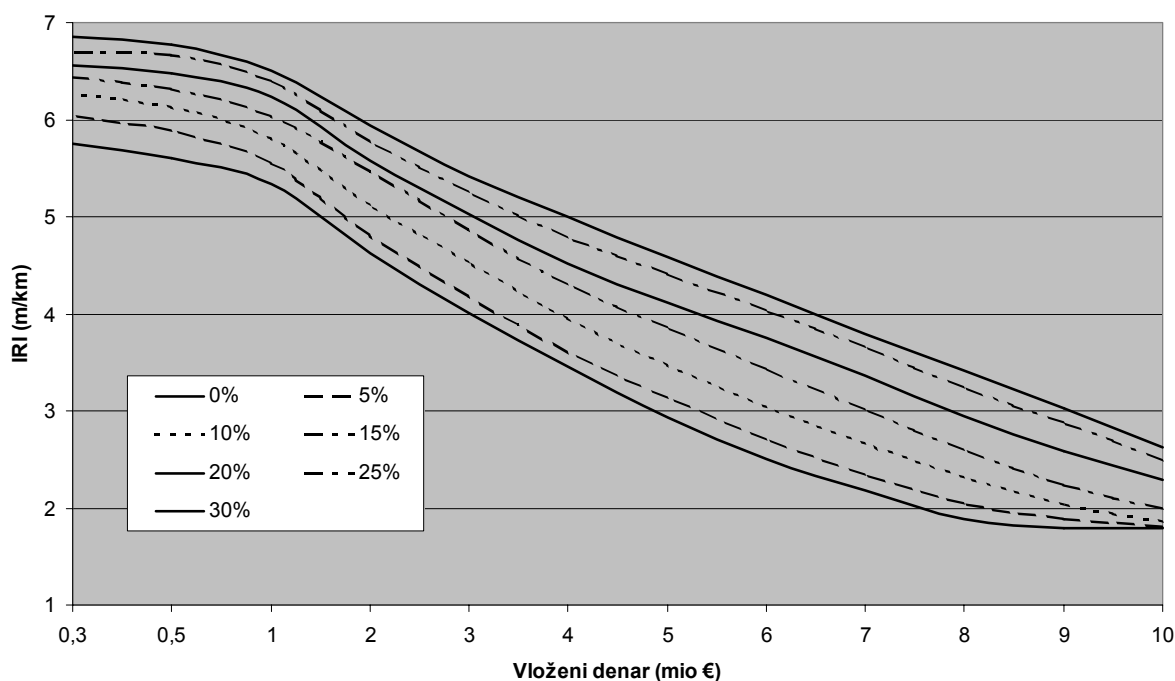
Slika 29 : Skupni stroški za scenarij posodobitve



Slika 30 : Združen graf vseh treh scenarijev

Iz prikazanih treh grafov se jasno vidi, da skupni stroški linearno naraščajo z večanjem tovornega prometa. Stroški scenarijev preplastitve in posodobitve so približno enaki, medtem ko so stroški scenarija Base option višji za skoraj 200 milijonov evrov, kar gre pripisati povečanemu stroškom uporabnikov zaradi le najbolj osnovnega vzdrževanja cestnega omrežja in posledično njegovemu slabšemu stanju.

Oba opisana scenarija preplastitve in posodobitve pravzaprav zahtevata velike količine finančnih sredstev, saj so kriteriji za izvajanje ukrepov dokaj strogi. V realnosti upravljalci cest nimajo na voljo tako velikih finančnih sredstev. Zato sem v nadaljevanju predstavil rezultat analize, ki prikazuje stanje voziščne konstrukcije v odvisnosti od količine vloženega denarja in količine tovornih vozil. Najmanjša količina denarja, namenjena za ukrepe v dobi 15 let je 0,3 milijona SIT, kar je približno 72 milijonov SIT. Največja količina denarja v analizi znaša 10 milijonov evrov ali okoli 2,4 milijarde SIT, kar ob 63 km cest in 15 letnem obdobju znaša dobrih 2,5 milijona SIT/km ceste rednega vzdrževanja. To pa je več, kot bi lahko v Sloveniji kadarkoli pričakovali za ukrepe rednega vzdrževanja. Spodnja slika prikazuje opisano sovisnost med denarjem, ravnostjo in količino tovornih vozil.

