

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Bratina, L. 2013. Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žmavc, J., somentorja Cotič, Z., Hribar, D.): 136 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Bratina, L. 2013. Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žmavc, J., co-supervisors Cotič, Z., Hribar, D.): 136 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
PROMETNA SMER

Kandidatka:

**LAURA BRATINA**

**NAČRTOVANJE ASFALTNIH VOZIŠČNIH  
KONSTRUKCIJ NA PARKIRNIH POVRŠINAH**

Diplomska naloga št.: 3282/PS

**DESIGNING OF ASPHALT PAVEMENTS ON PARKING  
LOTS**

Graduation thesis No.: 3282/PS

**Mentor:**

prof. dr. Janez Žmavc

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorja:**

mag. Dejan Hribar  
dipl. inž. Zvonko Cotić

**Član komisije:**

doc. dr. Dušan Žagar

Ljubljana, 22. 02. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVE**

Podpisana Laura Bratina izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom  
»Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 30.11.2012

Laura Bratina

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>UDK:</b>             | <b>625.712.6:625.75(043.2)</b>   |
| <b>Avtor:</b>           | <b>Laura Bratina</b>   |
| <b>Mentor:</b>          | <b>prof. dr. Janez Žmavc</b>   |
| <b>Somentorja:</b>      | <b>mag. Dejan Hribar, Zvonko Cotič, dipl. inž. grad.</b>                   |
| <b>Naslov:</b>          | <b>Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah</b>  |
| <b>Tip dokumenta:</b>   | <b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>                             |
| <b>Obseg in oprema:</b> | <b>136 str., 47 pregl., 68 sl., 5 graf., 37 en., 4 pril.</b>               |
| <b>Ključne besede:</b>  | <b>Boussinesq, Burmister, Odemark, Westergaard, Bisar, ME-PDG, Padesto</b> |

### **Izvleček**

Parkirišča so prvi vtis, ki ga uporabnik zazna, preden vstopi v zgradbo, ki ji parkirišče pripada. Pomembno je, da so te površine primerno dimenzionirane, kar prispeva k doseganju predvidene življenjske dobe, majhnih vzdrževalnih stroškov in ustrezne ter privlačne površine.

V Sloveniji posebni uradni listi s priporočili za projektiranje parkirnih površin ne obstajajo. Veljavne so le Tehnične specifikacije za ceste (TSC), ki pa se uporabljajo predvsem za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij na kategoriziranih cestah s pretežno dinamično obremenitvijo.

Pri načrtovanju voziščnih konstrukcij so v pomoč analitični, empirični in standardizirani postopki. Teoretični postopki so npr. postopek po Boussinesqu, Burmistru, Odemarku in Westergaardu. Empirične postopke je razvila organizacija AASHO, ki je preučevala obnašanje konstrukcij v življenjski dobi, v Sloveniji pa so bila uporabljena nekatera dognanja

v TSC-jih. Tretja velika skupina pa so standardizirani postopki. Npr. v Nemčiji, Avstriji in Franciji so na podlagi izkušenj izdali standardizirane prereze voziščnih konstrukcij za različne obremenitve ob upoštevanju pravilnikov načrtovanja, ki veljajo za te države. V posebni nemški izdaji publikacije z naslovom *Razpisi asfaltnih del* so podane tipske debeline in sestava asfaltnih voziščnih konstrukcij, ki se uporabljajo na parkiriščih in z njihovo pomočjo inženir prihrani veliko časa namenjenega načrtovanju.

Posebno četrto skupino, ki se je uveljavila z razvojem visokozmogljivih računalnikov, pa sestavljajo računalniški programi. Nekateri izmed njih temeljijo na analitičnih (npr. Bisar), drugi pa poleg tega še na empiričnih dognanjih (npr. Padesto in ME-PDG). Za izračun napetosti po slojih na parkirnih površinah, ki so obremenjene s statično obtežbo in se jih ne dimenzionira v odvisnosti od PLDP, je najbolj uporaben prav program Bisar.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

- UDC:** 625.712.6:625.75(043.2)
- Author:** Laura Bratina
- Supervisor:** Prof. Janez Žmavc, PhD.
- Co supervisors:** Dejan Hribar, M.Sc., Zvonko Cotič, B.Sc.
- Title:** Designing of asphalt pavements on parking lots
- Notes:** 136 p., 47 tab., 68 fig., 5 graph., 37 eq., 4 ann.
- Key words:** Boussinesq, Burmister, Odemark, Westergaard, Bisar, ME-PDG, Padesto

### **Abstract**

A parking lot is the first part of a building complex to be viewed by the user. It is important that those areas are properly designed to provide the designed service life expectancy, low maintenance costs and aesthetic pavement.

In Slovenia, specifications for designing the parking lots do not exist. There exists Technical specifications which are used on classified roads exposed to dynamic loadings.

There are several analytical, empirical and standardised procedures in designing pavements. Theoretical procedures are e.g. Boussinesq, Burmister, Odemark and Westergaard procedure. Empirical procedures were evolved by AASHO which studied behaviour of the pavements during service life and some of its conclusions were used in Technical Specifications for Roads. The third big group consists from standardised procedures. On the base of experiences the standardised pavement structures for different construction classes were published in several European countries, e.g. Germany, Austria and France complied with their national specifications for designing roads. Special German publication titled Tender for Asphalt Work

contains typical thickness and construction of pavements which are typical on parking lots and it can save time meant for planning.

Special fourth group consists of computer programs which developed because of high-speed computers. Some of them base on analytical (e.g. Bisar) and the others beside that on empirical conclusions either (e.g. Padesto and ME-PDG). For calculation of stresses down the layers on the parking lots which are loaded with static loads and do not depend on ADT is the best software Bisar.



## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu, somentorjema mag. Dejanu Hribarju in Zvonku Cotiču, dipl. inž. grad., Primožu Jurjavčiču, Mitji Jurgeletu (DRI d.o.o.) in Arnu Rupniku (Projektna skupina PROSTOR d.o.o.), ki so mi nudili pomoč pri iskanju literature ter mi dajali koristne napotke.

Nenazadnje se za podpiranje v celotnem času študija zahvaljujem domačim in tudi vsem prijateljem, s katerimi sem v študentskih letih preživela veliko lepih trenutkov.

**KAZALO VSEBINE**

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>UVOD.....</b>  | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>DELITEV PARKIRNIH POVRŠIN .....</b>  | <b>4</b> |
| 2.1      | Delitev glede na izpostavljenost atmosferskim vplivom.....  | 4        |
| 2.2      | Delitev glede na namen uporabe .....  | 5        |
| 2.3      | Delitev glede na obremenitev .....  | 7        |
| 2.3.1    | Asfaltne zmesi za malo obremenjene parkirne površine .....  | 7        |
| 2.3.2    | Asfaltne zmesi za parkirne površine namenjene pogosti obremenitvi z osebnimi in dostavnimi vozili in majhnim številom tovornih vozil..... | 8        |
| 2.3.3    | Asfaltne zmesi za površine za težka tovorna vozila v logističnih centrih in za industrijske površine .....                                | 8        |
| <b>3</b> | <b>NAČRTOVANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ .....</b>  | <b>9</b> |
| 3.1      | Teoretični postopki.....  | 15       |
| 3.1.1    | Elastičen izotropen polprostor .....  | 15       |
| 3.1.2    | Večplastna teorija.....   | 18       |
| 3.1.3    | Elastična plošča.....   | 20       |
| 3.1.4    | Ekvivalentni postopki .....   | 22       |
| 3.1.4.1  | Odemarkov postopek.....   | 22       |
| 3.1.4.2  | Eisenmannov postopek.....   | 23       |
| 3.1.5    | Dopustne napetosti.....   | 23       |
| 3.2      | Empirični postopki .....  | 24       |
| 3.2.1    | Liddle-ova aplikacija AASHO testa .....   | 25       |
| 3.2.2    | Postopek Dormon – Edwards.....  | 29       |
| 3.2.3    | Postopek TRRL.....  | 31       |
| 3.2.4    | Postopek po TSC.....  | 32       |
| 3.2.4.1  | Prometna obremenitev.....   | 34       |
| 3.2.4.2  | Klimatski in hidrološki pogoji.....   | 37       |
| 3.2.4.3  | Vrste in kakovost materialov.....   | 39       |
| 3.2.4.4  | Nosilnost podlage in gostota .....  | 41       |
| 3.2.4.5  | Dimenzioniranje voziščnih konstrukcij po TSC 06.520:2009 .....  | 45       |
| 3.2.4.6  | Voziščne konstrukcije za maloprometne ceste po TSC 03.325:2003 .....  | 49       |
| 3.3      | Standardizirani postopki.....   | 51       |
| 3.3.1    | Standardizacija v Nemčiji .....   | 51       |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.3.1.1  | Prometne obremenitve .....  | 55         |
| 3.3.1.2  | Asfaltne plasti .....   | 59         |
| 3.3.1.3  | Parkirne površine .....   | 61         |
| 3.3.1.4  | Predlogi asfaltnih plasti za parkirne površine .....                | 64         |
| 3.3.2    | Standardizacija v Avstriji .....                                    | 68         |
| 3.3.2.1  | Prometne obremenitve .....  | 68         |
| 3.3.2.2  | Temperatura .....   | 70         |
| 3.3.2.3  | Katalog načrtovanja .....   | 71         |
| 3.3.3    | Standardizacija v Franciji .....                                    | 72         |
| 3.3.3.1  | Prometne obremenitve .....  | 76         |
| 3.3.3.2  | Podatki o vgrajenih materialih .....                                | 79         |
| 3.3.3.3  | Zmrzljinska odpornost .....   | 79         |
| 3.4      | Računalniški programi .....   | 84         |
| 3.4.1    | BISAR/SPDM .....  | 88         |
| 3.4.2    | PADESTO .....   | 94         |
| 3.4.3    | ME-PDG .....  | 100        |
| <b>4</b> | <b>PRIMERI PARKIRIŠČ .....</b>                                      | <b>103</b> |
| 4.1      | Parkirišče za osebne avtomobile v Kopru .....                       | 104        |
| 4.1.1    | Dejansko – po projektu .....  | 104        |
| 4.1.2    | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                           | 105        |
| 4.1.3    | Izračun napetosti po Odemarku .....                                 | 107        |
| 4.1.3.1  | Dejansko – po projektu .....  | 108        |
| 4.1.3.2  | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                           | 109        |
| 4.1.4    | Izračun napetosti po Westergaardu .....                             | 110        |
| 4.1.4.1  | Dejansko - po projektu .....  | 110        |
| 4.1.4.2  | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                           | 112        |
| 4.1.5    | Izračun dopustnih napetosti .....                                   | 113        |
| 4.1.5.1  | Dejansko – po projektu .....  | 113        |
| 4.1.5.2  | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                           | 113        |
| 4.1.6    | Izračun napetosti s pomočjo računalniškega programa BISAR 3.0 ..... | 114        |
| 4.1.6.1  | Dejansko – po projektu .....  | 114        |
| 4.1.6.2  | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                           | 116        |
| 4.2      | Počivališče Radovljica .....  | 118        |
| 4.2.1    | Dejansko .....  | 118        |

---

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 4.2.2       | Nemška standardizacija.....   | 121        |
| 4.2.3       | Izračun napetosti po Odemarku .....   | 122        |
| 4.2.3.1     | Dejansko – po projektu.....   | 123        |
| 4.2.3.2     | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                                     | 123        |
| 4.2.4       | Izračun napetosti po Westergaardu .....                                       | 124        |
| 4.2.4.1     | Dejansko – po projektu.....   | 124        |
| 4.2.4.2     | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                                     | 124        |
| 4.2.5       | Izračun dopustnih nepetosti .....   | 125        |
| 4.2.5.1     | Dejansko – po projektu.....   | 125        |
| 4.2.5.2     | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                                     | 126        |
| 4.2.6       | Izračun napetosti s pomočjo računalniškega programa BISAR 3.0.....            | 127        |
| 4.2.6.1     | Dejansko.....   | 127        |
| 4.2.6.2     | Nemška standardizacija – po Razpisu .....                                     | 129        |
| 4.3         | Primerjava izračunov po TSC, nemških smernicah in z računalniškimi programi . | 130        |
| <b>5</b>    | <b>ZAKLJUČEK .....</b>  | <b>134</b> |
| <b>VIRI</b> | <b>.....</b>  | <b>137</b> |

## KAZALO PREGLEDNIC

|  |    |
|--|----|
| Preglednica 1: Obremenitve voziščnih konstrukcij in posledice (Žmavc, 2007) .....  | 10 |
| Preglednica 2: Mejne vrednosti dinamičnih modulov in dopustnih upogibnonateznih napetosti za asfaltne zmesi za vezane zgornje nosilne plasti v odvisnosti od temperature (Žmavc, 2007) ..... | 24 |
| Preglednica 3: Osnove za oceno uporabnosti vozišča pri AASHO testu (Žmavc, 2007) .....   | 28 |
| Preglednica 4: Prednosti in slabosti dimenzioniranja po TSC (Jurgele, 2012) .....  | 33 |
| Preglednica 5: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve (TSC 06.511:2009).....   | 36 |
| Preglednica 6: Minimalne potrebne debeline voziščnih konstrukcij $h_{min}$ (TSC 06.512:2003).....  | 39 |
| Preglednica 7: Informativni količniki ekvivalentnosti zmesi novih materialov (TSC 06.520:2009).....  | 40 |
| Preglednica 8: Informativne korelacije vrednosti nosilnosti za značilne materiale v podlagi/posteljici (TSC 06.520:2009) .....   | 42 |
| Preglednica 9: Minimalne debeline spodnje vezane nosilne plasti (TSC 06.520:2009) .....  | 44 |
| Preglednica 10: Tipske voziščne konstrukcije na maloprometnih cestah (TSC 03.325:2003) .....   | 50 |
| Preglednica 11: Razvrstitev gradbenih razredov (Standardisierter Oberbau mit Asphaltdecken für Fahrbahnen, 2006) .....   | 56 |
| Preglednica 12: Vrste cest in pripadajoči gradbeni razredi (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).....   | 59 |
| Preglednica 13: Primerne vrste asfaltnih plasti in kvaliteta glede na pričakovano obtežbo (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010) .....   | 60 |
| Preglednica 14: Primerna vrsta veziva in kvaliteta glede na pripadajočo obremenitev (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010) .....   | 61 |
| Preglednica 15: Razvrstitev gradbenih razredov na parkirnih površinah, ki so v občasni uporabi (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010) .....  | 62 |
| Preglednica 16: Razvrstitev gradbenih razredov na parkirnih površinah, ki se uporabljajo neprestano (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).....  | 62 |
| Preglednica 17: Standardizirane voziščne konstrukcije za dimenzioniranje parkirišč (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010) .....  | 63 |

|   |     |
|---|-----|
| Preglednica 18: Možne izvedbe voziščnih konstrukcij v IV razredu (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).....  | 65  |
| Preglednica 19: Možne izvedbe voziščnih konstrukcij v V razredu (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).....   | 66  |
| Preglednica 20: Možne izvedbe voziščnih konstrukcij v VI razredu (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).....  | 67  |
| Preglednica 21: Faktor ekvivalentnosti kategorije vozila (Blab, Hofko, 2012).....   | 69  |
| Preglednica 22: Faktor ekvivalentnosti kategorije ceste (Blab, Hofko, 2012) .....   | 70  |
| Preglednica 23: Razredi prometnih obremenitev za 20 letno življenjsko dobo (Wikipedia, 2012) .....  | 77  |
| Preglednica 24: Kvantiteta zmrzinske sprejemljivosti na površini zmrzljivo odpornega materiala (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003) ..... | 83  |
| Preglednica 25: Koeficient $A_n$ (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003) .....   | 83  |
| Preglednica 26: Vrste preveritev v pomembnejših računalniških programih (Henigman et al., 2011) .....   | 87  |
| Preglednica 27: Vpliv temperature in vlažnosti na elastične module posameznih plasti (Irwin) .....  | 94  |
| Preglednica 28: Obravnavana parkirišča.....   | 103 |
| Preglednica 29: Sestava plasti v primeru parkirišča za osebna vozila .....  | 105 |
| Preglednica 30: Uporabljene asfaltne zmesi, označene s splošno oznako in oznako uporabljeno v Razpisih.....   | 106 |
| Preglednica 31: Izračunane vrednosti normalne napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti .....   | 109 |
| Preglednica 32: Izračunane vrednosti normalnih napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti .....  | 109 |
| Preglednica 33: Izračunane vrednosti upogibnateznih napetosti na spodnjem robu asfaltne krovne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti.....                                       | 112 |
| Preglednica 34: Izračunane vrednosti upogibnateznih napetosti na spodnjem robu asfaltne krovne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti.....                                       | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| Preglednica 35: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov .....                                    | 113 |
| Preglednica 36: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov .....                                    | 114 |
| Preglednica 37: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (dejansko)   | 116 |
| Preglednica 38: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane V programu BISAR 3.0 (po Razpisu) .....   | 118 |
| Preglednica 39: Sestava voziščne konstrukcije na počivališču .....  | 120 |
| Preglednica 40: Izračunane vrednosti normalne napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti .....                   | 123 |
| Preglednica 41: Izračunane vrednosti $\sigma_{uns}$ napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti .....             | 125 |
| Preglednica 42: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov .....                                    | 126 |
| Preglednica 43: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov .....                                    | 126 |
| Preglednica 44: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane s pomočjo programa Bisar .....  | 128 |
| Preglednica 45: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane s pomočjo programa BISAR 3.0...   | 130 |
| Preglednica 46: Primerjava izračunov tlačnih napetosti na planumu nevezane nosilne plasti pod asfaltno krovno plastjo po Odemarku in programu BISAR 3.0 ..... | 131 |
| Preglednica 47: Primerjava dopustnih normalnih napetosti in izračunov s pomočjo Westergaarda .....  | 132 |

**KAZALO GRAFIKONOV**

|   |     |
|---|-----|
| Grafikon 1: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (dejansko) .....   | 115 |
| Grafikon 2: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (po Razpisu) .   | 117 |
| Grafikon 3: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 .....  | 128 |
| Grafikon 4: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane s pomočjo programa BISAR 3.0.....   | 129 |
| Grafikon 5: Razporeditev tlačnih napetosti po voziščni konstrukciji poleti v vseh 4 primerih, izračunanih s programom BISAR 3.0 ..... | 132 |



## KAZALO SLIK

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Parkirna mesta za osebne avtomobile, dostopna z ulice (levo) in počivališče (desno) (lasten vir).....  | 1  |
| Slika 2: Primer asfaltne voziščne konstrukcije v parkirni hiši (levo) in na prostem (desno) (Google, 2012).....   | 5  |
| Slika 3: Razlika med drenažnim in običajnim asfaltom na parkirišču v ZDA (Google, 2012)..   | 6  |
| Slika 4: Primer polpriklopnika, težkega avtobusa in kontejnerskega manipulatorja (Google, 2012).....  | 8  |
| Slika 5: Značilna utrditev sodobnega vozišča (TSC 06.300/06.410:2009) .....   | 9  |
| Slika 6: Razlika med statično obremenitvijo (diagrama levo) in dinamično obremenitvijo (diagrama desno) (Hribar, Žmavc, 2012) .....   | 11 |
| Slika 7: Potek vertikalnih in strižnih napetosti ob prehodu vozila (Stöckert, 2002) .....   | 12 |
| Slika 8: Razporeditev napetosti v voziščni konstrukciji (Hribar, Žmavc, 2012) .....   | 14 |
| Slika 9: Značilne napetosti pod krožno obremenilno ploskvijo – teorija polprostora po Boussinesqu (Stöckert, 2002) .....  | 16 |
| Slika 10: Pritiski na naležni površini pnevmatike – dejansko (levo) in z Boussinesq-ovo poenostavitvijo (desno) (Žmavc, 2007 in lasten vir).....                                | 16 |
| Slika 11: Večplastna teorija po Burmistru (Stöckert, 2002).....   | 18 |
| Slika 12: Potek napetosti pod krožno obremenilno ploskvijo v enoslojnim (Boussinesquovem) in dvoslojnim (Burmistrovem) modelu (Žmavc, 2007) .....                               | 19 |
| Slika 13: Osnove za pretvorbo večplastnega sistema v ekvivalentni polprostor po postopku po Odemarku (Žmavc, 2007).....   | 22 |
| Slika 14: Testno polje AASHO Road Testa v Ottawi, Illinois (Google, 2012) .....   | 25 |
| Slika 15: Mehanični profilograf (levo) in laser (desno) (Google, 2012).....   | 26 |
| Slika 16: Koleracijske vrednosti nosilnosti planuma podlage (levo) in nomogram za določitev debelinskega indeksa voziščne konstrukcije $D (p = 2,0)$ (desno) (Žmavc, 2007)..... | 28 |
| Slika 17: SHELL design charts za določitev dimenzij plasti materialov v voziščnih konstrukcijah (Žmavc, 2007).....  | 30 |
| Slika 18: Osnove za določitev dimenzij plasti materialov v voziščnih konstrukcijah po postopku TRRL (Žmavc, 2007).....  | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 19: Karta informativnih globin prodiranja mraza na področju Republike Slovenije (TSC 06.512:2003) .....   | 37 |
| Slika 20: Določitev potrebne debeline dodatne plasti kamnitega materiala za povečanje nosilnosti posteljice (Žmavc, 2007) .....   | 44 |
| Slika 21: Določitev potrebne debeline dodatne plasti nevezane zmesi kamnitih zrn za povečanje nosilnosti podlage (Žmavc, 2007) .....  | 45 |
| Slika 22: Diagram za določitev debeline asfaltne krovne plasti $d_k$ z upoštevanjem $a_i = 0,38$ (TSC 06.520:2009).....   | 46 |
| Slika 23: Diagram za določitev debeline spodnje nevezane plasti drobljenca $d_{sn}$ z upoštevanjem $a_i = 0,14$ (TSC 06.520:2009) .....   | 47 |
| Slika 24: Nomogram za določitev debelinskega indeksa voziščne konstrukcije $D$ ( $p = 2,0$ )..  | 48 |
| Slika 25: Predpisi, ki so v uporabi v nemški cestogradnji (Schäfer, 2008) .....   | 51 |
| Slika 26: Smernice za standardizacijo voziščnih konstrukcij na prometnih površinah (levo) in Smernice za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij z asfaltnimi obrabnimi plastmi (desno) (Jähnig, 2012)..... | 52 |
| Slika 27: Publikacija Razpisi asfaltnih del .....   | 53 |
| Slika 28: Standardizirani prerezi voziščnih konstrukcij brez vmesne nevezane nosilne plasti (zgoraj) in s 15 cm slojem (spodaj) (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010) .....                            | 54 |
| Slika 29: Primerjava med kategorijami obremenitev po TSC-jih in nemških specifikacijah..  | 58 |
| Slika 30: Primer možnih izvedb asfaltnih plasti za III razred obremenitev (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).....   | 64 |
| Slika 31: Temperaturne cone v Avstriji (Blab, Hojko, 2012) .....  | 70 |
| Slika 32: Primer standardiziranih voziščnih konstrukcij (Blab, Hojko, 2012) .....   | 72 |
| Slika 33: Katalog tipskih novogradenj voziščnih konstrukcij .....   | 74 |
| Slika 34: Koncept pristopa načrtovalca (Wikipedia, 2012) .....  | 75 |
| Slika 35: Primer ene izmed podanih tabel tipskih voziščnih konstrukcij (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003).....  | 76 |
| Slika 36: Razlika med kategorijami obremenitev po TSC-jih in francoskih specifikacijah....  | 78 |
| Slika 37: Stopnje zmrzlinke odpornosti (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003) .....   | 81 |

|   |     |
|---|-----|
| Slika 38: Vrednosti nagiba pri preskusu (Guide technologique pour l'utilisation des materiaux regionaux d'Ile-de-France, 2003).....                           | 81  |
| Slika 39: Primeri izvedb različno zmrzlinško odpornih materialov (Guide technologique pour l'utilisation des materiaux regionaux d'Ile-de-France, 2003) ..... | 82  |
| Slika 40: Vrednost $Q_g$ za primer 3, ko je $0 \leq h_p < 20$ cm (Guide technologique pour l'utilisation des materiaux regionaux d'Ile-de-France, 2003) ..... | 83  |
| Slika 41: Primer izračunov v računalniškem programu BISAR (Gould, 2007).....  | 89  |
| Slika 42: Vhodni podatki v programu BISAR 3.0.....  | 92  |
| Slika 43: Podajanje podatkov o prometnih obremenitvah (Kiehne, 2010).....   | 95  |
| Slika 44: Podajanje podatkov o legi voziščne konstrukcije (Kiehne, 2010) .....  | 95  |
| Slika 45: Pogostost pojavljanja določenih temperatur v Nemčiji, za katere so predpostavljene temperaturne krivulje (Wistuba, 2012).....                       | 96  |
| Slika 46: Temperaturne krivulje (Wistuba, 2012) .....   | 96  |
| Slika 47: Podajanje vhodnih podatkov o sestavi plasti voziščnih konstrukcij (Kiehne, 2010)  | 97  |
| Slika 48: Primer rezultata izračuna tlačnih napetosti po globini plasti glede na temperaturo (Kiehne, 2010).....  | 98  |
| Slika 49: Primer rezultata izračuna indeksa utrujanja (Jähnig et al.) .....   | 99  |
| Slika 50: Mehansko-empirični vodič načrtovanja voziščnih konstrukcij.....   | 101 |
| Slika 51: Parkirišče ob Kolodvorski cesti, Koper (Geopedia, 2012).....  | 104 |
| Slika 52: Prečni prerez voziščne konstrukcije po TSC.....   | 105 |
| Slika 53: Prečni prerez voziščne konstrukcije predviden po nemških smernicah.....   | 106 |
| Slika 54: Reprezentativni osebni avomobil s prikazano obremenitvijo na os.....  | 107 |
| Slika 55: Podatki za dejansko izvedeno parkirišče, uporabljeni v izračunu napetosti po Odemarku .....   | 108 |
| Slika 56: Podatki za parkirišče po nemški standardizaciji, uporabljeni v izračunu napetosti po Odemarku .....   | 109 |
| Slika 57: Podatki za dejansko izvedeno parkirišče, uporabljeni v izračunu napetosti po Westergaardu .....   | 110 |
| Slika 58: Podatki za parkirišče po nemški standardizaciji, uporabljeni v izračunu napetosti po Westergaardu .....   | 112 |
| Slika 59: Podatki za zimo in poletje za dejansko izvedeno parkirišče, uporabljeni v programu BISAR 3.0 .....  | 115 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Slika 60: Podatki za zimo in poletje voziščne konstrukcije po nemških smernicah, uporabljeni v programu BISAR 3.0 ..... | 116 |
| Slika 61: Počivališče Radovljica jug (Geopedia, 2012 in Google, 2012).....  | 119 |
| Slika 62: Tloris počivališča (Černigoj, 2011) .....   | 119 |
| Slika 63: Prečni prerez voziščne konstrukcije na parkirnem mestu za avtobuse .....                                      | 121 |
| Slika 64: Prečni prerez voziščne konstrukcije po nemških smernicah .....  | 122 |
| Slika 65: Razdalja med osema in obremenitev osi reprezentativnega avtobusa .....  | 122 |
| Slika 66: Podatki za izračun napetosti po Odemarku .....  | 123 |
| Slika 67: Podatki za izračun napetosti po Westergaardu .....  | 124 |
| Slika 68: Podatki za zimo in poletje, uporabljeni v programu BISAR 3.0 .....  | 127 |
| Slika 69: Podatki za zimo in poletje, uporabljeni v programu BISAR 3.0 .....  | 129 |

## KAZALO OZNAK

| <b>Oznaka</b> | <b>Pomen</b>  | <b>Prevod</b>  |
|---------------|---|--|
| AASHTO        | American Association of State<br>Highway and Transportation Officials | Ameriško združenje za<br>državne avtoceste in<br>transport         |
| <i>ADT</i>    | Average Daily Traffic   | Povprečni dnevni promet  |
| <i>CBR</i>    | California Bearing Ratio  | Kalifornijski indeks<br>nosilnosti                                 |
| DAV           | Deutcher Asphaltverband   | Nemško združenje za asfalt   |
| <i>E</i>      | Young's Modul   | Youngov modul<br>elastičnosti                                      |
| <i>ESAL</i>   | Equivalent Single Axle Load   | Ekvivalentna osna<br>obremenitev                                   |
| LCPC          | Laboratoire central des ponts et<br>chaussées                         | Laboratorij za mostove in<br>ceste                                 |
| ME-PDG        | Mechanistic-Empirical Pavement<br>Design Guide                        | Analitično-empirični vodič<br>načrtovanja voziščnih<br>konstrukcij |
| NCHRP         | National Cooperative Highway<br>Research Program                      | Nacionalni kooperativni<br>plan za avtoceste                       |
| NOO           | Nominalne osne obremenitve  | -  |

|             |  |  |
|-------------|--|--|
| OECD        | Organization for Economic<br>Co-operation and Development                                  | Organizacija za<br>gospodarsko sodelovanje in<br>razvoj  |
| PaDesTo     | Pavement Design Tool   | Pripomoček načrtovanja<br>voziščnih konstrukcij  |
| <i>PLDP</i> | Povprečni letni dnevni promet  | -  |
| Razpisi     | Ausschreiben von Asphaltarbeiten   | Razpisi asfalterskih del   |
| RStO 01     | Richtlinien für die Standardisierung des<br>Oberbaues von Verkehrsflächen,<br>Ausgabe 2001 | Smernice za standardizacijo<br>voziščnih konstrukcij na<br>prometnih površinah, izdaja<br>2001 |
| SETRA       | Service d'etudes techniques des<br>routes et autoroutes                                    | Oddelek za tehnične študije<br>cest in avtocest  |
| SPDM        | Shell Pavement Design Manual   | Shellov priročnik<br>načrtovanja voziščnih<br>konstrukcij                                      |
| TRRL        | Transport and Road Research<br>Laboratory<br>Guide for Design of Pavement<br>Structures    | Laboratorij za preučevanje<br>prometa in cest<br>Vodič načrtovanja<br>voziščnih konstrukcij    |
| TSC         | Tehnične specifikacije za ceste  | -  |

## 1 UVOD

Skoraj 90 % cest v Sloveniji je prekritih z asfaltom, v Nemčiji pa ta delež znaša samo na avtocestah 70 % v primerjavi z betonskimi. Asfalt je nosilen, trajen in vodoodporen, termoviskozen material, lahek za vzdrževanje in popravilo, z nizko bleščavostjo ter zagotavlja dober kontrast cestni označevalni barvi. Zaradi navedenih lastnosti in njegove nižje cene v primerjavi z betonskimi vozišči se zanj pogosteje odloča pri prekrivanju voznih in parkirnih površin namenjenih parkiranju tako osebnim avtomobilom, kot tudi težkim tovornjakom.



Slika 1: Parkirna mesta za osebne avtomobile, dostopna z ulice (levo) in počivališče (desno)  
(lasten vir)

Parkirišča se lahko razdelijo po velikosti na manjša z obsegom nekaj parkirnih mest pa vse do velikih, ki zajemajo npr. območja nakupovalnih središč, logističnih centrov, itd. ter obsegajo površine tudi več 1000 m<sup>2</sup>. Manjša parkirišča so poleg primera nekaj parkirnih mest pred trgovino ali poslovnim objektom lahko izvedena tudi za privatno uporabo na dvorišču stanovanjskih objektov. Običajno se do njih dostopa z dovozne poti ali ulice. Večja parkirišča pa sestavlja več delov površin. Eden od sklopov je namenjen dovozu vozil do parkirnih mest, drugi sklop je območje s parkirnimi mesti, tretji površine za pešce, itd. Na njih se zaradi različnih velikosti obremenitev lahko uporablja različne dimenzije plasti. V primeru, da

parkirišče uporabljajo težja vozila, za obremenitve katerih voziščne konstrukcije niso bile projektirane, se lahko poškodujejo že pred dopolnjeno načrtovano življenjsko dobo.

Diplomska naloga nudi pregled pripomočkov, ki so na razpolago (empirični postopki, standardizirani tipski prerezi voziščnih konstrukcij, računalniški programi) za dimenzioniranje asfaltnih voziščnih konstrukcij in kateri izmed teh so definirani tudi za uporabo pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah.

V različnih evropskih državah (npr. Nemčiji, Avstriji in Franciji) obstajajo različni predpisi, smernice in standardizirani postopki za določitev dimenzij voziščnih konstrukcij. Vsaka od teh držav ima specifično načrtovanje, prilagojeno svojemu podnebjju in materialom, ki so v splošni uporabi. V Sloveniji se uporabljajo Tehnične specifikacije za ceste (v nadaljevanju TSC), ki so namenjene predvsem načrtovanju voziščnih konstrukcij na dinamično obremenjenih kategoriziranih cestah. Nikjer pa ni omenjeno, kako se dimenzionira voziščne konstrukcije na parkirnih mestih, kjer nastopa predvsem statična obremenitev. Od obravnavanih standardiziranih metod so le v publikaciji Nemškega združenja za asfalt (oziroma Deutcher Asphaltverband (v nadaljevanju DAV)) z naslovom Razpisi asfaltnih del (oziroma Ausschreiben von Asphaltarbeiten (v nadaljevanju Razpisi)) podane standardizirane konstrukcije za različno obremenjena parkirišča (loči tri možnosti: parkirišča za lahek promet, za lahek promet z majhnim deležem težjega in parkirišča za težak promet). Od leta 2011 pa se za posebne obremenitve uporablja pri dimenzioniranju samo analitične postopke.

Obstaja veliko število analitičnih računalniških programov, ki so samo orodja, ki so inženirju v pomoč pri oceni obnašanja voziščne konstrukcije in napovedujejo verjetnost pojava posameznih vrst poškodb (vzdolžne, prečne in/ali mrežaste razpoke, kolesnice, deformacije). Pri uporabi teh programov se je potrebno zavedati, da vse analize in rezultati temeljijo na točnosti vhodnih podatkov in časovno odvisnih modulov (npr. prometa, temperature, spreminjanja togosti materialov), ki pa jih je marsikdaj težko napovedati oziroma jih ni na voljo. Izbira primerne programa je pomembna za pridobitev čimbolj realnih rezultatov. Veliko število novejših programov se uporablja predvsem za računanje konstrukcij na različnih kategorijah cest in v njih se upošteva dinamično obremenjevanje ter se podaja



vrednosti PLDP. Pri dimenzioniranju parkirišč pa PLDP ni pomemben podatek. Izračunati je potrebno obnašanje konstrukcije pri statični obtežbi.

Na koncu te naloge sta obravnavana dva primera parkirišč. Prvo je namenjeno parkiranju osebnih avtomobilov, drugo pa je počivališče na katerem so med drugim tudi parkirna mesta, namenjena avtobusom. V programu BISAR, ki temelji na analitičnih postopkih za izračun napetosti, deformacij in posedkov pod statičnimi krožnimi obremenitvami, so bile iz vrednotene napetosti v različnih točkah po globini plasti za primere obeh parkirišč z dimenzijami iz dajansko izvedenega projekta in predpostavljenima standardiziranima voziščnima konstrukcijama po nemških smernicah. Program omogoča hitrejše preračunavanje izhodnih podatkov v elastičnem večplastnem sistemu, kot v primeru uporabe teoretičnih metod (npr. Odemark, Westergaard). Vrednosti teh napetosti morajo biti manjše od nosilnosti, da je konstrukcija stabilna.

## 2 DELITEV PARKIRNIH POVRŠIN

Parkirne prometne površine so individualno, kot tudi v sklopu gradbenega kompleksa prvi in zadnji vtis, ki ga uporabnik zazna. Je prehod, skozi katerega prehajajo stranke, obiskovalci in zaposleni. Prvi vtis je izrednega pomena za dobro počutje in atmosfero, ki jo izžareva ta vrsta objekta uporabniku. Investitor in lastnik zemljišča si želita, da objekt izgleda privlačno, je dobro projektiran in funkcionalen. Veliko časa v okviru načrtovanja zgradbe je posvečenega zasnovanju estetične dovršenosti, medtem ko je ta premislek pri načrtovanju dimenzij plasti parkirnih površin prezrt. Voziščne konstrukcije na področju parkirnih površin lahko ravno zaradi premajhne pozornosti pri dimenzioniranju doživijo hude poškodbe in povzročijo probleme pri njihovem vzdrževanju, kar vodi v njihovo krajšo življenjsko dobo. Z izbiro ustreznih vrst materialov za asfaltno voziščno konstrukcijo se lahko glede na namen uporabe zagotovi ustrezno in privlačno površino. Če so parkirna območja pravilno načrtovana in izvedena, so na pogled lahko zelo privlačen del kompleksa, ki je hkrati tudi varen in, najpomembneje, kar se da uporaben. V skladu z navedenim je bolj smiselna delitev asfaltnih površin glede na namen uporabe, ki je pogojen predvsem z velikostjo obremenitev, ki bodo vplivale na konstrukcijo, ne pa na mesta izpostavljenosti, kjer se le-te nahajajo (npr. za odprta parkirišča na prostem in pokrita parkirišča oziroma podzemne garaže).

### 2.1 Delitev glede na izpostavljenost atmosferskim vplivom

V grobem se delijo parkirne površine glede na izpostavljenost atmosferskim vplivom na:

- površine, ki se nahajajo na prostem in so potemtakem bodisi stalno bodisi deloma izpostavljene atmosferskim vplivom, ki jih mora projektant obvezno upoštevati pri izvedbi dimenzioniranja kot vrsto obremenitev, ki v življenjski dobi vplivajo na trajnost konstrukcije ter

- druge parkirne površine, ki so zaprtega tipa in niso izpostavljene zunanjim vremenskim vplivom (npr. podzemne in parkirne garažne hiše) (Henigman at al., 2011).

V okviru te diplomske naloge bodo obravnavane le asfaltne parkirne površine na prostem. Na njih so mnogo bolj opazni klimatski in reološki učinki, kot v primeru takšnih površin izvedenih v notranjosti garažnih hiš.



Slika 2: Primer asfaltno voziščne konstrukcije v parkirni hiši (levo) in na prostem (desno)  
 (Google, 2012)

## 2.2 Delitev glede na namen uporabe

Glede na namen uporabe različne dežele postavljajo različne zahteve.

V nemško govorečih deželah se za krovne plasti asfalta ne parkirnih površinah uporabljajo valjani in liti asfalt (MA). S prvim nazivom se označujejo vse asfaltne zmesi, ki vsebujejo v zmesi toliko preostalih votlin, da je tudi pri najvišji stopnji zgostitve zagotovljen prostor pri visoki temperaturi za potreben umik bitumenskega veziva. Te zmesi je potrebno primerno razprostreti s finišejem s sposobnostjo primerne predzgostitve in jih nato dokončno zgostiti s pomočjo ustreznih valjarjev. V litem asfaltu pa so praktično vse votline zapolnjene z

bitumenskim mastiksom, zato so pri visokih temperaturah te asfaltne zmesi tekoče in jih pri vgrajevanju ni treba zgoščevati.

V centralnih ameriških državah (npr. Kolorado in Oklahoma) je investitorjem v interesu direktno odvodnjavanje padavinskih voda s parkirne površine, zato so njihova Združenja za asfaltna vozišča (oziroma Asphalt Pavement Association (APA)) izdala napotke za načrtovanje in izvedbo obrabnih plasti voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah z drenažnim asfaltom.



Slika 3: Razlika med drenažnim in običajnim asfaltom na parkirišču v ZDA (Google, 2012)

Posebno skupino predstavljajo velika trgovska podjetja in trgovski centri v vlogi naročnika projekta oziroma investitorja, ki želijo, da je vozna površina pred njihovimi trgovskimi centri kar se da estetska in predvsem ravna, saj se samo na tak način zagotavlja nemoteno premikanje nakupovalnih vozil, s tem pa se povečuje zadovoljstvo kupcev, ki se raje vračajo. Poleg ustrezne ravnosti morajo omenjene asfaltne površine na parkiriščih izkazovati zadostno stabilnost in togost, da za seboj ne puščajo sledov poškodb v obliki kolesnic ali izletavanja grobih kamnitih zrn, ki nastanejo kot posledica bodisi napačne izbire bitumenskega veziva ali sestave asfaltne zmesi, napačnega (ne)upoštevanja vseh obremenitev (klimatskih in prometnih), ki delujejo na konstrukcijo ter pomanjkljivega vgrajevanja asfaltne zmesi. Eden največjih minusov pri nas v Sloveniji je vsekakor pomanjkljiva tehnična regulativa za to področje.

### **2.3 Delitev glede na obremenitev**

Glede na trenutno stanje stroke na področju projektiranja asfaltnih zmesi na parkirnih površinah in tujo tehnično literaturo se lahko v grobem opredeli razdelitev asfaltnih zmesi:

- za malo obremenjene parkirne površine
- za srednje težko obremenjene parkirne površine ter
- za zelo obremenjene parkirne površine (Henigman at al., 2011).

Skoraj vsaka evropska država ima za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij svoja določila, ki jih morajo projektanti upoštevati. V Sloveniji zaenkrat veljajo TSC-ji, ki ne vsebujejo posebnih listov s priporočili za dimenzioniranje asfaltnih parkirnih površin. Ne obstajajo niti kakršnekoli druge smernice, ki podajajo navodila, na katera bi se projektant lahko skliceval in bi mu bila v veliko pomoč pri njegovem delu.

#### **2.3.1 Asfaltne zmesi za malo obremenjene parkirne površine**

V grobem je v ta sklop mogoče uvrstiti vse parkirne površine, ki so podvržene manjšim prometnim obremenitvam. Sem sodijo vse asfaltne parkirne površine, ki so namenjene predvsem in izključno parkiranju osebnih avtomobilov (tudi privatna parkirišča in dovozi).

V Sloveniji se v tem primeru lahko uporablja tehnično specifikacijo za javne ceste TSC 03.325:2003 – Maloprometne ceste, ki podaja posebne pogoje za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje prometno malo obremenjenih cest v naši državi (Henigman at al., 2011).

Potek načrtovanja voziščnih konstrukcij za maloprometne ceste je opisan pod točko 3.2.4.6.

### **2.3.2 Asfaltne zmesi za parkirne površine namenjene pogosti obremenitvi z osebnimi in dostavnimi vozili in majhnim številom tovornih vozil**

V ta razred spadajo predvsem večja nakupovalna središča in trgovski centri, kjer je velika pogostost obremenitev z osebnimi vozili ter redka (občasna) obremenitev parkirnih površin z dostavnimi vozili in majhnim številom težkih tovornih vozil.

### **2.3.3 Asfaltne zmesi za površine za težka tovorna vozila v logističnih centrih in za industrijske površine**

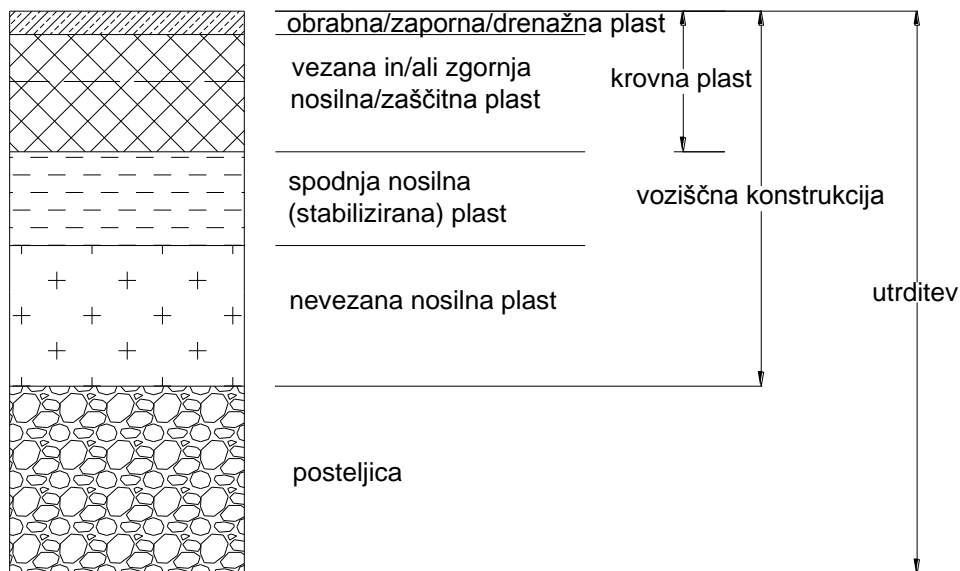
Kot je že v naslovu tega razdelka omenjeno, so to površine namenjene težkim tovornim vozilom v logističnih centrih in na industrijskih površinah. Poseben primer je tudi v luki Koper, kjer se za prevažanje kontejnerjev na kontejnerskem terminalu uporablja poseben kontejnerski manipulator.



Slika 4: Primer polpriklopnika, težkega avtobusa in kontejnerskega manipulatorja (Google, 2012)

### 3 NAČRTOVANJE VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ

V cestogradbeni praksi so se uveljevale predvsem naslednje osnovne vrste vozišč: makadamska, tlakovana, asfaltna in cementnobetonska. Sodobni promet zahteva primerne vozne površine, to pa so asfaltne ali cementnobetonske.



Slika 5: Značilna utrditev sodobnega vozišča (TSC 06.300/06.410:2009)

Obremenitve, ki so jim izpostavljene voziščne konstrukcije, napetosti, ki jih obremenitve povzročijo, in posledice so opredeljene v preglednici 1.

Asfaltne plasti voziščnih konstrukcij so sestavljene iz termoviskoznega materiala in so temperaturno občutljive. S temperaturo se spreminja togost. Pri temperaturi pod + 20 °C je razpokanje glavni porušni kriterij, pod temperaturo + 2,5 °C pa so z dodatno temperaturno induciranimi napetostmi povečane možnosti razpokanja. Ko se temperatura dvigne nad + 35 °C, padajoča togost poveča možnost nastanka trajnih deformacij (kolesnic) (Jähnig et al.).