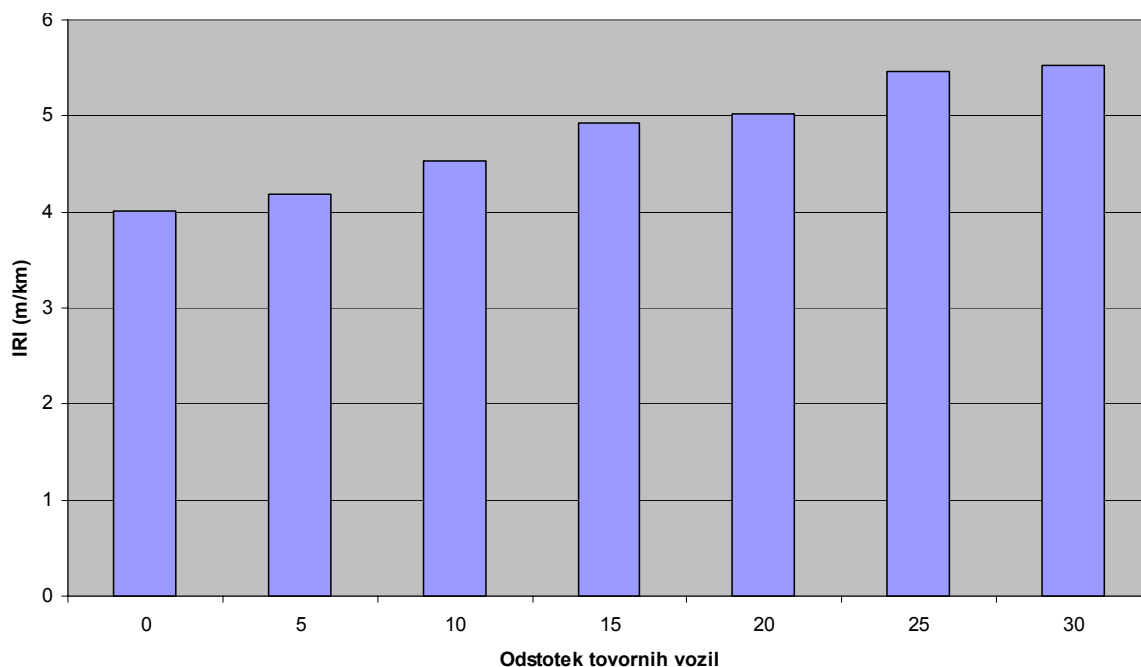


Slika 31 : Ravnost vozišča glede na tovorni promet in vloženi denar

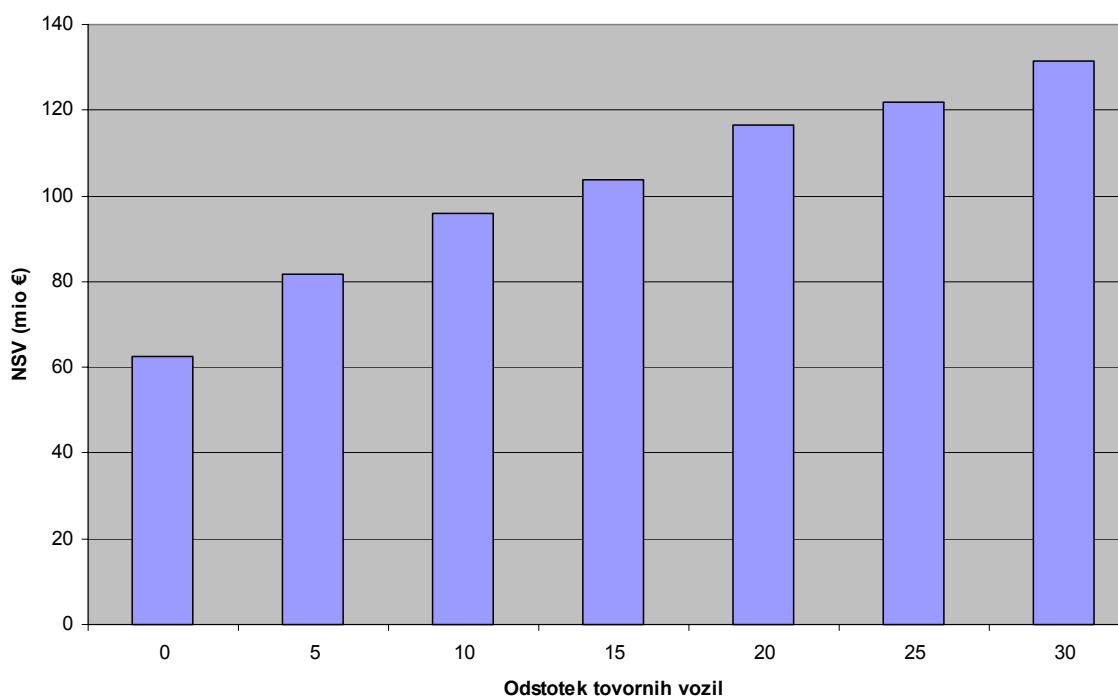
Krivulje na sliki 31 predstavljajo povprečno ravnost vozišča na vseh 63 kilometrih cest leta 2019, glede na višino vloženih finančnih sredstev.