Preglednica 1: Obremenitve voziščnih konstrukcij in posledice (Žmavc, 2007)

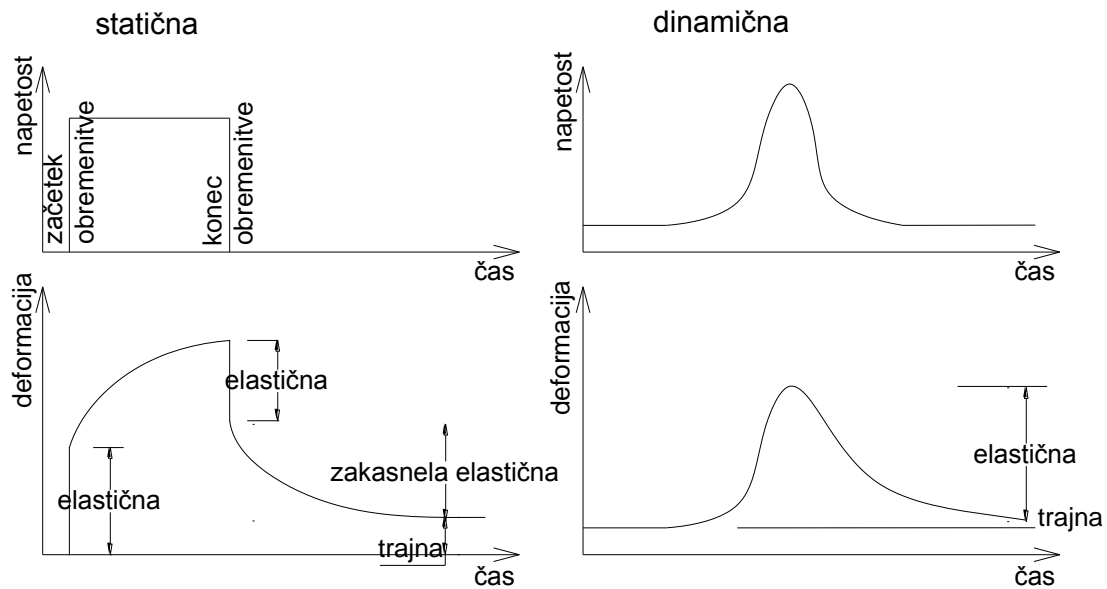
| Vrsta obremenitve   | Izzvana napetost               | Oblika posledice   |
|---|--------------------------------|--|
| <b>Promet:</b><br>– navpična      statična<br>kolesna obremenitev<br>– navpična      in<br>vodoravna dinamična<br>kolesna obremenitev | tlačna<br><br>natezna, potisna | trajno preoblikovanje<br><br>obraba,<br>zglajenost, natezne razpoke,<br>mrežaste razpoke |
| <b>Vreme:</b><br>– temperatura<br>– voda<br>– zrak<br>– čas (trajanje)  | v mikroobsegu                  | preoblikovanje in razpoke<br>zaradi zmrzali,<br>staranje veziva                          |

Sile, ki jih povzročajo pnevmatike, so sestavljene iz konstantnih in dinamičnih komponent. Glede na poročilo Organizacije za gospodarsko sodelovanje in razvoj (oziroma Organization for Economic Co-operation and Development (EOCD)) iz leta 1992 se obremenitve pnevmatik delijo na:

- statične obremenitve (mirovanje)
- kvazi-statične obremenitve (vozno statično, konstantno gibanje) in
- dinamične obremenitve (pospešeno gibanje) (Stöckert, 2002).

Predpostavlja se, da se statične obremenitve pojavljajo na parkirnih mestih, medtem, ko je dovozna pot do njih obremenjena s kvazistatično obremenitvijo, v določenih primerih tudi z dinamično (posebej pogosta na avtocestah). Pri prehodu vozila čez referenčno točko oziroma ob ustavljenem vozilu tik nad referenčno točko se znotraj sistema voziščne konstrukcije razvijejo različne napetosti in deformacije. V splošnem pa veljajo na sliki 6 prikazani diagrami za primer statične (diagrama levo) in dinamične obremenitve (diagrama desno).

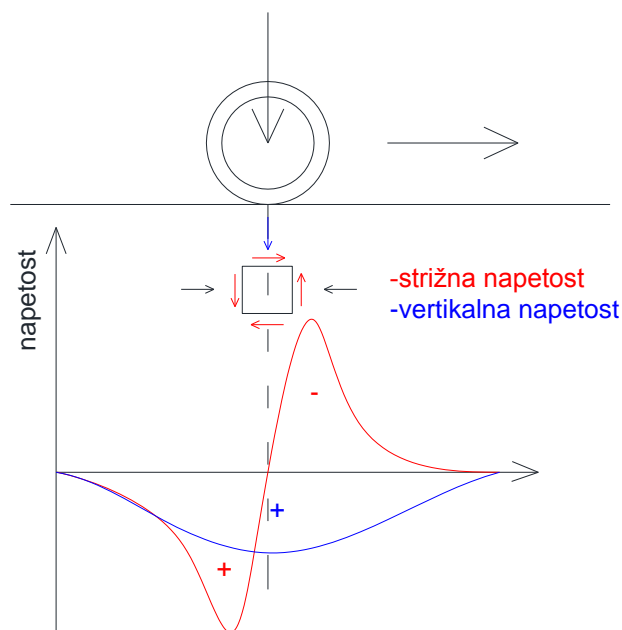




Slika 6: Razlika med statično obremenitvijo (diagrama levo) in dinamično obremenitvijo (diagrama desno) (Hribar, Žmavc, 2012)

Dinamične obremenitve nastajajo predvsem na kategoriziranih cestah, lahko pa tudi na dovoznih poteh do parkirnih mest. Napetost ob prehodu vozila v referenčni točki strmo naraste in se tudi hitro povrne v stanje pred obremenitvijo. Deformacija ob obremenitvi hipno naraste, po prehodu vozila pa se počasneje kot napetostna krivulja približuje stanju pred obremenitvijo. Ne pride do povsem enakega deformacijskega stanja, kot je bilo pred obremenitvijo, saj se ohrani del trajnih deformacij.

Pri dinamičnem prehodu se pri približevanju vozila referenčni točki najprej povečajo strižne napetosti (slika 7). V trenutku, ko je pnevmatika vozila tik nad referenčno točko (v središču polmera krožne obremenitve), je strižna napetost enaka 0, vertikalna napetost pa maksimalna. Slednja se v trenutku, ko pnevmatika začne zapuščati referenčno točko, začne zmanjševati, narašča pa strižna napetost. Tokrat je orientirana v nasprotno smer kot v primeru, ko se je pnevmatika približevala referenčni točki.



Slika 7: Potek vertikalnih in strižnih napetosti ob prehodu vozila (Stöckert, 2002)

Ob nanosu vertikalne statične obremenitve se povečajo vertikalne in radialne napetosti (diagram levo zgoraj na sliki 6). Predpostavlja se, da je obremenitev statična v trenutku, ko se vozilo s svojo pnevmatiko ustavi tik nad referenčno točko parkirnega mesta. Deformacija, ki ob tem nastane je elastična (diagram levo spodaj na sliki 6). V času od nanosa obremenitve do razbremenitve se deformacija povečuje in opiše krivuljo kvadratne parabole. Sočasno z razbremenitvijo se deformacija v trenutku zmanjša za vrednost elastične deformacije, medtem ko se del zakasnele elastične deformacije postopno zmanjšuje še določen čas po razbremenitvi, del deformacije pa se ohrani, torej voziščna konstrukcija zaradi statične obremenitve ostane trajno deformirana. Da je statični model sploh mogoče zasnovati, je treba uvesti določene poenostavitve. V praksi se lahko zgodi, da takoj po razbremenitvi parkirno mesto zasede drugo vozilo, vendar pa se legi medosnih razdalj dveh znamk vozil razlikujeta, torej pnevmatike ne zavzamejo istih točk kot so jih pnevmatike predhodnega vozila. Poleg tega dva voznika ne parkirata svojega vozila vedno na točno določen del parkirnega mesta (npr. povsem na sredino). Ta lega je odvisna od izkušenosti in razpoloženja voznika. Najbolj

neugoden primer je, ko bi bilo reprezentativno vozilo vedno parkirano nad istimi točkami in trajno, kar bo prva predpostavka pri snovanju statičnega modela vozila na parkirnem mestu.

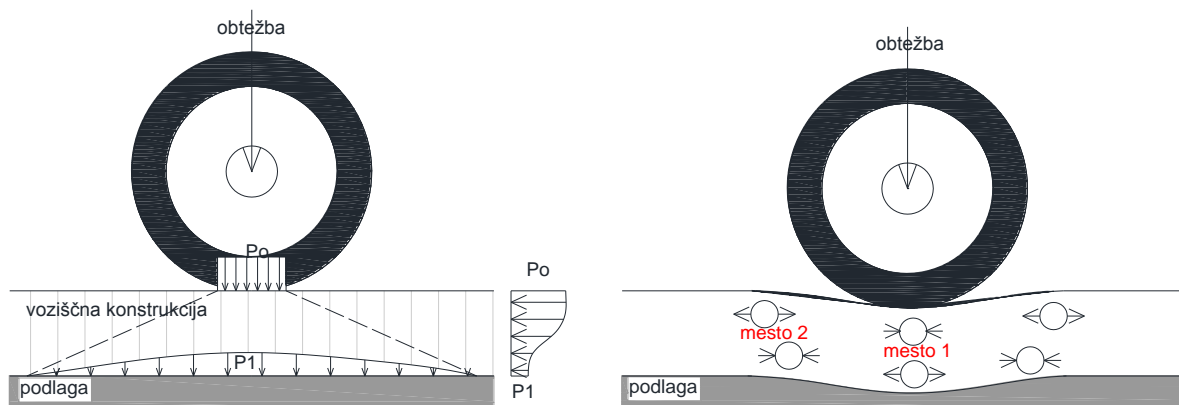
V mehanističnih (analitičnih) metodah, ki bodo opisane v nadaljevanju in se uporabljajo v analizah plasti voziščnih konstrukcij pod prometno obtežbo, se privzame osnovne predpostavke elastične teorije plasti:

- površina je obremenjena s krožno obtežbo
- vertikalna napetost na stikih plasti je kontinuirana (enaka v zgornji in spodnji plasti)
- horizontalna deformacija je kontinuirna na stiku med plastmi (ne drsi)
- plasti se horizontalno širijo v neskončnost
- podlaga sega na eni strani v neskončnost ter
- za materiale se predpostavi, da so homogeni, izotropni in linearno elastični (Irwin).

Na parkirnih mestih nastopa predvsem vertikalna statična kolesna obremenitev, ki povzroča vertikalne, tangencialne in radialne napetosti zaradi vertikalne obtežbe ter v primeru trajnih visokih napetosti trajno preoblikovanje voziščne konstrukcije. Vertikalne napetosti zaradi vertikalne obtežbe so največje tik pod pnevmatiko in padajo z globino, tako da dosežejo na planumu temeljnih tal vrednost, ki je lahko za več kot 100-krat nižja od napetosti na vozni površini. Prerazporedijo se na širšo ploskev, zato podlaga prevzame manjše tlačne napetosti, kot jih mora prevzeti krovna plast (slika 8 levo). Radialne in tangencialne napetosti dosežejo maksimalno vrednost na prehodu iz krovne v nevezano nosilno plast.

V centru predpostavljene krožne obtežbe v globini tik pod površino temeljnih tal zrna materiala pritiskajo eno ob drugo, zato so vrednosti tangencialnih napetosti negativne (slika 8 desno, mesto 1). Posebno mesto predstavljajo stiki med plastema z bistveno drugačnima moduloma elastičnosti. V primeru popolne adhezije asfaltnih plasti se največje vrednosti nateznih napetosti pojavljajo na dnu asfaltne vezne nosilne plasti (8 desno, mesto 2) (Jähnig et al.).

Na vrhu nevezane nosilne plasti so tangencialne napetosti negativne in naraščajo do dna te plasti, kjer zopet pride do majhnih nateznih napetosti.



Slika 8: Razporeditev napetosti v voziščni konstrukciji (Hribar, Žmavc, 2012)

Uporaba večplastne elastične teorije v povezavi s statično obremenitvijo je razumski pristop, ki se lahko primerja s starejšimi empiričnimi metodami načrtovanja. V realnih situacijah se heterogene plasti voziščnih konstrukcij obnašajo drugače, kot je privzeto v teh idealnih pogojih in so v primeru parkirišč izpostavljene tudi redkejšim dinamičnim in cikličnim obtežbam.

Osnovni namen načrtovanja voziščnih konstrukcij je združiti različne plasti materialov, ki so proizvedeni tako, da je zgrajena voziščna konstrukcija sposobna določen čas prevzeti predvidene obremenitve. Pri načrtovanju voziščnih konstrukcij je treba upoštevati, da se jih ne da natančno izračunati. Vzrok za to je predvsem v razpoložljivih materialih, ki jih po kakovosti ni mogoče natančno razvrstiti v skupine z enakimi lastnostmi niti pred niti po predelavi. Bistvene značilnosti večine cestogradbenih materialov, npr. trajna enakomernost, istovrstnost in enake lastnosti, so samo domnevane in se jih lahko le izjemoma v celoti tudi preverja. Tudi obremenitve, tako glede velikosti kot tudi razporeditve na vozni površini, se lahko določijo samo približno.

Za načrtovanje voziščnih konstrukcij so poznane tri osnovne vrste postopkov:

- teoretični (statični oziroma analitični)
- empirični in

- standardizirani.

Odkar so na razpolago različni računalniški programi za določanje in preverjanje voziščnih konstrukcij, se uporablja kombinirane postopke: z empiričnim postopkom ali na osnovi standardizirane sestave določeno voziščno konstrukcijo se s teoretičnim postopkom preveri napetosti v predvidenih oziroma danih pogojih uporabe.

### **3.1 Teoretični postopki**

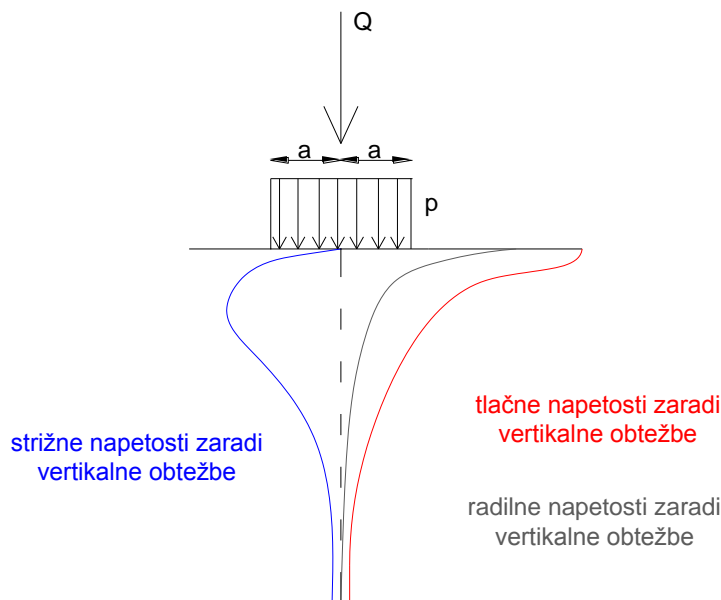
V pretežni meri so teoretični postopki zasnovani za statično obremenitev. Zanje je značilen intenziven razvoj dograjevanja osnov, potrebnih za izračun napetosti in deformacij v voziščno konstrukcijo vgrajenih materialov. Posamezni raziskovalci so uvedli določene predpostavke.

#### **3.1.1 Elastičen izotropen polprostor**

Enačbe za izračun napetosti, deformacij in usedkov v homogenem, izotropnem, linearno elastičnem polprostoru je leta 1885 razvil Boussinesq.

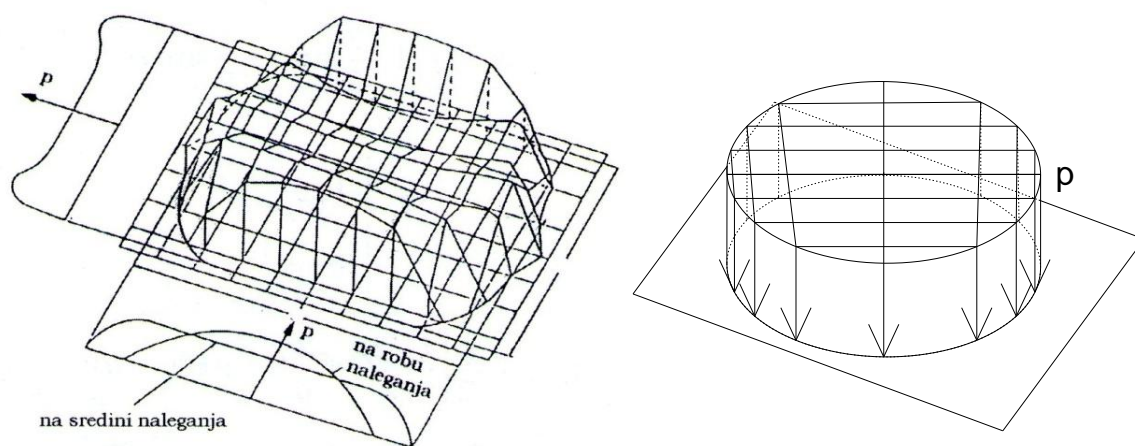
Predpostavke, ki so upoštevane v enačbah od (en. 1) do (en. 5):

- obtežba kolesa vozila se enakomerno razdeli na krožno obremenilno ploskev in
- krožna obremenilna ploskev leži na površini homogenega, elastičnega, izotropnega polprostora.



Slika 9: Značilne napetosti pod krožno obremenilno ploskvijo – teorija polprostora po Boussinesqu (Stöckert, 2002)

Enakomerna obremenitev na naležni površini  $p$  bi bila enaka inflacijskemu pritisku v pnevmatiki  $p_i$ , če ne bi bil upoštevan količnik togosti pnevmatike  $k_t$ , ki znaša približno 1,1 do 1,4.



Slika 10: Pritiski na naležni površini pnevmatike – dejansko (levo) in z Boussinesq-ovo poenostavitvijo (desno) (Žmavc, 2007 in lasten vir)

Dejansko nastopijo na robu naležne površine pnevmatike večje obremenitve, ki povzročijo večje napetosti, kot na sredini (slika 10). Obtežbo kolesa vozila se lahko poenostavljeno opiše s krožno obremenilno ploskvijo z vmesno vrednostjo med obremenitvijo na robu in v centru obremenitve pnevmatike. Sicer se bodo izračunane napetosti razlikovale od dejanskih, vendar so dober približek. Ploskev, ki jo opiše naležna površina pnevmatike je dober približek krogu, zato je predpostavka o krožni obremenilni ploskvi povsem ustrezna.

Te enačbe so:

- enačbe za izračun normalnih napetosti  $\sigma_z$ :

$$\sigma_z = p \left[ 1 - \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} \right] \quad (\text{en. 1})^1$$

- enačbe za izračun normalnih napetosti v radialni smeri  $\sigma_r = \sigma_x = \sigma_y$ :

$$\sigma_r = \frac{p}{2} \left[ (1 + 2\mu) - \frac{2(1+\mu)z}{(a^2+z^2)^{1/2}} + \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} \right] \quad (\text{en. 2})$$

- enačbe za izračun tangencialnih napetosti  $\tau_z$ :

$$\tau_z = \frac{1}{2} (\sigma_z - \sigma_r) \quad (\text{en. 3})$$

oziroma  $\tau_{z \max}$ :

$$\tau_{z \max} = \frac{p}{2} \left[ \frac{1-2\mu}{2} + \frac{2}{g} (1 + \mu)(2(1 + \mu))^{1/2} \right] \quad (\text{en. 4})$$

Napetosti v polprostoru so neodvisne od elastičnega modula.

K Boussinesq-ovi teoriji spadajo tudi enačbe za izračun usedka v vseh točkah polprostora. Za izračun usedka  $s$  pod središčem krožne obremenilne ploskve je podana naslednja enačba:

$$s = \frac{2(1-\mu^2)p \cdot a}{E} \quad (\text{en. 5})$$

Napetosti v elastičnem izotropnem polprostoru s poljubno vertikalno (stopnočasto, krožno, pravokotno) s konstantno ali spremenljivo površinsko obremenitvijo se izračuna z integracijo.

---

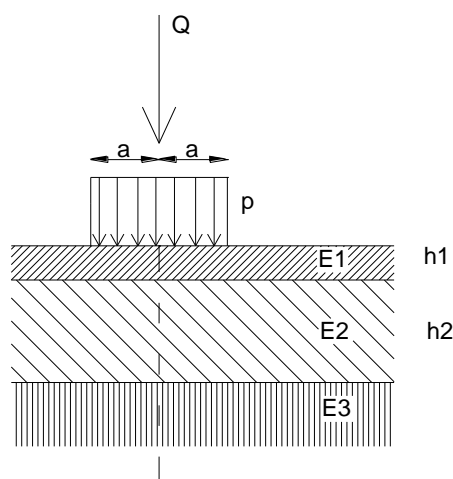
<sup>1</sup> Enačbe z oznakami od (en. 1) do (en. 14) so povzete po Žmavc, 2007.

### 3.1.2 Večplastna teorija

Sistem je sestavljen iz ene ali več elastičnih plasti na elastičnem polprostoru. V sistemu je treba razlikovati med trdno in breztrejnjsko povezanimi plastmi, ki ležijo ena na drugi. Predpostavke, ki so uvedene v večplastni teoriji so naslednje:

- vse plasti voziščne konstrukcije so homogene, izotropne, linearnoelastične, brez teže in horizontalno segajo v neskončnost in
- na elastičnem polprostoru ležijo ena ali več plasti, ki imajo vsaka svoje materialne konstante (modul elastičnosti in Poissonova števila).

Burmister je leta 1945 predstavil enačbe za izračun napetosti in premikov v dvoplastnem sistemu obremenjenem z vertikalno enakomerno krožno obtežbo. Postopek temelji na teoriji elastičnosti dvoslojnega sistema, ki ga je izdal pod naslovom Osnovna teorija napetosti in deformacij v plastnih sistemih (oziroma General theory of stresses and displacements in layered systems).



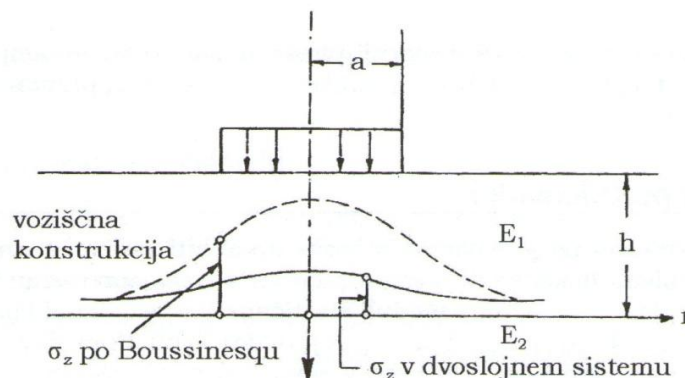
Slika 11: Večplastna teorija po Burmistru (Stöckert, 2002)

Voziščna konstrukcija je upoštevana kot zgornja plast v dvoplastnem sistemu, ki ima bistveno večji modul elastičnosti ( $E_1$ ) od spodnje plasti ( $E_2$ ), to je posteljice. Po tem postopku ugotovljene normalne napetosti na mejni ploskvi med obema plastema so znatno manjše, kot



bi bile v enaki globini v primeru, če voziščne konstrukcije kot kvalitetnejše plasti ne bi upoštevali, kot je to v postopku po Boussinesqu (slika 12).

Zmanjšanje napetosti je tem večje, čim večja je razlika v moduli elastičnosti materialov obeh plasti in čim večja je debelina zgornje plasti. Pri razmerju modulov  $E_1 : E_2 = 10$  in debelini zgornje plasti  $h = 2a$  se zmanjša normalna napetost na planumu spodnje plasti na približno 30%, pri razmerju  $E_1 : E_2 = 100$  pa na približno 10% vrednosti, izvednotene po postopku po Boussinesqu oziroma teoriji elastičnega izotropnega polprostora (Žmavc, 2007).



Slika 12: Potek napetosti pod krožno obremenilno ploskvijo v enoslojnjem (Boussinesquovem) in dvoslojnjem (Burmistrovem) modelu (Žmavc, 2007)

Za radialne upogibne napetosti velja, da imajo na obeh straneh mejne plasti različne vrednosti. S pomočjo razvitih enačb se lahko izračuna usedke v obremenjenih točkah. Predstavil je krivulje za razmerja elastičnih modulov  $E_2/E_1$ , odvisna od razmerja debeline plasti do polmera obremenitve in faktorja usedanja. S pomočjo tega prikaza se lahko razbere faktor usedanja in se uporabi za izračun usedanja. Izračunan usedek predstavlja presojevalni kriterij za obremenjevanje cestne utrditve. Kasneje je Burmister razvil enačbe za trislojni sistem z uporabo zapletenega integrala, ki se lahko razvija le ob pomoči napredne računalniške tehnologije. Večplastna teorija omogoča v praksi večinoma dovolj natančne rezultate in učinkuje v teoretično-računski povezavi (Dähnert, 2005).

Burmistrov postopek je podal osnovo za veliko število prvih računalniških programov za računanje napetosti, deformacij in posedkov (npr. BISAR, ELSYM 5 in CIRCLY). Napetosti in deformacije, izračunane s pomočjo teh programov se ne preverjajo s porušnim kriterijem (Hadi, Bodhinayake, 2003).

### 3.1.3 Elastična plošča

Za izračune na robu in v vogalu toge utrditve se večplastna teorija ne uporablja. Tedaj predpostavka o horizontalni neomejenosti ni več merodajna. Hertz je leta 1884 preveril napetosti in usedke elastične plošče na plavajoči tekočini zaradi bremena. Na podlagi teh rezultatov je Westergaard leta 1926 razvil formule za enakomerno vertikalno krožno obteženo elastično ploščo, ki leži na prožni podlagi (Stöckert, 2002).

Postopek po Westergaardu temelji na teoriji modula reakcije tal (plošča kot homogeno elastično izotropno telo na elastični podlagi, brez trenja) in je primeren predvsem za določitev dimenzij cementnobetonkih krovnih plasti vozišč.

Deformiranje cementnobetonke plošče je opredeljeno z modulom elastičnosti in vztrajnostnim momentom. Za potrebno korekcijo poteka napetosti je v postopek vpeljana navidezna krožna obremenitev s polmerom  $b$ , ki je odvisen od debeline plošče  $h$  in dejanskega polmera krožne obremenilne ploskve  $a$ .

$$b = \sqrt{1,6 \cdot a^2 + h^2} - 0,675 \cdot h \quad (\text{en. 6})$$

$$a = \sqrt{\frac{Q}{p \cdot \pi}} \quad (\text{en. 7})$$

To razmerje pa velja samo, dokler je  $a \leq 1,724 \cdot h$ ,

sicer pa velja odnos  $b = a$ .

Za določitev maksimalne upogibnatezne napetosti v primeru obremenitve na sredini obremenilne ploskve, to je cementnobetonke plošče, velja enačba:

$$\sigma_{uns} = \frac{0,275 \cdot F}{h^2} (1 + \mu) \left[ \log \left( \frac{E \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) - 0,436 \right] \quad (\text{en. 8})$$

Za cementnobetonse plošče velja vrednost Poissonovega števila  $\mu = 0,15$ . V primeru uporabe te enačbe za asfaltne krovne plasti je treba uporabiti v izračunu napetosti vrednost  $\mu = 0,30$ .

Poleg navedene enačbe je Westergaard postavil še enačbi za napetosti v primeru obremenitve cementnobetonse plošče na robu in vogalu in sicer:

- za obremenitev na robu plošče:

$$\sigma_{unr} = \frac{0,529 \cdot F}{h^2} (1 + 0,54\mu) \left[ \log \left( \frac{E \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) + \log \left( \frac{0,1b}{1-\mu^2} \right) - 1,08 \right] \quad (\text{en. 9})$$

- za obremenitev na vogalu plošče:

$$\sigma_{unv} = \frac{3 \cdot F}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{1,2 \cdot 10^5 (1-\mu^2) k}{E h^3} \right)^{0,3} (0,1 \cdot a \sqrt{2})^{1,2} \right] \quad (\text{en. 10})$$

Namesto gostote tekočine je vpeljal faktor  $k$ , s katerim je ovrednotil prožnost podlage. Modul reakcije tal  $k$  [N/mm<sup>3</sup>] je treba po Westergaardu določiti s krožno obremenilno ploščo s premerom  $D = 760$  mm po enačbi

$$k = \frac{\Delta p}{\Delta s} \text{ [N/m}^3\text{]} \quad (\text{en. 11})$$

Elastična dolžina » $l$ «, na kateri se prenese obremenitev cementnobetonse plošče na podlago, znaša

$$l = \sqrt[4]{\frac{E h^3}{12(1-\mu)k}} \quad (\text{en. 12})$$

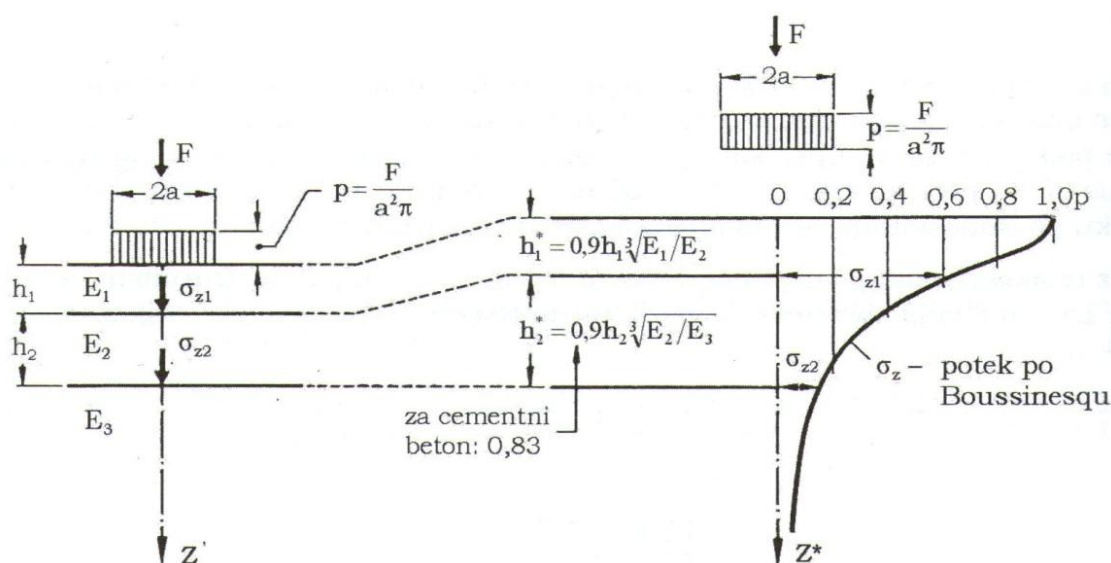
Domneval je, da so usedki pod ploščo proporcionalni pritiskom. Testi na polju so pokazali, da obstajajo določene razlike med teoretično izračunanimi in praktično določenimi vrednostmi. Zato so bile teoretične formule izboljšane z empiričnimi korekcijskimi faktorji (izboljšana Westergaardova formula).

### 3.1.4 Ekvivalentni postopki

#### 3.1.4.1 Odemarkov postopek

Postopek po Boussinesqu je v osnovi mogoče uporabiti za izračun normalnih tlačnih napetosti tudi v večplastnih sistemih. Vendar pa je treba spremeniti takšen večplastni sistem, ki sestoji iz plasti z različnimi moduli elastičnosti in različnimi Poissonovimi števili v enakovreden polprostor (slika 13). To omogoča ekvivalentni postopek po Odemarku, ki je bil razvit leta 1949.

Izhodišče za pretvorbo večplastnega sistema v ekvivalentni enoplastni sistem, to je homogen elastičen polprostor, je izvrednotenje togosti zgornjih plasti v odnosu na modul elastičnosti materiala v spodnji plasti ( $E_3$ ). To pomeni, da se debelino posamezne zgornje plasti (z moduloma elastičnosti  $E_1$  in  $E_2$ ), ki je opredeljena s togostjo  $Eh^3/12$ , preračuna v ekvivalentno debelino plasti z enako togostjo, pri čemer pa je osnova ekvivalentnosti vrednost modula elastičnosti materiala v spodnji plasti. Upošteva se vpliv učinka plošče s korekturnim količnikom, ki znaša za z bitumnom vezane ali nevezane plasti materiala 0,90 (Žmavc, 2007).



Slika 13: Osnove za pretvorbo večplastnega sistema v ekvivalentni polprostor po postopku po Odemarku (Žmavc, 2007)

S prirejeno osnovno enačbo po Boussinesqu se lahko določi normalno tlačno napetost, ki je neodvisna od Poissonovega števila, v poljubni globini voziščne konstrukcije.

$$\sigma_z = p \cdot \left[ 1 - \frac{z^{*3}}{(a^2 + z^{*2})^{3/2}} \right] \quad (\text{en. 13})$$

Formula je po izgledu enaka Boussinesq-ovi, le da je upoštevana ekvivalentna debelina  $z^*$ .

Usedek na vrhu prve plasti dvoplastnega sistema je Odemark določil z upoštevanjem usedka na vrhu druge plasti in stisnjenja prvega sloja. Usedek je potemtakem neposredno enak usedku druge plasti, ki ga povzroča obtežba, pomnožena s faktorjem usedanja. Izračun usedka se je odmaknil od postopka izračuna po Burmistru. Zato je Odemark uvedel korekturni faktor  $n$ .

#### 3.1.4.2 Eisenmannov postopek

Eisenmann je v letu 1966 razvil ekvivalentni postopek za izračun napetosti v dvo- oziroma trislojnim sistemu pod krožno vertikalno enakomerno porazdeljeno obremenitvijo. Radialne in vertikalne napetosti so bile omejene s plastmi. Za izračun radialnih napetosti po Westergaardu je uvedel fiktivno število  $k$ , sestavljeno iz elastičnega modula tretje plasti (polprostora) in geometrijske velikosti, od katere je odvisen sistem.

#### 3.1.5 Dopustne napetosti

Dopustno normalno obremenitev podlage (posteljice) se določi s Heukelomovo enačbo:

$$\sigma_{pdop} = \frac{c \cdot E_{din}}{1 + 0,7 \log T} [N/mm^2] \quad (\text{en. 14})$$

Pomen oznak v enačbi je naslednji:

$c$  – konstanta (med 0,006 in 0,008)

$E_{din}$  – dinamični modul elastičnosti podlage ( $N/mm^2$ )

$T$  – število prehodov nominalne osne obremenitve 82 kN

V Heukelmanovi enačbi so upoštevane nominalne osne obremenitve (oz. NOO) 82 kN, katere so bile v uporabi pred izdajo novih TSC 06.511:2009. Sedaj se voziščne konstrukcije dimenzionira z upoštevanjem NOO 100 kN.

Dinamični moduli asfaltnih plasti so odvisni od trajanja obremenitve in temperature. Za primer asfaltnih zmesi za vezane zgornje nosilne plasti so dopustne upogibnonatezne napetosti in ustrezni dinamični moduli navedeni v preglednici 2.

Preglednica 2: Mejne vrednosti dinamičnih modulov in dopustnih upogibnonatezних napetosti za asfaltne zmesi za vezane zgornje nosilne plasti v odvisnosti od temperature (Žmavc, 2007)

| Temperatura [°C] | Dinamični modul<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | Število prehodov NOO 82 kN<br>[N/mm <sup>2</sup> ]<br>dopustne upogibno natezne<br>napetosti |                 | Poškodbe pri<br>prekoračitvi<br>dopustnih<br>napetosti |
|------------------|---|--|-----------------|--|
|                  |   | 10 <sup>5</sup>  | 10 <sup>6</sup> |  |
| -10              | 12000 – 16000                           | 2,3  | 1,4             | razpoke  |
| 0                | 8000 – 11000                            | 1,7  | 1,1             |  |
| 10               | 4000 – 6000                             | 1,2  | 0,8             |  |
| 20               | 2000 – 3500                             | 0,8  | 0,5             | valovi   |
| 30               | 500 – 1500                              | 0,3  | 0,2             |  |
| 40               | 200 – 500                               | 0,2  | 0,1             |  |

### 3.2 Empirični postopki

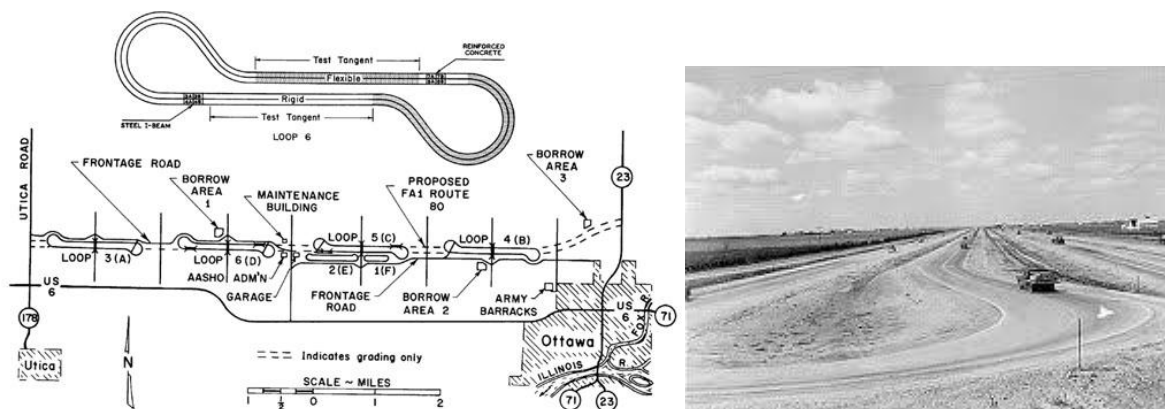
Številnih različnih obremenitev oziroma zunanjih vplivov na voziščne konstrukcije v matematični obliki praktično ni mogoče zajeti. Pri načrtovanju voziščnih konstrukcij se zato praviloma uporabljajo postopki, ki temeljijo na izkušnjah oziroma preskusih v določenih naravnih pogojih. Samo na ta način se lahko ugotovi, kolikšno je realno utrujanje v voziščne

konstrukcije vgrajenih materialov, ki so izpostavljeni določenim prometnim in vremenskim obremenitvam, in s tem njihovo trajnost. Takšna poskusna vozišča oziroma voziščne konstrukcije omogočajo podrobno spremljanje vseh sprememb stanja ves čas trajanja, zato je njihov pomen za praktično načrtovanje voziščnih konstrukcij neprecenljiv.

Dve velika centra za raziskovanje prometa, Ameriško združenje za državne avtoceste in transport (oziroma American Association of State Highway and Transportation Officials (v nadaljevanju AASHTO)) in Laboratorij za preučevanje prometa in cest (oziroma Transport and Road Research Laboratory (v nadaljevanju TRRL)), sta naredili serijo preskusov na testnih voziščnih konstrukcijah.

### 3.2.1 Liddle-ova aplikacija AASHO testa

Z AASHO testom, izvedenim v poznih 50-ih letih v zvezni državi Illinois, so raziskovalci preučevali, kako promet prispeva k poslabšanju voziščnih konstrukcij na avtocestah. Predpostavljene so bile debeline voziščnih konstrukcij, ki so bile obremenjene s premikajočo obtežbo predpostavljenih velikosti in pogostosti. Za potrebe testa je bilo do leta 1958 zgrajenih 6 dvopasovnih zank, narejenih tako z asfaltno, kot tudi s cementno – betonsko voziščno konstrukcijo (slika 14). Do leta 1960 so na 5 testnih poljih izvajali preskuse s prometom tako, da je vsak pas bil izpostavljen ponavljajoči obtežbi posamezne vrste in teže vozila, ob koncu preskušanja pa so medsebojno primerjali rezultate z različnih testnih polj. Prva zanka pa je bila namenjena preučevanju podnebnih vplivov.



Slika 14: Testno polje AASHO Road Testa v Ottawi, Illinois (Google, 2012)

Predlagana je bila izvedba t.i. satelitnih študij tudi v drugih delih države, kjer bi se lahko preučeval še učinek klimatskih pogojev in različnih vrst podlage, vendar te niso bile nikoli realizirane. Izsledki AASHO testa so bili uporabljeni v letu 1961 pri izdaji Začasnega AASHO vodiča za načrtovanje togih in prožnih voziščnih konstrukcij (oziroma AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements) in v njegovih prenovljenih izdajah v letu 1972 in 1993. Slednja izdaja je še vedno v uporabi v ZDA. Nov vodič načrtovanja AASHO je izšel v letu 2002 pod naslovom Vodič načrtovanja voziščnih konstrukcij (oziroma Guide for Design of Pavement Structures) in uporablja analitično-empirično (oziroma Mechanistic-Empirical (M-E)) metodo, ki je najnovejši pristop pri načrtovanju voziščnih konstrukcij, saj obravnava lastnosti materialov.

Pri AASHO testu so bili uvedeni novi koncepti, med drugim tudi faktorji ekvivalentnosti osnih obremenitev. Težja vozila namreč zmanjšajo uporabnost cest v veliko krajšem času, kot lažja vozila. Uveden je bil kjučni parameter indeks uporabnosti vozišča (oziroma Present Serviceability Index (v nadaljvanju *PSI*)), ki temelji na podatkih longitudinalne cestne ravnosti, zakrpanosti cestišča, kolesnic in razpokanosti. S kasnejšimi študijami je bilo dognano, da je *PSI* pretežno odvisen od neravnosti, ki je bila izmerjena z mehničnim profilografom (slika 16 levo), ki izmeri parameter povprečne vrednosti raztrosa vzdolžnih nagibov v obeh kolesnicah (oziroma Slope Variance (v nadaljevanju *SV*)).



Slika 15: Mehanični profilograf (levo) in laser (desno) (Google, 2012)



V zgodnjem 20. stoletju so bili profilografi počasi vozeče naprave, danes pa so v uporabi napredni sistemi, ki vsebujejo laserske senzorje za merjenje višine. Podatki, zbrani z laserskim profilografom, se uporabljajo v izračunu mednarodnega indeksa hrapavosti (oziroma International Roughness Index (v nadaljevanju *IRI*)), ki se izraža v enotah inč/miljo ali mm/m. *IRI* vrednosti so v obsegu od 0 (enakovredno vožnji po steklu) do nekaj 100 inčev/miljo (zelo neravna cesta).

Čeprav je študija bila izvedena že pred več desetletji, se različni avtorji še vedno pogosto sklicujejo nanjo, čeprav kritiki opozarjajo, da so njeni podatki veljavni pod posebnimi pogoji z upoštevanjem časa, lege, podnebja in materialnih lastnosti med testom. Ekstrapolacija podatkov se je v določenih situacijah izkazala kot problematična. Z nadaljevanjem empirične študije ali razvojem matematičnih modelov se poskušajo rezultati izboljšati.

Podrobni podatki o materialih in nosilnosti podlage, materialih in zgradbi voziščnih konstrukcij (468 različnih voziščnih konstrukcij z asfaltnimi vozišči na 30 do 50 m dolgih testnih odsekih), predvsem pa o številu prehodov in osnih obremenitvah testnih tovornih vozil (10 različnih osnih obremenitev od 9 do 218 kN, z enojnimi in dvojnimi kolesi), so omogočili tekoče spremljanje stanja oziroma uporabnosti vozišč (*PSI* – Present Serviceability Index).

$$PSI = p_a = 5,03 - 1,91 \cdot \log(1 + SV) - 0,01 \cdot \sqrt{C + P} - 0,214 \cdot RD^2 \quad (\text{en. 15})$$

kjer pomeni:

$p_a$  ...trenutni indeks uporabnosti asfaltnega vozišča

$SV$ ...povprečna vrednost raztrosa vzdolžnih nagibov v obeh kolesnicah

$C$ ...površina razpokanega vozišča

$P$ ...površina zakrpanega vozišča

$RD$ ...povprečna globina kolesnic

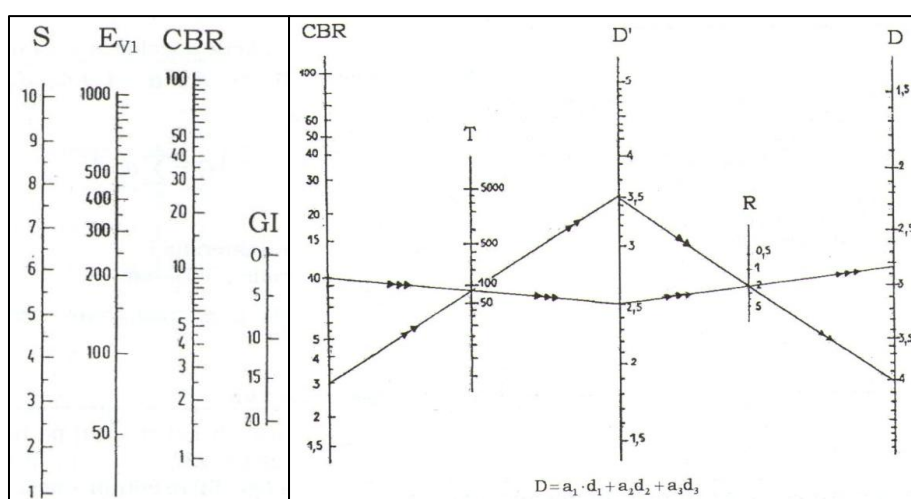
Enačba temelji na subjektivni oceni stanja – uporabnosti vozišča in razvrstitvi, navedeni v preglednici 3.