Realno je v Sloveniji količina finančnih sredstev, ki jih DRSC letno namenja za vzdrževanje cest, slab milijon SIT na kilometer. V 15 letih to pomeni za 63 kilometrov cest približno 945 milijonov SIT. Če to delim z 240, da dobim evre, pomeni ta vsota slabe 4 milijone evrov za analizirano cestno omrežje. Dejansko je vsota za vzdrževanje manjša od omenjenega milijona na kilometer. Zato sem za bolj realno vrednost vzela skupno vsoto 3 milijone evrov, kar predstavlja 0,76 milijona SIT/km/leto, kar je dokaj realna vrednost vzdrževalnih sredstev. Na spodnjih dveh slikah sta za 3 milijone evrov po 15 letnem obdobju prikazani ravnost vozišča in NSV za program vzdrževanja.

Rezultati teh dveh grafov kažejo na to, da ravnost vozišča z večanjem tovornega prometa pada (to pomeni, da IRI narašča), kar je tudi pričakovano. V drugi sliki pa opazimo, da NSV vrednost ob enakem vložku 3 milijonov evrov narašča z večanjem tovornega prometa. Pri 30 % tovornem prometu je NSV že 130 milijonov evrov. Z omenjeno vsoto denarja lahko namreč ob bolj poškodovanem vozišču naredimo večjo razliko z ukrepi, kar se pozna na povečani NSV. Ta ugotovitev potrjuje pravzaprav že znano dejstvo, da se izplača popravljati vozišča, ki so močno poškodovana.



Slika 32 : Ravnost vozišča pri stroških ukrepov 3 milijone €



Slika 33 : NSV programa pri stroških ukrepov 3 milijone €

6 ZAKLJUČEK

Cestno omrežje neke države ima izredno visoko vrednost; tako v finančnem kot v funkcionalnem smislu. Zato vsaka skrbna in socialna država skrbno vzdržuje in obnavlja tako pomembno dobrotno. Ob tem se pojavi težava, saj vzdrževanje zahteva ogromna finančna vlaganja, ki pa imajo na različnih delih cestnega omrežja različne učinke. Upravljalci vedo, da na stanje vozišča vplivata tako promet kot tudi klimatski pogoji, zato je nujno spremljanje obojega. Cestno omrežje je lahko zelo razvejeno in obširno, na njih se pojavlja promet zelo različnih količin z zelo različno strukturo; od prometno močno obremenjenih avtocest in s tovornjaki zasičenih regionalnih cest, do skoraj praznih dostopnih cest in ulic. Finančna sredstva za vzdrževanje so omejena, vsi uporabniki pa si želijo (želimo) vožnje po kvalitetnih in ravnih cestah, po katerih se bomo peljali varno in s čim manj stroški. Pri tem ima institucija, odgovorna za razporejanje denarja za vzdrževanje, na voljo 2 načina, v luči katerih bo razporejala sredstva za vzdrževanje :

- stalno vzdržuje le najbolj poškodovane cestne odseke, ne glede na učinke
- vzdržuje tiste odseke, s katerimi bo za najmanjšo vsoto vložnega denarja največji učinek za zmanjšanje stroškov uporabnikov in za povečanje varnosti vožnje

V realnosti se ceste vzdržuje kot kombinacija obeh načinov. Ko je neka cesta že v tako slabem stanju, da je vožnja že nevarna, se jo popravi, čeprav bi ekonomska analiza zaradi majhnega števila uporabnikov morebiti pokazala, da se ukrep finančno ne izplača. Problem pri drugem načinu je v tem, da moramo imeti stalno na razpolago najbolj ažurne podatke o vozišču in prometu, na podlagi katerih lahko ugotovljamo in primerjamo stanje v prihodnosti z ukrepi ali brez njih.

V diplomski nalogi sem obravnaval cestno omrežje na območju Gorenjske v dolžini 62,9 km. Vsi odseki imajo PLDP večji od 5000. Pri tem sem za vsakega od 43 odsekov, homogeniziranih glede na MSI vrednost, določil 3 scenarije ukrepov: Base option (ukrepi rednega vzdrževanja), preplastitev (4 cm bitumenskega betona) in posodobitev (6 + 4 cm bitumenskega betona). Analizo sem izvedel za 15 letno obdobje od leta 2005 do 2019.