Preglednica 3: Osnove za oceno uporabnosti vozišča pri AASHO testu (Žmavc, 2007)

| Indeks uporabnosti vozišča (PSI) | Ocena stanja |
|----------------------------------|--------------|
| 5-4                              | zelo dobro   |
| 4-3                              | dobro        |
| 3-2                              | srednje      |
| 2-1                              | slabo        |
| 1-0                              | zelo slabo   |

Na osnovi več kot 300 milijonov zbranih podatkov je bila določena medsebojna odvisnost med:

- nosilnostjo planuma podlage  $S$  (Soil support value), ki jo lahko določimo na osnovi ugotovljene korelacije z izmerljivimi vrednostmi (npr. kalifornijski indeks nosilnosti  $CBR$ ) (slika 16 levo)
- številom uravnoteženih prehodov nominalne osne obremenitve  $T$ , regionalnim faktorjem  $R$ , ki znaša v naših klimatskih pogojih 1,5 do 2,5 in potrebnim debelinskim indeksom voziščne konstrukcije  $D$  (v inčih) (slika 16 desno).



Slika 16: Korelacijske vrednosti nosilnosti planuma podlage (levo) in nomogram za določitev debelinskega indeksa voziščne konstrukcije  $D$  ( $p = 2,0$ ) (desno) (Žmavc, 2007)

Število uravnoveženih prehodov NOO 82 kN na dan  $T$  je izrednoteno s funkcijo, s katero je upoštevan različen vpliv enake osne obremenitve tekom leta (spomladi večji kot poleti in jeseni).

V regionalnem faktorju  $R$  so upoštevani lokalni vplivi na nosilnost podlage, kot je npr. zmrzovanje, delež vlage ipd. Za naše razmere znaša:

- v ugodnih pogojih  $R = 1,0$  do  $1,5$
- v neugodnih pogojih  $R = 2,5$  do  $3,0$
- v povprečnih pogojih  $R = 2,0$ .

Debelinski indeks  $D$  voziščne konstrukcije je določen s splošno enačbo:

$$D = \sum_{i=1}^n a_i \cdot d_i \quad (\text{en. 16})$$

$a_i$ ...faktor ekvivalentnosti materiala<sup>2</sup>  $i$

$d_i$ ...debelino plasti materiala  $i$  [inč – cm]

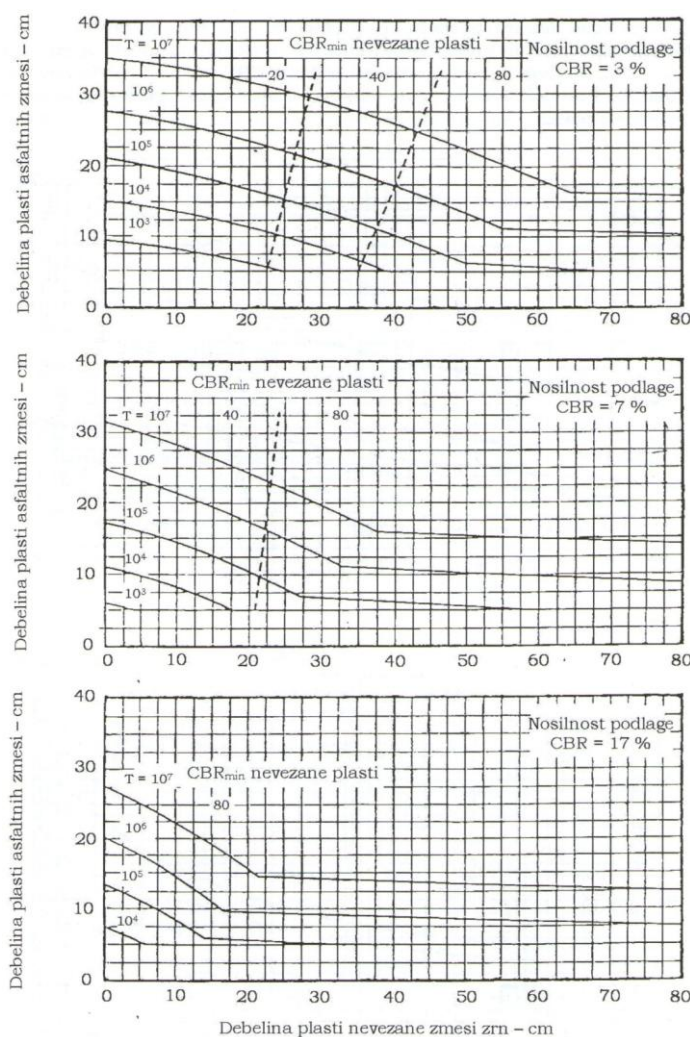
### 3.2.2 Postopek Dormon – Edwards

V poznih 50-ih letih se je pokazal velik interes za razvijanje analitičnih načrtovalnih postopkov. Leta 1963 je Shell izdal komplet tabel za načrtovanje, ki so inženirjem omogočile izračun napetosti in deformacij v strukturi, ki je temeljila na večplastni linearno elastični analizi. Leta 1978 je bil ta sistem razširjen tako, da je vključeval vse bistvene glavne parametre načrtovanja, ki so izhajali iz empiričnih metod AASHO Road Test-a in laboratorijskih ugotovitev. Sistem je poznan pod imenom Shellov priročnik načrtovanja voziščnih konstrukcij (oziroma Shell Pavement Design Manual (v nadaljevanju SPDM)). SPDM je omogočal vpliv na voziščno konstrukcijo s temperaturo, gostoto prometa in lastnostmi bitumna in agregatov, medtem ko se je standardizacija asfaltnih plasti opirala na

---

<sup>2</sup> Faktorji ekvivalentnosti materialov  $a_i$  so opredeljeni v nadaljevanju pri metodi po TSC.

togost in značilnosti pri utrujanju. Predstavljeno je bilo v obilki grafikonov, diagramov in preglednic. Da ne bi prišlo do njihovega prevelikega števila, je število uporabljenih spremenljivk omejeno in od inženirjev se pričakuje, da interpolirajo, kjer je potrebno. Sedaj so na voljo poleg tiskane izdaje tudi računalniški paketi. Shell Pavement Design Manual se je preimenoval v Shell Pavement Design Method. Leta 1992 je bila izdana SPDM-PC (verzija SPDM, razvita za uporabo na stacionarnem ali prenosnem računalniku), ki je imela načrtovalno metodo enako verziji iz leta 1978, vendar je bila izboljšana in primerna za uporabo na širokem obsegu podatkov brez potrebe po nepraktični interpolaciji.



Slika 17: SHELL design charts za določitev dimenzij plasti materialov v voziščnih konstrukcijah (Žmavc, 2007)

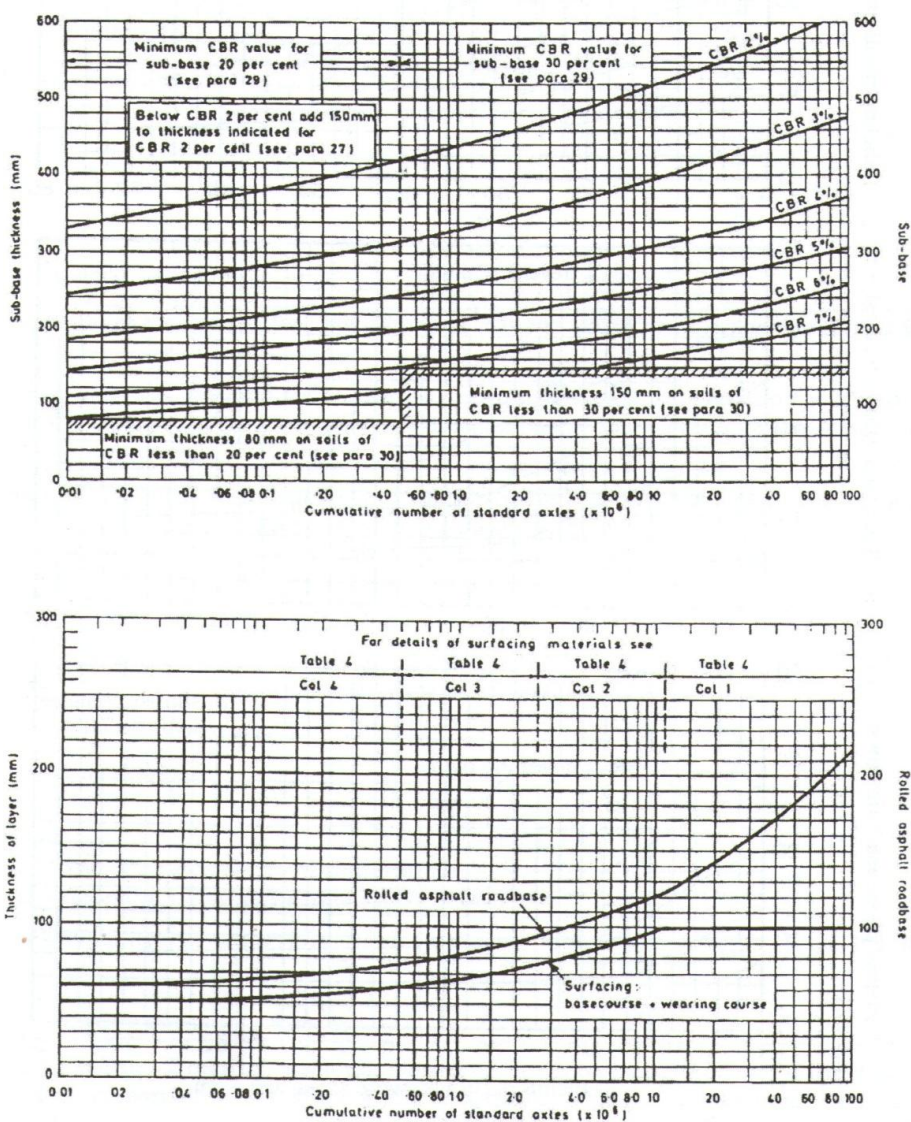
Osnove za določitev dimenzij voziščnih konstrukcij po postopku Dormon – Edwards so dane s SHELL design charts (slika 17).

V tabelah na sliki 17 je glede na nosilnost podlage *CBR* določena odvisnost debelin plasti (gostih) asfaltnih zmesi in nevezanih zmesi zrn. Podane so vrednosti za različna števila prehodov nominalne osne obremenitve  $T$ , pri tem pa je postavljena še dodatna zahteva za minimalno nosilnost *CBR* uporabljene nevezane zmesi zrn.

### 3.2.3 Postopek TRRL

TRL (Transport Research Laboratory) je center za raziskave prometa, nasvete in rešitve širokega obsega s transportom povezanih problemov. Ustanovljen je bil v letu 1933 s strani britanske vlade in privatiziran v letu 1996. V TRRL je bil prirejen postopek za določitev potrebnih dimenzij voziščnih konstrukcij (t.i. TRRL Road design) za ugodne klimatske pogoje.

Že v prvi izdaji Road Note 29 iz leta 1960 so bile podane načrtovalne krivulje za debeline asfaltnih in betonskih voziščnih konstrukcij, potrebne za prenašanje pričakovane prometne obremenitve med življensko dobo za britanske klimatske pogoje, materiale in prometne obremenitve (slika 18). Leta 1984 je TRRL izdal obširne informacije o izvedbah cest in raziskavah materialov, metodah gradnje ter matematičnih modelih obnašanja voziščnih konstrukcij, ki imajo naslov TRRL Laboratory Report 1132: The structural design of bituminous roads. Nadomestile so 3. izdajo Road Note iz leta 1970 in v njih so upoštevane povečane količine prometa in teže vozil. V primeru manjših prometnih obremenitev je še vedno mogoča uporaba Road Note 29. Temelji na obnašanju eksperimentalnih cest. V odvisnosti od nosilnosti podlage *CBR* in števila prehodov nominalne osne obremenitve  $T$  se lahko določi debelino plasti nevezane zmesi zrn ter debelina asfaltnih zmesi za vezane zgornje nosilne in obrabne plasti v odvisnosti od  $T$ .



Slika 18: Osnove za določitev dimenzij plasti materialov v voziščnih konstrukcijah po postopku TRRL (Žmavc, 2007)

### 3.2.4 Postopek po TSC

V Sloveniji tehnična regulativa za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij cest temelji na rezultatih AASHO testa. Na podlagi tega na debelino voziščne konstrukcije vplivajo naslednji dejavniki:

- prometne obremenitve
- nosilnost podlage in
- globina zmrzovanja (Jurgele, 2010).

Upošteevane so tudi nekatere modifikacije AASHO testa, ki so bile upošteevane na podlagi dolgoletnih izkušenj v Sloveniji ali privzete po avstrijskih, britanskih, nemških in švicarskih tehničnih predpisih. Najpomembnejše tehnične specifikacije za ceste, ki omogočajo načrtovanje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij, v Sloveniji so naslednje:

- TSC 06.511:2009 – Prometne obremenitve – Določitev in razvrstitev
- TSC 06.512: 2003 – Projektiranje – Klimatski in hidrološki pogoji
- TSC 06.520:2009 – Projektiranje – Dimezioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij.

Preglednica 4: Prednosti in slabosti dimenzioniranja po TSC (Jurgele, 2012)

| Prednosti   | Slabosti   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– realne</li> <li>– enostavne za uporabo</li> <li>– zasnovane na podlagi dolgoletnih izkušenj</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– materialne karakteristike, pridobljene na podlagi dejanskega obnašanja, ne morejo biti vključene v metodo</li> <li>– porušni mehanizmi niso definirani</li> <li>– klimatski pogoji niso vključeni v načrtovanje (razen regionalni faktor)</li> <li>– stroški življenjskega cikla niso upoštevani</li> </ul> |

V nobeni od specifikacij pa ni omenjen način projektiranja parkirišč.

### 3.2.4.1 Prometna obremenitev

Vpliv prometa se preračuna na podlagi AASHTO 4<sup>th</sup> Power Law, ki upošteva, da je škoda, ki jo povzroči določena obremenitev, okvirno povezana z obtežbo na četrto potenco.

$$\left(\frac{L_{nom}}{L_{stat}}\right)^4 = \frac{n_i}{n_{nom}} \quad (\text{en. 17})$$

$L_{nom}$  ... nominalna (standardizirana) osna obremenitev

$L_{stat}$  ... statična osna obremenitev izbrane vrste vozila

$n_i$  ... število prehodov oziroma osnih obremenitev izbrane vrste vozila

$n_{nom}$  ... število ekvivalentnih prehodov nominalne osne obremenitve

Najbolj pogosto uporabljena nominalna osna obremenitev (v nadaljevanju NOO) v ZDA je 82 kN (oziroma 18.000 liber) nominalne enoosne enojne kolesne obremenitve (oziroma Equivalent Single Axle Load (*ESAL*)). V času snovanja te metode (začetek 60-ih let z AASHO testom) je bila ta številka bolj reprezentativna za predstavitev vseh prometnih obremenitev v zahtevnejših empiričnih enačbah za napovedovanje življenjske dobe voziščne konstrukcije.

V Sloveniji se od nove izdaje smernic v letu 2009 uporablja preračun faktorjev ekvivalentnosti vozila (v nadaljevanju *FEV*) glede na nazivno osno obremenitev 100 kN, ki se uporablja tudi v ostalih evropskih državah zaradi povečanih obremenitev cest s prometom.

Merodajna (skupna ekvivalentna) prometna obremenitev za načrtovano voziščno konstrukcijo v  $n$  letih  $T_n$  skozi prečni prerez ceste na dan se določi z upoštevanjem povezav med:

- osjo in vrsto kolesa (določitev  $FEV_i^3$ ) ter povprečnim številom določene vrste na dan ( $n_i$ ), kar ima rezultat povprečno število prehodov nominalne osne obremenitve (NOO) 100 kN skozi prečni prerez ceste na dan  $T_d$
- porazdelitvijo obremenitev na prometne pasove ( $f_{pp}^4$ )

<sup>3</sup>  $FEV_i$ ...faktorji ekvivalentnosti vrste vozila so zapisani na sliki 1.1 v prilogi 1.



- širino prometnega pasu ( $f_{sp}$ ) in vzdolžnega nagiba nivelete vozišča ( $f_{nn}$ )
- dinamičnim vplivom zaradi cestne neravnosti ( $f_{dv}$ )
- povečevanjem prometnih obremenitev v odvisnosti od načrtovane letne stopnje rasti prometa in načrtovanega trajanja ( $f_{tp}$ )
- števila dni v letu (365).

$$T_n = 365 \cdot T_d \cdot f_{dv} \cdot f_{pp} \cdot f_{sp} \cdot f_{nn} \cdot f_{tp} \quad (\text{en. 18})$$

$$T_d = \sum(FEV_i \cdot n_i) \quad (\text{en. 19})$$

Prometna obremenitev na izbranem odseku ceste se po TSC 06.511:2009 določi za načrtovano (projektirano) dobo trajanja. Običajno se voziščne konstrukcije z asfaltno krovno plastjo dimenzionira za načrtovano dobo trajanja 20 let.

Ovisno od števila prehodov NOO na dan oziroma v 20 letni dobi trajanja so prometne obremenitve voziščnih konstrukcij razvrščene v 6 skupin prometne obremenitve.

Osnova za določitev prometne obremenitve je povprečni letni dnevni promet (v nadaljevanju PLDP), ki pomeni povprečno dnevno število motornih vozil, ki so v določenem letu prečila izbrani prerez ceste. Za določitev potrebnih dimenzij voziščne konstrukcije pa je treba določiti merodajno skupno ekvivalentno prometno obremenitev.

Utrujanje v voziščne konstrukcije vgrajenih materialov je odvisno predvsem od števila težkih motornih vozil in sicer njihove:

- osne obremenitve
- razporeditve osi na vozilu in
- razporeditve koles na osi vozila.

---

<sup>4</sup>  $f_{pp}$ ,  $f_{sp}$ ,  $f_{nn}$ ,  $f_{tp}$ ...faktorji so zapisani na slikah od 1.2 do 1.5 v prilogi 1.

Preglednica 5: Razvrstitev prometnih obremenitev v skupine prometne obremenitve (TSC  
06.511:2009)

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

V praksi se prometne obremenitve preračunajo iz podatkov o:

- prometnem volumnu in spektru iz avtomatskih števecv prometa,
- povprečnih ekvivalentnih faktorjev, pridobljenih iz weight-in-motion (oziroma WIM) študije in različno izraženih za primere avtocest, glavnih in regionalnih cest ter
- prometni rasti za avtocestno mrežo, ki je ocenjena na podlagi rezultatov prometnih študij, za ostale ceste pa se običajno predvidi 3 %.

Za nekatere ceste, ki spadajo pod upravljanje DRSC (oziroma Direkcije Republike Slovenije za ceste), se *FEV* preračunavajo direktno iz WIM, ki so nameščeni na mostovih.

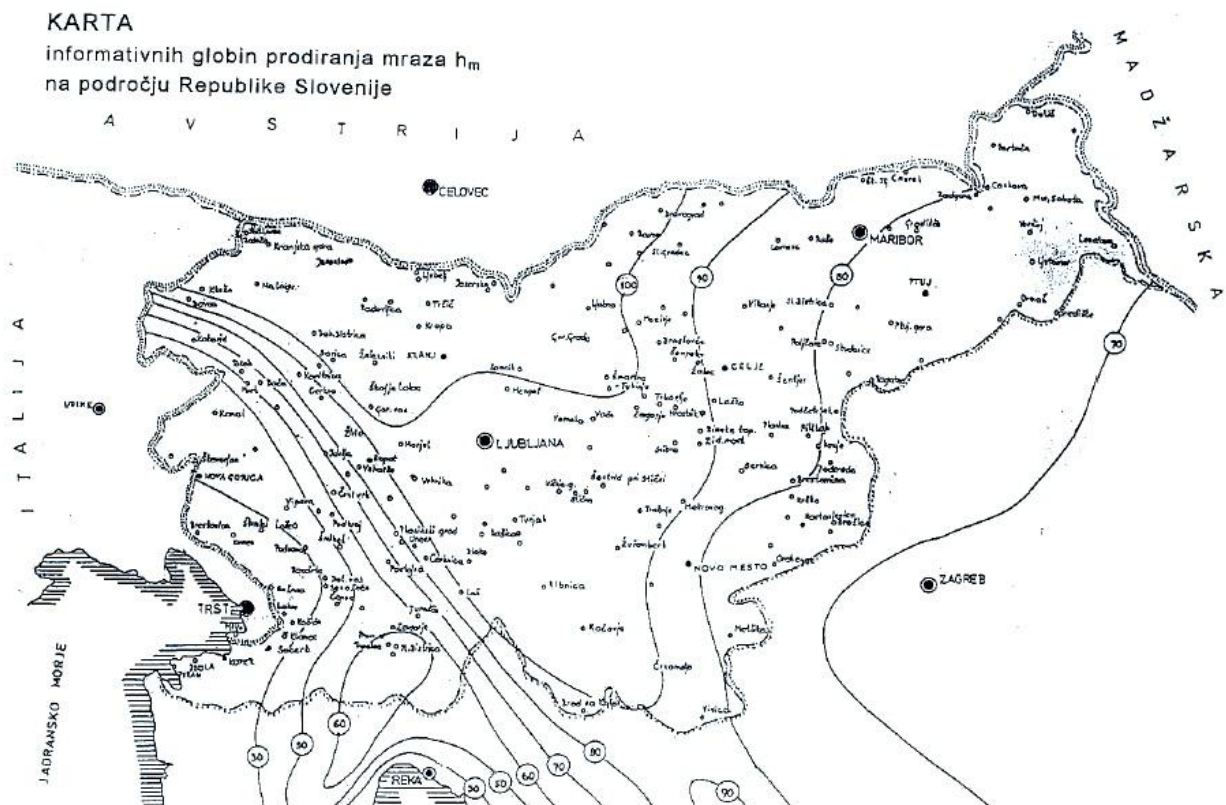
Na parkiriščih, odvisno kakšnemu prometu vozil so namenjena, pelje čez prečni prerez parkirnega mesta dnevno bistveno manj vozil, kot skozi kakršenkoli drug prerez glavne, regionalne ali druge kategorizirane ceste. To pa še ne pomeni, da te površine niso obremenjene. Namesto dinamične oziroma kvazi – statične obremenitve, ki je pogosta na ostalih cestah, je tu izrazita statična obremenitev, ki povzroča tlačno obremenitev in sčasoma trajno preoblikovanje. Še posebno na parkiriščih, ki so namenjena težkemu prometu vozil, zaradi nezadostne utrditve lahko pride do velikih posedkov. Če bi pri projektiranju asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkiriščih upoštevali *PLDP*, bi ta pokazal manjšo obremenitev, kot je dejansko.

### 3.2.4.2 Klimatski in hidrološki pogoji

Materiali, vgrajeni v voziščne konstrukcije in pod njimi, so izpostavljeni:

- poleti visokim temperaturam
- pozimi nizkim temperaturam
- vse leto pa večjim ali manjšim vplivom vode.

Materiali, vgrajeni v plasti voziščnih konstrukcij, morajo biti odporni proti učinkom mraza, torej tudi proti škodljivemu zamrznjenju vode v njih. Pod voziščno konstrukcijo pa morajo biti vgrajeni do globine prodiranja mraza  $h_m$  materiali, za katere učinek mraza ni škodljiv (slika 19).



Slika 19: Karta informativnih globin prodiranja mraza na področju Republike Slovenije (TSC  
 06.512:2003)

V zadnjih letih se pojavljajo čedalje večje podnebne spremembe, kar se kaže tudi v spremembah globin prodiranja mraza. Zaradi tega razloga bo v prihodnosti potrebno izdelati posodobljeno karto. Slovenijo bi se lahko razdelilo na 4 temperaturne cone v okolici naslednjih večjih mest: Portoroža (od -10 do +36 °C), Ljubljane (od -20 do +37 °C), Slovenj Gradca (od -27 do +35 °C) in Murske Sobote (od -10 do +38 °C) (Henigman, 2012).

Poleg odpornosti materiala proti učinkom mraza pa so pomembni za določitev primerne debeline voziščne konstrukcije tudi hidrološki pogoji. Ocenimo jih lahko:

- kot ugodne, če je
  - nasip ceste visok najmanj 1,5 m
  - plitev vkop dobro odvodnjava
  - nivo talne vode stalno globlje od globine zmrzovanja  $h_m$
  - nad gladino talne vode preprečeno dotekanje vode v cestno telo s strani (iz vodnih žil) ali s površine
  
- kot neugodne, če je
  - nasip ceste nižji od 1,5 m
  - plitev vkop slabo odvodnjava
  - vkop globok
  - gladina talne vode v območju globine zmrzovanja  $h_m$
  - omogočeno kapilarno dviganje vode ali dotekanje vode s strani ali s površine (TSC 06.512:2003).

V odvisnosti od odpornosti materiala pod voziščno konstrukcijo proti učinkom mraza (zmrzali) in od hidroloških pogojev v območju ceste so v spodnji preglednici 6 navedene minimalne potrebne debeline voziščnih konstrukcij  $h_{min}$ .

Preglednica 6: Minimalne potrebne debeline voziščnih konstrukcij  $h_{min}$  (TSC 06.512:2003)

| Odpornost materiala<br>pod voziščno<br>konstrukcijo proti<br>učinkom zmrzovanja<br>in odtajevanja | Hidrološki pogoji | Debelina voziščne konstrukcije $h_{min}$ |                               |
|---|-------------------|--|-------------------------------|
|   |                   | Do nadmorske<br>višine 600 m             | Nad nadmorsko<br>višino 600 m |
| odporen   | Ugodni            | $\geq 0,6h_m$                            | $\geq 0,7h_m$                 |
|   | Neugodni          | $\geq 0,7h_m$                            | $\geq 0,8h_m$                 |
| neodporen   | Ugodni            | $\geq 0,7h_m$                            | $\geq 0,8h_m$                 |
|   | neugodni          | $\geq 0,8h_m$                            | $\geq 0,9h_m$                 |

Tudi na parkiriščih je potrebno poskrbeti, da je cona zmrzovanja višje od planuma temeljnih tal in hidrološki pogoji ugodni.

#### 3.2.4.3 Vrste in kakovost materialov

Na poškodovanje voziščnih konstrukcij v času eksploatacije vplivajo predvsem lastnosti vgrajenih materialov, to je nevezanih zmesi kamnitih zrn, s hidravličnimi in ogljikovodikovimi vezivi vezanih mešanic in zmesi ter vrsta in kvaliteta materiala v posteljici. Zaradi vplivov klimatskih obremenitev in hidroloških razmer se spreminjajo nosilne in funkcionalne lastnosti posameznih plasti voziščne konstrukcije. Odločilnega pomena za kasnejše obnašanje materialov v voziščnih konstrukcijah je izbor sestavnih materialov in veziv ter projektiranje začetne sestave zmesi in/ali mešanic.

Pri izbiri materialov za voziščne konstrukcije je treba upoštevati poleg vloge, ki jo ima posamezna plast oziroma v njo vgrajeni material, tudi gospodarnost njihove uporabe in še posebno njihovo kakovost.

Pri izbiri bitumenskih veziv je treba upoštevati klimatske razmere, transportne razdalje in prometne obremenitve. V primeru težjih prometnih obremenitev v povezavi z višjimi

temperaturami je npr. treba izbrati trša s polimeri modificirana bitumenska veziva. Glede na heterogene pogoje, ki vladajo v Sloveniji, ni mogoče dati natančnega navodila, ki bi zajemalo vse možne kombinacije. Zato je ključnega pomena, da izbiro ustreznih veziv za začetno sestavo asfaltne zmesi v kombinaciji z asfaltnimi zmesmi izvedejo izkušeni projektanti ter asfaltni tehnologji. Za večja dela mora izvajalec izdelati tehnološko ekonomski elaborat – TEE, skladno z navodilom za pripravo TEE (PTS, knjiga III., leto 2000 – dopolnila) (Henigman et al., 2011).

Preglednica 7: Informativni količniki ekvivalentnosti zmesi novih materialov (TSC  
 06.520:2009)

| Vrsta materiala  | Količnik ekvivalentnosti $a_i$                   |
|--|--|
| Za obrabno plast:  |  |
| – bitumenski beton   | $a_o = 0,42$                                     |
| – drobir z bitumenskim mastiksom                                     | $a_o = 0,42$                                     |
| za zgornjo vezano nosilno plast                                      |  |
| – bituminiziran drobljenec   | $a_{zv} = 0,35$                                  |
| – bituminiziran prodec   | $a_{zv} = 0,28$                                  |
| za spodnjo vezano nosilno plast<br>(stabilizirana zmes kamnitih zrn) |  |
| – z bitumnom   | $a_{sv} = 0,24$                                  |
| – s cementom   | $a_{sv} = 0,20$                                  |
| za spodnjo nevezano nosilno plast                                    |  |
| – drobljenec   | $a_{sn} = 0,14$                                  |
| – prodec   | $a_{sn} = 0,11$ (omejen z debelino plasti 40 cm) |

Razmeroma zelo velik raztros kakovosti materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije, je posledica številnih vplivov od proizvodnje do vgrajevanja. Vse vplive je mogoče v zadovoljivi meri upoštevati s statistično analizo rezultatov. Takšen pristop je bil zasnovan pri AASHO testu, kjer so medsebojni odnosi med prometno obremenitvijo in utrujanjem

materialov kot posledico te obremenitve nedvoumno določeni. Določena so bila tudi medsebojna razmerja odpornosti materialov proti utrujanju, t.i. faktorji ekvivalentnosti materialov ali količniki zamenjave  $a_i$  (preglednica 7), ki so zaenkrat najbolj dorečena osnova za različne potrebne primerjave pri določanju dimenzij in zgradbe voziščnih konstrukcij (Žmavc, 2007).

Dejansko kakovost osnovnih materialov, ki se jih uporablja pri gradnji voziščnih konstrukcij, se lahko izvednoti kot faktorje ekvivalentnosti materialov iz obstoječih diagramov (v TSC 06.520:2009), prirejenih za značilne kakovosti materialov in sicer:

- za asfaltne zmesi na osnovi njihove stabilnosti, določene po postopku po Marshallu
- za s cementom stabilizirane zmesi kamnitih zrn na osnovi njihove tlačne trdnosti, določene po 7. dneh
- za nevezane zmesi kamnitih zrn na osnovi njihove vrednosti nosilnosti *CBR* in
- za reciklaže s penjenim bitumnom na osnovi indirektna natezne trdnosti (*ITS*).

Zahteve za kakovost posameznih materialov v voziščnih konstrukcijah so kot mejne vrednosti določene v tehnični regulativi (Henigman et al., 2011).

#### 3.2.4.4 Nosilnost podlage in gostota

Pojem nosilnost lahko pomeni:

- odpornost proti preoblikovanju (to je notranje trenje in kohezijo materiala)
- obremenitev, pri kateri se zaznajo prve poškodbe (t.i. porušna obremenitev) ali
- sposobnost raznosa obremenitve (Žmavc, 2007).

Za določitev dimenzij voziščne konstrukcije je merodajna nosilnost podlage. V Sloveniji je to praviloma vrednost kalifornijskega indeksa nosilnosti *CBR* (California Bearing Ratio), ki se

določi na osnovi sondažnih izkopov po postopkih, podrobno opredeljenih v TSC 06.720:2003 – Meritve in preiskave – Deformacijski moduli vgrajenih materialov.

Preglednica 8: Informativne korelacije vrednosti nosilnosti za značilne materiale v podlagi/posteljici (TSC 06.520:2009)

| Klasifikacija materiala po USCS | Vrednost $CBR_2$ [%] | Modul stisljivosti $M_E$ [ $MN/m^2$ ] | Deformacijski modul $E_{v2}$ [ $MN/m^2$ ] |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---|
| ML, MH, CH                      | 3                    | 4                                     | 15  |
| CL, SC                          | 5                    | 8                                     | 20  |
| GC, SM                          | 7                    | 13                                    | 45  |
| GC, SP                          | 10                   | 20                                    | 60  |
| SW, GM                          | 15                   | 35                                    | 80  |
| GP, GW                          | 20                   | 50                                    | 100                                       |

Osnovni pogoj za podlago pod voziščno konstrukcijo so čimbolj enakomerne geomehanske karakteristike materiala, ki omogočajo ustrezno enakomerno nosilnost. Če ni mogoče zagotoviti z naravnimi materiali primerne nosilnosti, je treba uporabiti postopke za izboljšanje, utrditev in/ali stabiliziranje. Ker so postopki razmeroma cenen, je treba z njimi zagotoviti čim večjo nosilnost, najmanj pa vrednost  $CBR = 7 \%$ .

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

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

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



V primeru, da na planumu temeljnih tal v vkopih ali na planumu nasipov iz vezljive zemljine ni zagotovljena vrednost nosilnosti  $CBR \geq 5 \%$ , je priporočljivo predvideti ukrepe za ustrezno izboljšanje nosilnosti. Ti ukrepi so lahko:

- stabilizacija obstoječih materialov s hidravličnimi vezivi ali
- lokalna zamenjava neustreznih materialov v temeljnih tleh in vgraditev ločilne geotekstilije.

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

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

V primeru, da je zaradi slabe nosilnosti podlage in težke prometne obremenitve potrebna po diagramu plast nevezane zmesi zrn prodca, debela več kot 40 cm, je praviloma potrebno povečati nosilnost podlage (posteljice).

Spodnjo nevezano nosilno plast zmesi zrn drobljenca je mogoče delno ali v celotni debelini zamenjati z zmesjo zrn prodca, upoštevaje računski količnik ekvivalentnosti  $a_{sn} = 0,11$ . Ker je debelina spodnje nevezane nosilne plasti zmesi zrn drobljenca omejena na 40 cm, je mogoče z njo nadomestiti ekvivalentno računsko debelino plasti prodca, ki znaša:

$$40 \cdot 0,11^4 / 0,11 \cong 50 \text{ cm}$$

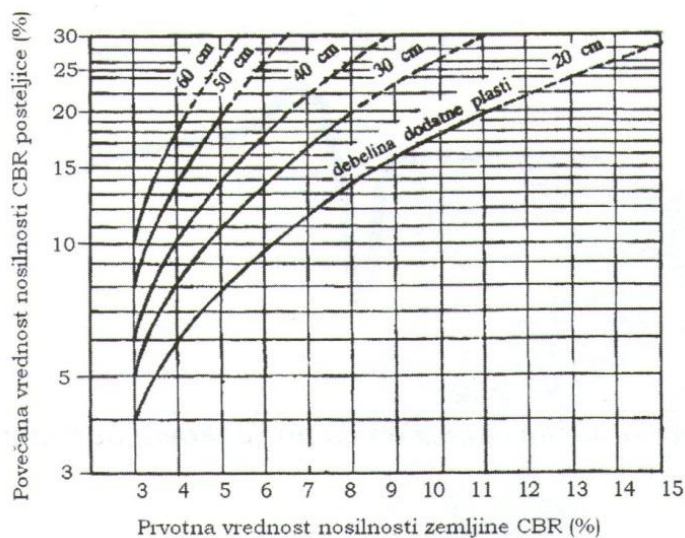
Za nove asfaltne voziščne konstrukcije s težko, zelo težko in izredno težko prometno obremenitvijo je praviloma treba uporabiti za spodnjo nevezano nosilno plast zmesi drobljenih kamnitih zrn.

Spodnjo nevezano nosilno plast zmesi zrn prodca je mogoče v voziščnih konstrukcijah za majhno prometno obremenitev delno ali v celotni debelini zamenjati tudi z zmesjo zrn drobljenca ali prodca, stabilizirano s cementom ali z bitumnom. Najmanjša računsko debelina spodnje vezane nosilne plasti zmesi kamnitih zrn za nove asfaltne voziščne konstrukcije je podana v preglednici 9.

Preglednica 9: Minimalne debeline spodnje vezane nosilne plasti (TSC 06.520:2009)

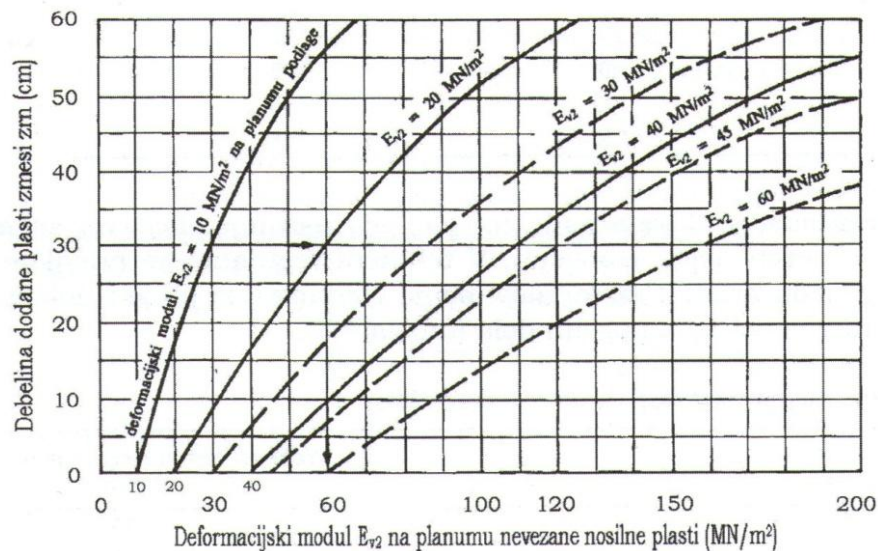
| Vrsta stabilizacije/obremenitev | Težek promet | Srednji ali lahek promet |
|---------------------------------|--------------|--------------------------|
| Cementna stabilizacija          | 18 cm        | 15 cm                    |
| Bitumenska stabilizacija        | 14 cm        | 12 cm                    |

Premalo nosilno podlago iz nevezanega materiala je mogoče izboljšati z vgraditvijo dodatne plasti primerne materiala (naravnega ali drobljenega).



Slika 20: Določitev potrebne debeline dodatne plasti kamnitega materiala za povečanje nosilnosti posteljice (Žmavc, 2007)

Druga možnost je nadomestitev pomanjkljive nosilnosti podlage z ustreznim povečanjem debeline spodnje nosilne plasti iz nevezanih kamnitih zrn.



Slika 21: Določitev potrebne debeline dodatne plasti nevezane zmesi kamnitih zrn za povečanje nosilnosti podlage (Žmavc, 2007)

Poleg kakovosti materiala in debeline plasti je za nosilnost merodajna tudi stopnja zgoščenosti vgrajenega materiala. Stopnjo zgoščenosti vgrajenega materiala se lahko preverja že med zgoščevanjem z valjarji. Posebna izotopna sonda, ki je vgrajena na valjarju, strojniku sproti kaže doseženi učinek, tako da se zagotovi optimalno delo (Žmavc, 2007).

#### 3.2.4.5 Dimenzioniranje voziščnih konstrukcij po TSC 06.520:2009

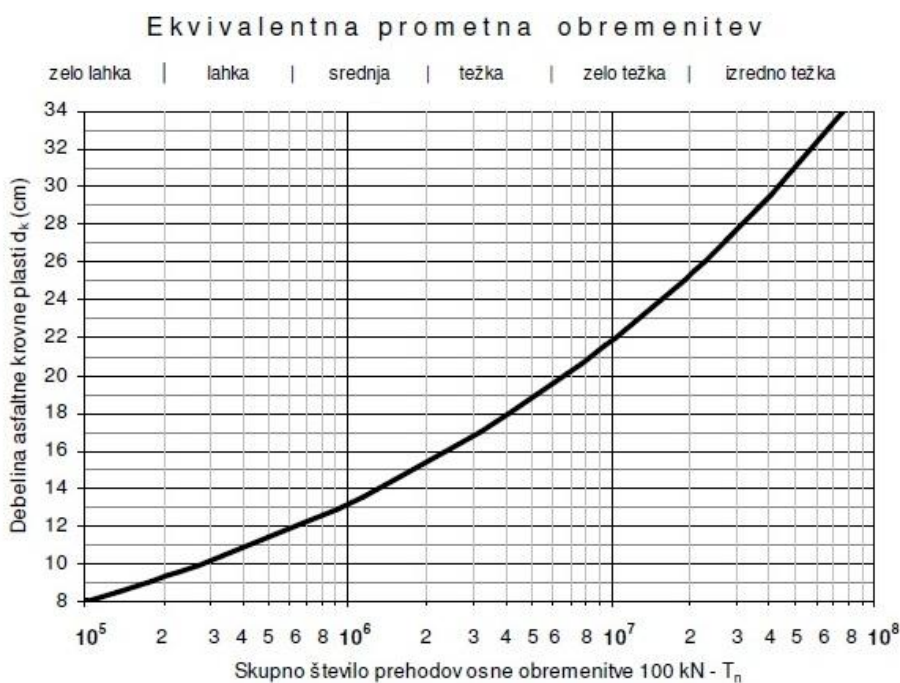
Temelji na rezultatih AASHO testa, dopoljenih s preveritvami merodajnih napetosti in deformacij na mejnih površinah posameznih plasti v voziščni konstrukciji.

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

- doba trajanja voziščne konstrukcije ( $n$ )
- uporabnost vozne površine na koncu dobe trajanja ( $p$ )
- nosilnost podlage, to je posteljice ( $CBR$ )

- merodajna dnevna prometna obremenitev ( $T_d$ )
- klimatski in hidrološki pogoji ( $R$ )
- značilnost materialov v načrtovani voziščni konstrukciji ( $a_i, d_i$ ).

Za določitev potrebne debeline in vrste posameznih plasti v voziščni konstrukciji z asfaltno krovno plastjo in spodnjo nevezano nosilno plastjo se uporabljata diagrama, ki sta funkciji skupnega števila prehodov osne obremenitve 100 kN in  $CBR$  podlage (sliki 22 in 23). Ko so predvidene drugačne plasti, morajo biti izračunane potrebne debeline z uporabo pripadajočih materialnih informativnih količnikov ekvivalentnosti zmesi (preglednica 7).



Slika 22: Diagram za določitev debeline asfaltne krovne plasti  $d_k$  z upoštevanjem  $a_i = 0,38$   
(TSC 06.520:2009)

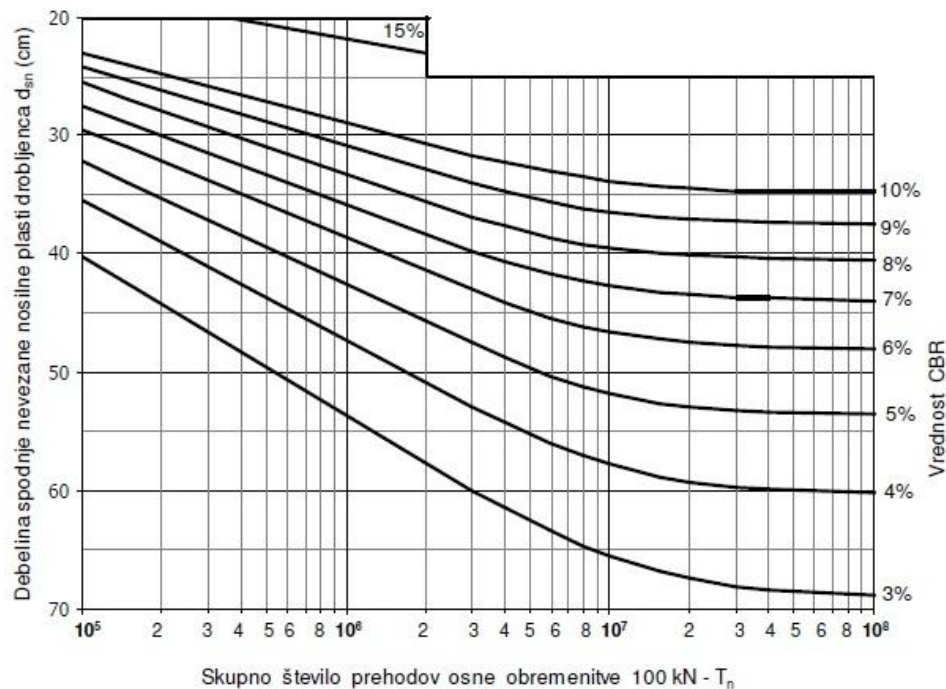
Skupna potrebna debelina asfaltne krovne plasti  $d_k$ , to je asfaltne obrabne in asfaltne zgornje vezane nosilne plasti, je v diagramu na sliki 22 določena za povprečno kakovost

bituminizirane zmesi, ki je ovrednotena z računskim količnikom ekvivalentnosti  $a_{rk} = 0,38$  (Jurgele, 2012).

Za določitev debeline obrabne plasti  $d_o$  in zgornje vezane nosilne plasti  $d_{zv}$  je treba upoštevati količnike ekvivalentnosti  $a_o$  in  $a_{zv}$ , navedene v zgornji tabeli, in tehnološko pogojene mejne vrednosti, po enačbi:

$$D_k = a_{rk} \cdot d_k = 0,38 \cdot d_k = a_o \cdot d_o + a_{zv} \cdot d_{zv} \quad (\text{en. 20})$$

Za nove asfaltne voziščne konstrukcije s težko, zelo težko in izredno težko prometno obremenitvijo je treba uporabiti za zgornjo vezano nosilno plast zmes bitumeniziranega drobljenca, priporočena pa je tudi uporaba ustrezno modificiranega bitumenskega veziva. Predvsem za lahko in zelo lahko prometno obremenitev pa je v zgornjo vezano nosilno plast lahko vgrajena zmes bituminiziranega prodca.