Za vsakega od 3 scenarijev sem definiral kriterije, ki se navezujejo na poškodbe vozišča; razpoke, obrabljenost in ravnost.

Rezultat analize stanja in poškodb na cestah v 15-letnem obdobju, ki sem jo izvedel, je pokazal, da skupni stroški uporabnikov in vzdrževalcev linearno naraščajo z večanjem tovornega prometa. V primeru, ko na cestah ni tovornega prometa, so skupni stroški okoli 1,35 milijona €/km/leto, v primeru ko je na cestah 16 % tovornega prometa, pa so skupni stroški 1,95 milijona €/km/leto. 1 odstotno povečanje tovornega prometa tako pomeni 38,000 € večje stroške za vsak kilometer cest v nekem letu. V enem dnevu to pomeni približno 25,000 SIT večje stroške na kilometer.

V drugem primeru sem kriterije za izvedbo ukrepov sicer pustil nespremenjene, spreminjal sem le količino finančnih sredstev, ki jih upravljalec nameni v 15-letni dobi za vzdrževalne ukrepe. Program je ukrepe za posamezne odseke določal glede na najvišjo NSV, ki jo ukrep na določenem cestnem odseku doseže. Količina finančnih sredstev se je spreminjala od 0,3 do 10 milijonov € za 15-letno obdobje, količina tovornih vozil pa se je spreminjala od 0 do 30 % celotnega prometa.

Vrednost IRI se je v odvisnosti od vloženih finančnih sredstev gibala med 2 in 6 mm/m. Za fiksno količino finančnih sredstev se je IRI spreminjal za približno 1,5. To pomeni, da je imel cestni odsek obravnavanega omrežja, na katerem je količina tovornih vozil 30 %, po 15 letih za približno 1,5 mm/m večjo neravnost vozišča kot odsek, na katerem tovornega prometa ni.

V primeru fiksne količine finančnih sredstev za vzdrževanje, ki znaša 3 milijone € za 15-letno obdobje, se pokaže, da je NSV najvišja v primeru, ko je na cesti največ tovornih vozil. V tem primeru je NSV celotnega programa približno 130 milijonov €; v primerjavi z odseki, na katerih ni tovornjakov, kjer je NSV le dobrih 60 milijonov €. Rezultat nam pove, da so koristi vzdrževanja v primeru prometno močno obremenjenih cest lahko izredno visoke.

Tu želim še enkrat poudariti, da gre pri ukrepih, uporabljenih v analizi, le za ukrepe rednega vzdrževanja, in ne za ukrepe rekonstrukcij ter zimskih del ali interventnih ukrepov. Temu primerno so manjši tudi stroški teh ukrepov.

Ukrepi in stroški za posamezni odsek in za celotno omrežje temeljijo na razpoložljivih podatkih o tehničnih elementih cest, znanem stanju voziščne konstrukcije, vplivih okolja, podatkih o strukturi prometa ter definicijah in kriterijih za vsak posamezen ukrep. Prikazani rezultati so lahko le ilustrativnega pomena, ki uporabnikom cest oz. davkoplačevalcem v splošnem kažejo na vzroke za povečanje stroškov vzdrževanja cest. Lahko pa služijo tudi kot izhodišče za morebitno nadaljnje vrednotenje in določanje cestnin in povračil za uporabo cest, ki jih plačujejo lastniki tovornih vozil.

VIRI

Žmavc, J. 1997. Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. Ljubljana, DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije : 360 str.

Žura, M., Strah B. 2004. Modeliranje vpliva gostote in strukture prometa na stanje voziščne konstrukcije. Razvojno-raziskovalni projekt. Ljubljana. Direkcija Republike Slovenije za ceste : 68 f.

Kokot, D. 2000. Preveritev primernosti programa HDM-4 za optimizacijo gospodarjenja z vozišči v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer : 69 f.

Vodopivec, V. 2004. Določanje homogenih cestnih odsekov. 7. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, oktober 2004. Ljubljana, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije

Vodopivec, V. 2002. Razpoke v asfaltnih voziščih. 6. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, oktober 2002. Ljubljana, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije

Jamnik, J. 2004. Pilotni projekt vpeljave gospodarjenja z vozišči na avtocestno omrežje. 7. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, oktober 2004. Ljubljana, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije

Informacijsko središče programa HDM-4:

<http://hdm4.piarc.org> (15.3.2005)

Spletna stran podjetja Mikrobit :

<http://www.mikrobit.si> (15.6.2005)