Slika 23: Diagram za določitev debeline spodnje nevezane plasti drobljenca  $d_{sn}$  z upoštevanjem  $a_i = 0,14$  (TSC 06.520:2009)

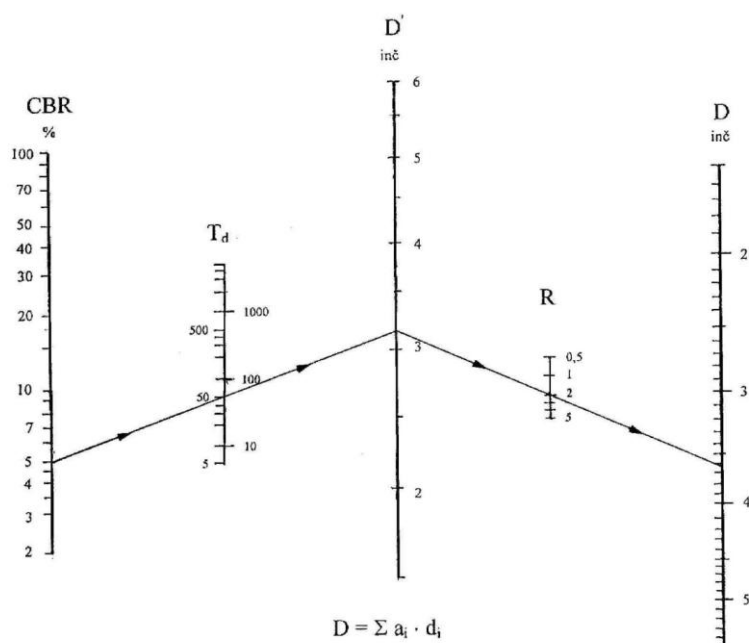
Debeline in vrste posameznih plasti je potrebno določiti glede na značilnosti materialov z upoštevanjem ustreznih količnikov ekvivalentnosti za izbrane materiale (Henigman et al., 2011).

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

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

Kot merodajna mejna vrednost indeksa vozne sposobnosti (po AASHO testu  $PSI$ ) na koncu dobe trajanja voziščne konstrukcije je sprejeta vrednost  $p_k = 2,0$ , ki pomeni sicer še uporabno, vendar skrajno mejno stanje vozne površine.

Medsebojna odvisnost preostalih osnovnih parametrov je po AASHO opredeljena v nomogramu (slika 24).



Slika 24: Nomogram za določitev debelinskega indeksa voziščne konstrukcije  $D$  ( $p = 2,0$ ).

### 3.2.4.6 Voziščne konstrukcije za maloprometne ceste po TSC 03.325:2003

Pri načrtovanju voziščnih konstrukcij za maloprometne ceste se v odvisnosti od gostote prometa (*PLDP* do 100 vozil, od 100 do 300 in od 300 do 500 vozil) in deleža tovornih vozil lahko uporabi:

- tipske voziščne konstrukcije (postopek 1) in/ali
- dimenzioniranje po TSC 06.520:2009 (postopek 2).

V primeru, ko je delež tovornih vozil večji od 10%, se uporabi postopek 2, ko pa je tovornih vozil manj kot 10%, se uporabi postopek 1. Poleg prometnih podatkov za določeno dobo trajanja voziščne konstrukcije je potrebno upoštevati tudi geološke, klimatske in hidrološke podatke ter temu prilagoditi kvaliteto in debeline posameznih plasti materialov, vgrajenih v voziščno konstrukcijo.

Za določitev dimenzij voziščne konstrukcije je merodajna vrednost *CBR* oziroma deformacijskega modula (v nadaljevanju  $E_{v2}$ ) na planumu podlage. Na maloprometnih cestah, kjer je manj kot 10% tovornih vozil, se lahko v odvisnosti od *PLDP* in ugotovljenih vrednosti nosilnosti podlage  $E_{v2}$  predvidi tipske voziščne konstrukcije (preglednica 10).






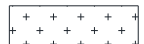
Postopek določitve dimenzij novih asfaltnih voziščnih konstrukcij, kjer se odvija promet z velikim deležem tovornih vozil, je podrobno opredeljen v TSC 06.520 in obsega:

- analizo oziroma določitev merodajne prometne obremenitve v načrtovani dobi trajanja ( $T_n$ ) (TSC 06.511)
- analizo oziroma določitev nosilnosti podlage – *CBR* (TSC 06.720:2003)
- analizo klimatskih in hidroloških pogojev → določitev minimalne potrebne debeline voziščne konstrukcije –  $h_{min}$  (TSC 06.512).

Preglednica 10: Tipske voziščne konstrukcije na maloprometnih cestah (TSC 03.325:2003)

| PLDP                         |                     |                     |                              |                     |                     |                              |                     |                     |
|------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|
| Od 300 do 500 vozil          |                     |                     | Od 100 do 300 vozil          |                     |                     | < 100 vozil                  |                     |                     |
| $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$ | $45 \text{ MN/m}^2$ | $80 \text{ MN/m}^2$ | $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$ | $45 \text{ MN/m}^2$ | $80 \text{ MN/m}^2$ | $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$ | $45 \text{ MN/m}^2$ | $80 \text{ MN/m}^2$ |
|                              |                     |                     |                              |                     |                     |                              |                     |                     |
|                              |                     |                     |                              |                     |                     |                              |                     |                     |
|                              |                     |                     |                              |                     |                     |                              |                     |                     |

### Legenda:

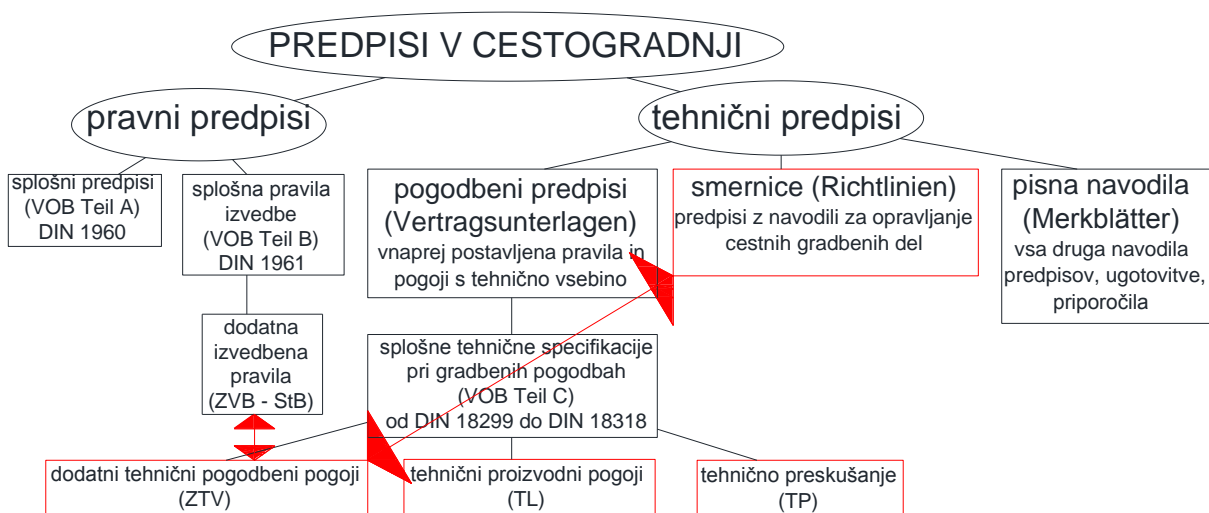
-  zmes zrn peska 0/4 mm za zaklinjenje makadamskega vozišča
-  bituminiziran drobljenec BD 22 + enoplastna površinska prevleka
-  bituminizirana nosilno obrabna plast BNOP 16 (6 ali 7 cm) ali BB 11 (5 cm)
-  dvoplasna površinska prevleka
-  drobljenec
-  prodec



### 3.3 Standardizirani postopki

Standardizirani postopki določanja dimenzij voziščnih konstrukcij se uporabljajo predvsem v Nemčiji, Avstriji in Franciji. Države so se pri izdaji standardiziranih prereзов voziščne konstrukcije opirali na predpise, ki so bili prej v splošni uporabi.

#### 3.3.1 Standardizacija v Nemčiji



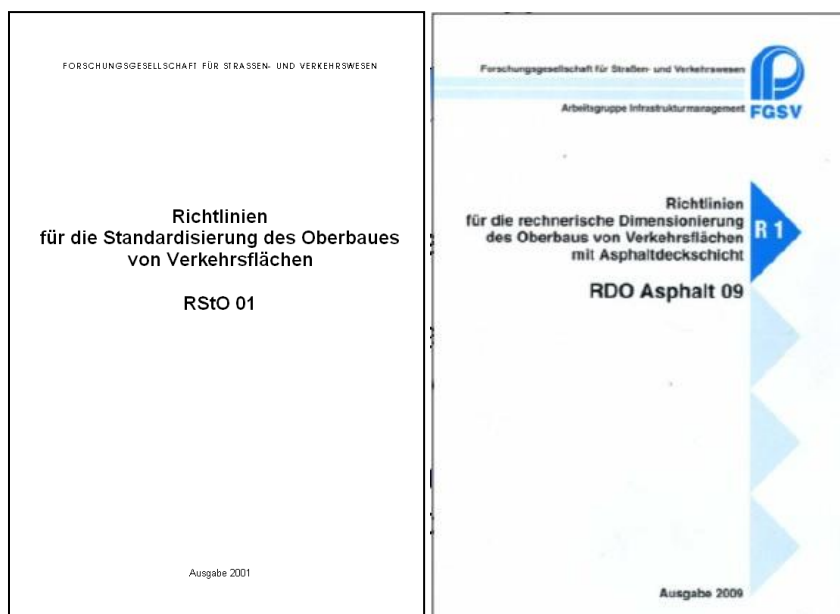
Slika 25: Predpisi, ki so v uporabi v nemški cestogradnji (Schäfer, 2008)

Pomen kratic na sliki zgoraj (slovenski prevod je zapisan na sliki 25):

ZTV - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen

TL – Technische Lieferbedingungen

TP – Technische Prüfvorschriften



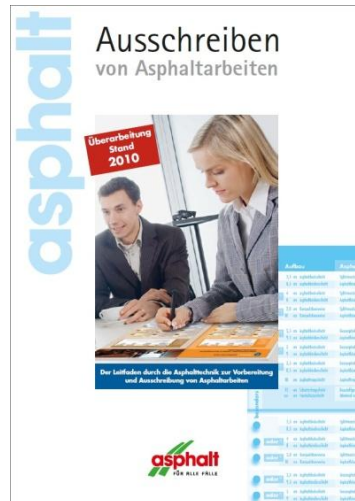
Slika 26: Smernice za standardizacijo voziščnih konstrukcij na prometnih površinah (levo) in Smernice za dimenzioniranje voziščnih konstrukcij z asfaltnimi obrabnimi plastmi (desno) (Jähnig, 2012)

V cestogradnji v Nemčiji velja vrsta pravnih in tehničnih predpisov. Ena od smernic z naslovom Smernice za standardizacijo voziščnih konstrukcij na prometnih površinah, izdaja 2001 (oziroma Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (v nadaljevanju RStO 01)), podaja standardizirane prereze voziščnih konstrukcij, ki so bili preračunani z analitičnim postopkom.

V letu 2010 je Nemško združenje za asfalt (oziroma Deutcher Asphaltverband (v nadaljevanju DAV)) natisnilo že tretjo izdajo posebnega pripomočka za dimenzioniranje z naslovom Razpisi asfaltnih del (oziroma Ausschreiben von Asphaltarbeiten (v nadaljevanju Razpisi)) (slika 27), ki je v praksi inženirjem v veliko pomoč in je sestavljen iz treh delov:

- prvi del opisuje pravno osnovo in vsebuje napotke za pripravo razpisnih pogojev in gradbenih pogojev
- drugi del je gradbeno-tehnični in opisuje osnove asfaltne tehnologije

- tretji del povezuje napotke za postavitev asfaltne krovne plasti za izbran gradbeni razred in elemente besedila ter primer razpisa običajne asfaltne voziščne konstrukcije.



Slika 27: Publikacija Razpisi asfalterskih del

Za razliko od tehničnih predpisov, upoštevanih v starejši izdaji Razpisov iz leta 2003, so bili v izdaji leta 2010 upoštevani nekateri novi. Npr.:

- tehnične proizvodne specifikacije asfaltnih mešanic za gradnjo utrjenih prometnih površin, izdaja 2007 (TL Asphalt-StB 07)
- dodatni tehnični pogoji za gradbeno pogodbo pri gradnji utrjenih asfaltnih prometnih površin, izdaja 2007 (ZTV Asphalt-StB 07)
- tehnično preskušanje za asfalt (TP Asphalt-StB) ter nekateri drugi.

Ostali tehnični proizvodni pogoji, tehnični preskusi, smernice, pisna navodila, priporočila in napotki, na katere se pripomoček sklicuje, so ostali nespremenjeni in zanje so bile uporabljene prejšnje veljavne izdaje.

Do izdaje tega pripomočka pri projektiranju je prišlo, ker:

- mora biti projekt planersko in gradbeno-tehnično ustrezen, gospodaren ter

- gradbena pogodba mora biti nedvoumno zapisana in vsebovati mora jasna pravila, da ne pride do nesporazumov (Täube, 2011).

| Zelle | Bauklassen   | SV                     | I                         | II                        | III                    | IV                        | V                         | VI                       |  |
|-------|--|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--|
|       | Äquivalente 10 t Achsübergänge in Mio.   | > 32                   | > 10 bis 32               | > 3 bis 10                | > 0,8 bis 3            | > 0,3 bis 0,8             | > 0,1 bis 0,3             | ≤ 0,1                    |  |
|       | Dicke des frostsicheren Oberbaues  | 55 65 75 85            | 55 65 75 85               | 55 65 75 85               | 45 55 65 75            | 45 55 65 75               | 35 45 55 65               | 35 45 55 65              |  |
| 1     | <b>Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht</b>                                   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Asphaltdeckschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Asphaltbinderschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Asphalttragschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Frostschutzschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Dicke des frostsicheren Oberbaues  | 31 <sup>2)</sup> 41 51 | 25 <sup>3)</sup> 35 45 55 | 29 <sup>3)</sup> 39 49 59 | 33 <sup>2)</sup> 43 53 | 27 <sup>3)</sup> 37 47 57 | 21 <sup>2)</sup> 31 41 51 | 25 35 45 55              |  |
| 3     | <b>Asphalttragschicht und Schottertragschicht auf Frostschutzschicht</b>           |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Asphaltdeckschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Asphaltbinderschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Asphalttragschicht   |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Schottertragschicht <sup>17)</sup><br>$E_{v2} \approx 150$ (170) MM/m <sup>2</sup> |                        |                           |                           |                        |                           |                           |                          |  |
|       | Dicke der Frostschutzschicht   | – 30 <sup>2)</sup> 40  | – 34 <sup>2)</sup> 44     | – 28 <sup>3)</sup> 38 48  | – 32 <sup>2)</sup> 42  | – 26 <sup>3)</sup> 36 46  | – 18 <sup>3)</sup> 28 38  | – 20 <sup>2)</sup> 30 40 |  |

Slika 28: Standardizirani prerezi voziščnih konstrukcij brez vmesne nevezane nosilne plasti (zgoraj) in s 15 cm slojem (spodaj) (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

V standardiziranih prerezih voziščnih konstrukcij se upošteva:

- merodajna skupna prometna obremenitev, ki je glede na velikost razvrščena v 6 + 1 skupino (oranžna obroba na sliki 28),
- skupne debeline proti učinkom mraza odpornih materialov v voziščnih konstrukcijah, razvrščene v 4 skupine (modra obroba na sliki 28),
- minimalne vrednosti deformacijskih modulov  $E_{v2}$  na planumu plasti nevezanih materialov in podobne na planumih podlage (rjava obroba na sliki 28) ter
- debeline plasti značilnih materialov v voziščnih konstrukcijah (rdeča obroba na sliki 28).

Preglednica, ki je vsebovana tudi v Razpisih in prikazana na sliki 28, je privzeta iz RStO 01 (preglednica G v prilogi 2). Podatki o debelini standardiziranih asfaltnih plasti v odvisnosti od gradbenega razreda temeljo na izkušnjah in izračunih. Pri določanju standardiziranih voziščnih konstrukcij so bili v pomoč tudi podatki o podnebnih razmerah v Nemčiji. Odločilna za določitev skupne debeline utrjene prometne površine je debelina zmrzljivo odporne voziščne konstrukcije.

Prerezi s standardizirano sestavo voziščnih konstrukcij obstojijo za asfaltne (prikazani na sliki 28), cementnobetonke ter tlakovane krovne plasti in posebej za kolesarske ter pešpoti.

### 3.3.1.1 Prometne obremenitve

Za določitev gradbenega razreda obstaja v Nemčiji podobna formula za izračun merodajne prometne obremenitve (enačba 21), kot je zapisana v slovenskih TSC-jih (enačba 18). Za razliko od slovenskih TSC-jev, v katerih se dimenzionira na 20 letno življenjsko dobo, nemški pravilnik predvideva življenjsko dobo uporabe 30 let.

$$B = N \cdot DTV_w^{(SV)} \cdot f_A \cdot q_{Bm} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365 \quad (\text{en. 21})$$

*B*...obremenitev (oziroma Beanspruchung)

*N*...število let predvidene življenjske dobe (v pravilniku 30 let) (oziroma Nutzungszeitraum)

$DTV_w^{(SV)}$ ...povprečna dnevna gostota težkega tovornega prometa med tednom v prvem letu uporabe (oziroma Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des werktäglichen Schwerverkehrs)

$f_A$ ...faktor povprečnega števila osi pri težkem prometu (oziroma Faktor für durchschnittliche Achszahl) (slika 2.1 v prilogi 2)

$q_{Bm}$ ...kvocient upoštevanja povprečne porazdelitve obremenitve na osi (oziroma Lastkollektivquotient berücksichtigt mittlere Achslastverteilungen) (slika 2.2 v prilogi 2)

$f_1$ ...faktor prečnega prereza vozišča (oziroma Fahrstreifenfaktor) (slika 2.3 v prilogi 2)

$f_2$ ...faktor širine prometnih pasov (oziroma Fahrstreifenbreitenfaktor) (slika 2.4 v prilogi 2)

$f_3$ ...faktor vzdolžnega nagiba nivelete (oziroma Steigungsfaktor) (slika 2.5 v prilogi 2)

$f_z$ ...faktor prometne rasti (oziroma Zuwachsfaktor) (slika 2.6 v prilogi 2).

Prometne obremenitve so bile nato radeljene v 6 + 1 skupino obremenitev (oziroma v nadaljevanju gradbeni razred, slika 2.7 v prilogi 2).

Glavni kriterij za določitev debeline asfaltne plasti je pričakovana prometna obremenitev. Zaradi prehajanja težkih tovornih vozil, tovornjakov s priklopniki in avtobusov je velikega pomena upoštevanje višje osne obremenitve na dolžino življenjske dobe cestne utrditve. V odvisnosti od obremenitve se določi gradbeni razred (od gradbenega razreda SV in I za težji do gradbenega razreda VI za lažji promet).

Preglednica 11: Razvrstitev gradbenih razredov (Standardisierter Oberbau mit Asphaltdecken für Fahrbahnen, 2006)

| Gradbeni razred | od               | do               | uporaba   |
|-----------------|------------------|------------------|---|
| SV              | $32 \cdot 10^6$  |                  | posebna   |
| I               | $10 \cdot 10^6$  | $32 \cdot 10^6$  | posebna   |
| II              | $3 \cdot 10^6$   | $10 \cdot 10^6$  | posebna   |
| III             | $0,8 \cdot 10^6$ | $3 \cdot 10^6$   | posebna   |
| IV              | $0,3 \cdot 10^6$ | $0,8 \cdot 10^6$ | normalna  |
| V               | $0,1 \cdot 10^6$ | $0,3 \cdot 10^6$ | normalna  |
| VI              |                  | $0,1 \cdot 10^6$ | za kolesarske steze<br>in pločnike z lahko<br>obremenitvijo |

Pri izbiri vrste in kvalitete bituminizirane zmesi se privzame, da posebne obtežbe vedno spadajo v gradbene razrede SV in I do III, normalne obtežbe v gradbene razrede IV in V in

lahke obtežbe (tudi kolesarske poti in pešpoti) v gradbeni razred VI. Obremenitev se lahko poveča na račun vpliva podnebja, kot sta npr.:

- posebno visoka temperatura v daljšem obdobju in
- intenzivna direktna sončna svetloba na prisojnih legah.

Razredi po nemških smernicah in TSC-ji se nekoliko razlikujejo. Zajemajo namreč različna območja obremenitev (slika 29). Upoštevati je treba dejstvo, da se načrtovane življenjske dobe v obeh državah razlikujejo.

Pri nemških smernicah je, za razliko od kategorij po TSC-jih, ena kategorija obremenitev več. Ločita se tudi po intervalih obremenitev. Npr. lahka obremenitev po TSC-ju velja do vrednosti  $2 \cdot 10^5$ , medtem ko je po nemških smernicah IV razred do vrednosti  $1 \cdot 10^5$ . Izredno težka skupina obremenitve je po TSC-jih nad vrednostjo  $2 \cdot 10^7$ , razred obremenitve SV pa je nad vrednostjo  $3,2 \cdot 10^7$ .

Posebne obremenitve nastajajo npr. pri:

- pasu za avtobuse s težkim prometom in vožnjo skozi ozke ovinke
- počasnem avtobusnem prometu
- odseku s pogostim zaviranjem in pospeševanjem
- območju križišč in priključkov
- avtobusnih postajah in postajališčih
- stoječem ali »stop-and-go« prometu
- posebej visokih temperaturah preko daljšega obdobja
- intenzivnejšem sončnem obsevanju, kot npr. na prisojni (južni pobočni) legi.





Preglednica 12: Vrste cest in pripadajoči gradbeni razredi (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Vrste cest   | Gradbeni razred |
|--|-----------------|
| avtoceste, industrijske zbirne ceste                                 | SV/I/II         |
| hitre ceste, industrijske ceste, ceste v obrtni coni                 | II/III          |
| stanovanjska zbirna cesta, cona za pešce z malo prometa              | III/IV          |
| dostopna cesta, prevozna pot, cona za pešce (brez prometa avtobusov) | V/VI            |

### 3.3.1.2 Asfaltne plasti

Kvalitete bitumeniziranih zmesi, ki so načrtovane za posebne obtežbe, so označene s črko *S* (posebna oziroma besondere) na koncu njihove oznake. Kvalitete bitumeniziranih zmesi, ki so načrtovane za normalne obtežbe, so označene s črko *N* (normalne oziroma normale) in kvalitete bitumeniziranih zmesi, ki so načrtovane za lahke obremenitve, so označene s črko *L* (lahka oziroma leichte) na koncu njihove oznake (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010).

Uporaba posameznih vrst standardiziranih cestogradbenih bitumnov (B) oziroma polimernih bitumnov (PmB) je odvisno od skupine prometne obremenitve (oziroma gradbenega razreda) (preglednica 14).

Preglednica 13: Primerne vrste asfaltnih plasti in kvaliteta glede na pričakovano obtežbo  
(Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Razred gradnje/tip plasti  | Asfaltna nosilna plast | Asfaltna vezna plast  | Asfaltna nosilno - obrabna plast | Obrabna plast iz       |                                  |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                            |                        |                       |                                  | asfaltnega betona      | drobirja z bitumenskim mastiksom |
| SV in I                    | AC 32 T <sup>5</sup> S | AC22 B <sup>6</sup> S | -                                | -                      | SMA 11 S                         |
| II                         | AC 22 T S              | AC 16 B S             |                                  | AC 11 D <sup>7</sup> S | SMA 8 S                          |
| III                        |                        | AC 16 B S             |                                  |                        |                                  |
| IV                         |                        | (AC 16 B N)           |                                  |                        |                                  |
| V                          | AC 22 T N              | -                     |                                  | AC 8 D N               |                                  |
| VI                         |                        |                       |                                  | AC 16 T D              | AC 8 D L<br>AC 5 D L             |
| Kolesarske poti in pešpoti | AC 32 T N<br>AC 22 T L |                       |                                  |                        | -                                |

Iz preglednice 14 je razvidno, da se za posebne skupine obremenitev pri asfaltnih obrabnih plasteh uporabljajo s polimeri modificirani bitumni. Ti se uporabljajo v točno določeni kombinaciji z zmesjo zrn (preglednica 13). Če se obravnava primer iz skupine prometnih obremenitev SV, se iz preglednice 14 odčita, da se za obrabno plast drobirja z bitumenskim mastiksom SMA 8 ali SMA 11 (preglednica 13) uporabi polimerno bitumensko vezivo PmB 45.

<sup>5</sup> T = nosilna plast (Tragschicht)

<sup>6</sup> B = zgornja vezana (vezna) plast (Binderschicht)

<sup>7</sup> D = obrabna plast (Deckschicht)

Preglednica 14: Primerna vrsta veziva in kvaliteta glede na pripadajočo obremenitev  
 (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Razred gradnje/tip plasti  | Asfaltna nosilna plast | Asfaltna vezna plast        | Asfaltna nosilno-obrabna plast | Obrabna plast iz  |                                  |
|----------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|
|                            |                        |                             |                                | asfaltnega betona | drobirja z bitumenskim mastiksom |
| SV in I                    | 50/70<br>(30/45)       | PmB 45<br>30/45<br>(PmB 25) | -                              | -                 | PmB 45                           |
| II                         |                        |                             |                                | PmB 45            |                                  |
| III                        |                        |                             |                                | PmB 45<br>(50/70) | PmB 45<br>(50/70)                |
| IV                         | 70/100<br>(50/70)      | 50/70                       | 70/100                         | 50/70             | 50/70                            |
| V                          | 70/100                 | -                           |                                | 50/70             | 70/100                           |
| VI                         |                        | 70/100                      |                                | 70/100            |                                  |
| Kolesarske poti in pešpoti |                        | 70/100                      |                                | 70/100            | -                                |

### 3.3.1.3 Parkirne površine

Kot je bilo že prej omenjeno, so v Razpisih vsebovane različne preglednice, ki glede na namen površine predlagajo gradbene razrede. Ene izmed teh so tudi takšne, ki obravnavajo parkirne površine. Razlikujejo med parkirnimi površinami, ki so v neprestani uporabi (preglednica 16) in med občasno uporabljenimi površinami (preglednica 15).

Primerjava preglednic 15 in 16 kaže, da morajo biti stalno uporabljene površine, v primerjavi z občasno uporabljenimi, v povprečju razvrščene za en gradbeni razred višje. Stalno uporabljena parkirišča so npr. parkirišča v centrih mest, v stanovanjskih četrtih, ob

nakupovalnih središčih, občasno uporabljena pa npr. parkirišča ob manjših trgovinah izven večjih mest ali ob podjetjih, namenjena parkiranju delavcev.

Preglednica 15: Razvrstitev gradbenih razredov na parkirnih površinah, ki so v občasni uporabi (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Vrsta prometa  | Gradbeni razred     |
|--|---------------------|
| Težak promet   | IV/V                |
| Promet osebnih avtomobilov z majhnim deležem težjega prometa | V/VI                |
| Promet osebnih vozil   | Preveriti v RstO 01 |

Preglednica 16: Razvrstitev gradbenih razredov na parkirnih površinah, ki se uporabljajo neprestano (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

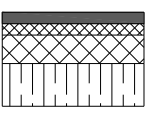
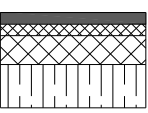
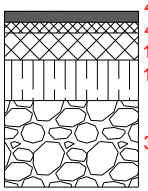
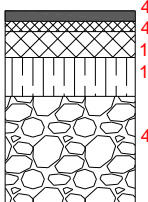
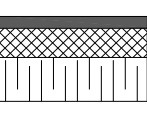
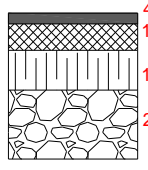
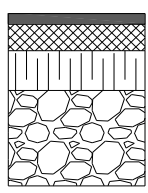
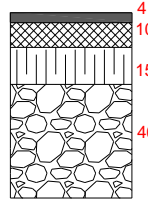
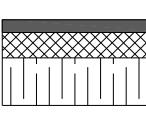
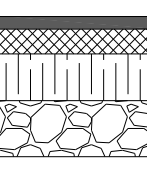
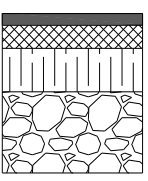
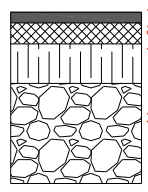
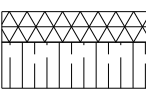
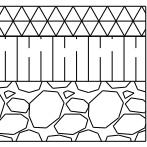
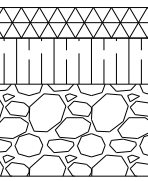
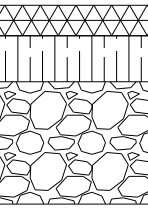
| Vrsta prometa                          | Gradbeni razred |
|--|-----------------|
| Težak promet                           | III/IV          |
| Lahek promet z majhnim deležem težkega | V               |
| Lahek promet                           | VI              |

Merodajne standardizirane voziščne konstrukcije v odvisnosti od globine zmrzovanja za parkirišča so podrobneje prikazane v preglednici 17. Ti gradbeni razredi veljajo za parkirišča, namenjena največ običajnemu težkemu prometu. Parkirišča, ki so izpostavljena posebnim večjim obremenitvam, spadajo v višje gradbene razrede in jih je treba posebej obravnavati. Znotraj enega razreda (znotraj ene vrstice preglednice 17) so prikazane debeline plasti dejanske konstrukcije, ki so prevzete iz RStO 01.

Pri načrtovani življenski dobi manj kot 30 let je lahko zaradi pričakovane manjše obremenitve pri izvedbi smiselno upoštevati nižje razrede gradnje, npr. razred gradnje IV namesto razred gradnje III. Preveriti je potrebno tudi, katera vrsta asfaltne zmesi je zaradi obremenjevanja

potrebna za doseg zadostne obstojnosti proti preoblikovanju asfaltnih plasti (npr. med uporabo vrste asfaltne zmesi *N* namesto *S* v primeru gradbenega razreda IV).

Preglednica 17: Standardizirane voziščne konstrukcije za dimenzioniranje parkirišč  
 (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Gradbeni razred | Globina zmrzovanja [cm]   |   |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|---|---|
|                 | 35  | 45  | 55  | 65  | 75  |
| III             |   |    |    |    |    |
| IV              |   |  |  |  |  |
| V               |  |  |  |  |   |
| VI              |  |  |  |  |   |

## Legenda:

|   |                                |
|---|--------------------------------|
|  | asfaltna obrabna plast         |
|  | asfaltna vezana plast          |
|  | asfaltna nosilna plast         |
|  | tamponska nosilna plast        |
|  | zmrzlino odporna plast         |
|  | asfaltna obrabno nosilna plast |

## 3.3.1.4 Predlogi asfaltnih plasti za parkirne površine

Na koncu publikacije Razpisi so podane možne izvedbe asfaltnih plasti voziščnih konstrukcij za posamezne razrede gradnje. Prve možnosti, ki so navedene na sliki 30 in v preglednicah 18 do 20, se jo najpogosteje uporablja pri izvedbi, lahko pa se uporabijo tudi preostale možnosti, ki so navedene pod njimi.

|                     | Aufbau                                       | Asphaltart   | Asphaltsorte                           | Bindemittel         | Textbaustein |
|---------------------|--|--|--|---------------------|--------------|
|                     | 3,5 cm Asphaltdeckschicht                    | Spülmastixasphalt  | SMA 8 S                                | 25/55-55 A          | ADe 1        |
|                     | 6,5 cm Asphaltbinderschicht                  | Asphaltbinder  | AC 16 B S                              | 25/55-55 A          | ABi 5        |
| oder <sup>1)</sup>  | 4 cm Asphaltdeckschicht                      | Spülmastixasphalt  | SMA 11 S (bevorzugt außerorts)         | 25/55-55 A          | ADe 2        |
|                     | 6 cm Asphaltbinderschicht                    | Asphaltbinder  | AC 16 B S                              | 25/55-55 A          | ABi 5        |
| oder <sup>1)</sup>  | 4 cm Asphaltdeckschicht                      | Asphaltbeton   | AC 11 D S                              | 25/55-55 A          | ADe 5        |
|                     | 6 cm Asphaltbinderschicht                    | Asphaltbinder  | AC 16 B S                              | 25/55-55 A          | ABi 5        |
| besonders empfohlen | 2,5 cm Asphaltdeckschicht                    | Gussasphalt  | MA 5 S                                 | 20/30               | ADe 16       |
|                     | 6,5 cm Asphaltbinderschicht                  | Asphaltbinder  | AC 16 B S                              | 25/55-55 A          | ABi 5        |
|                     | 3 cm Asphaltdeckschicht                      | Gussasphalt  | MA 8 S                                 | 20/30               | ADe 14       |
|                     | 6 cm Asphaltbinderschicht                    | Asphaltbinder  | AC 16 B S                              | 25/55-55 A          | ABi 5        |
|                     | 3,5 cm Asphaltdeckschicht                    | Gussasphalt  | MA 11 S <sup>*)</sup>                  | 20/30               | ADe 12       |
|                     | 6,5 cm Asphaltbinderschicht                  | Asphaltbinder  | AC 16 B S                              | 25/55-55 A          | ABi 5        |
|                     | 8 oder 9 <sup>*)</sup> cm Asphalttragschicht | Asphalttragschichtmischgut   | AC 32 T S oder <sup>2)</sup> AC 22 T S | 50/70 <sup>4)</sup> | ATS 7/8      |
|                     | 15 cm Schottertragschicht                    | Baustoffgemisch 0/32 für Schottertragschichten nach TL SoB-SiB und ZTV SoB-SiB   |  |                     | SoB 5        |
|                     | xx cm Frostschutzschicht                     | (Material nach örtlichen Erfahrungen und Dicke nach Tabellen 6 bis 8 der RStIO 01, in der Regel aber mindestens 35 cm) |  |                     | SoB 1        |

\*) Nur dort, wo klimatische Aspekte keine Rolle spielen.

Slika 30: Primer možnih izvedb asfaltnih plasti za III razred obremenitev (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

Pri primerjavi dimenzij standardiziranih voziščnih konstrukcij iz RStO 01 s predlaganimi izvedbami asfaltnih krovnih plasti iz Razpisov je razvidno, da se slednje razlikujejo v debelini za 1 cm. V Razpisih so uporabljene večje debeline asfaltnih vezanih in obrabnih plasti, ki omogočajo določene rezerve pri novogradnji.

V publikaciji Razpisi asfaltnih del je opisan IV razred vozišč, ki vključuje četrtno, zbirne ulice, cone za pešce in stalno uporabna parkirišča. Predvideva, da je:

- na nevezani nosilni plasti deformacijski modul  $E_{v2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$
- na posteljici deformacijski modul  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$
- na planumu temeljnih tal deformacijski modul  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ .

Preglednica 18: Možne izvedbe voziščnih konstrukcij v IV razredu (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Plast                        | Graditev | Vrsta asfalta                  | Oznaka asfalta             | Vezivo |
|------------------------------|----------|--------------------------------|----------------------------|--------|
| Asfaltna obrabna             | 3 cm     | Asfaltni beton                 | AC 8 D N                   | 50/70  |
| Asfaltna nosilna             | 11 cm    | Asfaltne nosilne zmesi         | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna             | 4 cm     | Asfaltni beton                 | AC 11 D N                  | 50/70  |
| Asfaltna nosilna             | 10 cm    | Asfaltne nosilne zmesi         | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna             | 3 cm     | Drobir z bitumenskim mastiksom | SMA 8 N                    | 50/70  |
| Asfaltna nosilna             | 11 cm    | Asfaltne nosilne zmesi         | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Plasti brez veziva           |          |                                |                            |        |
| Nosilna plast iz drobljenca  | 15 cm    | Zmes zrn 0/32                  |                            |        |
| Zaščitna plast proti zmrzali | xx cm    | Debelina najmanj 35 cm         |                            |        |

Naslednji razred, ki se uporablja za dimenzioniranje parkirišč, je V razred vozišč, ki vključuje stanovanjske ulice. Zanj je predvideno, da je:

- na nevezani nosilni plasti deformacijski modul  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ ,
- na posteljici deformacijski modul  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  in
- na planumu temeljnih tal deformacijski modul  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ .

Preglednica 19: Možne izvedbe voziščnih konstrukcij v V razredu (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Plast                           | Graditev | Vrsta asfalta                     | Oznaka asfalta             | Vezivo |
|---------------------------------|----------|-----------------------------------|----------------------------|--------|
| Asfaltna obrabna                | 3 cm     | Asfaltni beton                    | AC 8 D N                   | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                | 9 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna                | 4 cm     | Asfaltni beton                    | AC 11 D N                  | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                | 8 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna                | 3 cm     | Drobir z bitumenskim<br>mastiksom | SMA 8 N                    | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                | 8 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Plasti brez veziva              |          |                                   |                            |        |
| Nosilna plast iz<br>drobljenca  | 15 cm    | Zmes zrn 0/32                     |                            |        |
| Zaščitna plast<br>proti zmrzali | xx cm    | Debelina najmanj 25 cm            |                            |        |

Za lahke obremenitve se uporablja VI razred, ki zajema parkirišča za promet z osebnimi vozili. Zanj velja, da je:



- na nevezani nosilni plasti deformacijski modul  $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ ,
- na posteljici deformacijski modul  $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$  in
- na planumu temeljnih tal deformacijski modul  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ .

Preglednica 20: Možne izvedbe voziščnih konstrukcij v VI razredu (Ausschreiben von Asphaltarbeiten, 2010)

| Plast                             | Graditev | Vrsta asfalta                     | Oznaka asfalta             | Vezivo |
|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|----------------------------|--------|
| Asfaltna obrabna                  | 2 cm     | Asfaltni beton                    | AC 5 D N                   | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                  | 9 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna                  | 3 cm     | Asfaltni beton                    | AC 8 D N                   | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                  | 8 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna                  | 2 cm     | Drobir z bitumenskim<br>mastiksom | SMA 5 N                    | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                  | 9 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna obrabna                  | 3 cm     | Drobir z bitumenskim<br>mastiksom | SMA 8 N                    | 50/70  |
| Asfaltna nosilna                  | 8 cm     | Asfaltne nosilne zmesi            | AC 32 T N ali<br>AC 22 T N | 70/100 |
| Asfaltna nosilno<br>obrabna plast | 11 cm    | Asfaltna nosilno<br>obrabna plast | AC 16 TD                   | 70/100 |
| Plasti brez veziva                |          |                                   |                            |        |
| Nosilna plast iz<br>drobljenca    | 15 cm    | Zmes zrn 0/32                     |                            |        |
| Zaščitna plast<br>proti zmrzali   | xx cm    | Debelina najmanj 25 cm            |                            |        |

Preglednice s predlaganimi debelinami, vrsto uporabljenega veziva ter asfaltne plasti se nato lahko kombinira s preglednico 17, kjer se določi potrebno debelino plasti posteljice v odvisnosti od globine zmrzovanja. Če je nosilnost podlage, to je temeljnih tal ali posteljice, prenizka, je običajen ukrep dodatna 15 cm debela plast drobljenca.

### 3.3.2 Standardizacija v Avstriji

V letu 1986 je bila izdana 1. verzija standardiziranih prerezov za asfaltne in betonske voziščne konstrukcije. Modifikacija osnovnega analitičnega načrtovalnega procesa in razširitev obtežnih razredov zaradi povečanega prometa je bila izdana v letu 1998. V letu 2008 je bila potrebna posodobitev zaradi novih izdanih materialnih standardov EN za stabilizirane in asfaltne plasti.

Postopek določitve standardizirane voziščne konstrukcije temelji na analitičnih izračunih:

- izračuni načrtovane prometne obremenitve in določitev obtežnega razreda (S – najvišji, VI - najnižji),
- izbira standardiziranega konstrukcijskega tipa (4 bitumenski, 2 betonska, 2 tlakovana),
- upošteva se standardizirana minimalna nosilnost na podlagi temeljnih tal  $E_{vI} \geq 35$  MN/m<sup>2</sup>.

#### 3.3.2.1 Prometne obremenitve

Merodajna prometna obremenitev se izračunana na naslednji način:

$$DESAL = ESAL_{day} \cdot R \cdot V \cdot S \cdot 365 \cdot n \cdot z \quad (\text{en. 22})^8$$

*R*...faktor porazdelitve prometa po smereh ( $R = 0,5$ , če je promet enakomerno porazdeljen v obe smeri)

---

<sup>8</sup> Uporabljene so formule in oznake s predavanja v angleščini.

$V$ ... faktor števila pasov na smer ( $V = 1,0$  v primeru 1 ali 2 pasov na smer,  $V = 0,9$ , če je  $\geq 3$  pasov na smer )

$S$ ...faktor širine pasov

$n$ ...načrtovana doba voziščne konstrukcije (30 let za betonske in 20 let za ostale vrste konstrukcij)

$z$ ...faktor rasti prometa (izhaja iz rezultatov prometnega štetja ali napovedovnjaja prometa, če nista na razpolago, se uporabi letna stopnja rasti  $p$ ;  $p = 3\%$  za avtoceste in  $p = 1\%$  za ostale ceste)

$ESAL_{day}$  ...povprečne dnevne standardne obremenitve (prehod 100 kN standardne osne obremenitve) skozi celoten prerez v času, ko se cesta odpre za promet

$ESAL_{day}$  se lahko izračuna na dva načina:

- v primeru, ko so poznani podatki prometnega štetja, v katerem se razlikuje kategorije vozil

$$ESAL_{day} = \sum_i AADT_{CV,i} \cdot A_{CV,i} \quad (\text{en. 23})$$

$AADT_{CV,i}$ ...povprečni dnevni letni promet posameznega tipa vozila ( $i$ ) skozi celoten prerez

$A_{CV,i}$ ...faktor ekvivalentnosti kategorije vozila

Preglednica 21: Faktor ekvivalentnosti kategorije vozila (Blab, Hofko, 2012)

| Reprezentativna kategorija težkih vozil $i$ | Faktor ekvivalentnosti vozila $A_{CV,i}$ |
|---|--|
| Tovornjak                                   | 0,70                                     |
| Tovornjak s prikolico, polpriklopnik        | 1,20                                     |
| Avtobus                                     | 0,60                                     |
| Nizkopodni avtobus v urbanem javnem prometu | 0,80                                     |
| Zglobni avtobus v urbanem javnem prometu    | 1,40                                     |

- v primeru, ko niso definirane posamezne kategorije vozil:

$$ESAL_{day} = \sum_i AADT_{CV} \cdot A_{CV}$$

$AADT_{CV}$ ...PLDP transportnih vozil (tovornjakov, avtobusov v 24 urah) v celotnem prečnem prerezu

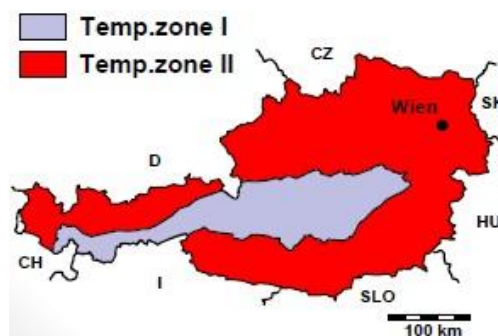
$A_{CV}$ ...faktor ekvivalentnosti kategorije ceste

Preglednica 22: Faktor ekvivalentnosti kategorije ceste (Blab, Hofko, 2012)

| Kategorija ceste | Faktor ekvivalentnosti $A_{CV}$ |
|------------------|---------------------------------|
| Avtoceste        | 1,0                             |
| Ostale ceste     | 0,9                             |

### 3.3.2.2 Temperatura

Temperaturni spekter asfaltnih plasti je sestavljen iz 12 reprezentativnih temperaturnih profilov (6 letnih obdobj ločenih na dan in noč). Avstrija se deli na 2 temperaturni coni (slika 31): alpsko (cona I) in nealpsko (cona II).



Slika 31: Temperaturne cone v Avstriji (Blab, Hojko, 2012)

Togost asfaltnega modela se za vsako plast definirana s pomočjo temperaturnega profila in se jo uporablja za nadaljne načrtovanje.

### 3.3.2.3 Katalog načrtovanja

RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) zajema več kot 1000 strani pravilnikov, ki so v pomoč pri projektiranju cest. V 15 poglavjih so opisani pogoji od prometa in načrtovanja cest, mostov, predorov, do rekonstrukcij voziščnih konstrukcij in podatki o uporabljenih materialih, itd. V 3. poglavju RVS, z naslovom Planiranje cest (Straßenplanung), so zapisane najpomembnejše informacije za avstrijske načrtovalce cest, ki so pri projektiranju avtocest in državnih cest v Avstriji tudi pravno zavezujoče. 8 podpoglavje je namenjeno tehničnim specifikacijam za ceste in v razdelku 63 (torej RVS 03.08.64) so med drugim podane standardizirane voziščne konstrukcije, ki so bile oblikovane na podoben način kot v Nemčiji. Standardizirane so bile na podlagi analitičnih metod z uporabo posebne formule za prometne obremenitve (enačba 22), definiranih lastnosti materialov pri izvedbi, temperature (dve coni sta bili določeni s pomočjo monitoringa), zakona utrujanja, itd. Za razliko od nemškega pravinika je predpostavljena življenjska doba asfaltnih voziščnih konstrukcij 20 let (kot v Sloveniji).

Za pravilno uporabo standardiziranih voziščnih konstrukcij je treba upoštevati dodatne pogoje:

- debeline so določene za različne vrste voziščnih konstrukcij (prožnih, poltogih in togih) in se uporabljajo samo v primeru novih konstrukcij
- predpisane so minimalne zahteve za nosilnost podlage in nevezane nosilne plasti
- posebno pozornost je treba nameniti asfaltnim površinam voziščnih konstrukcij, kjer se upošteva, da so asfaltne plasti med seboj popolnoma sprijete.
- na odsekih s počasi premikajočim težkim prometom (pred križišči, na odsekih z velikimi nagibi) mora material asfaltna površina ustrezati posebnim zahtevam (odpornost proti deformacijam).

| Lastklasse<br>(n = 20 Jahre) |                      | S                         | I          | II          | III           | IV            | V                   |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|---------------------|
| BNI W in Mio.                |                      | > 10 bis 25 <sup>1)</sup> | > 4 bis 10 | > 1,3 bis 4 | > 0,4 bis 1,3 | > 0,1 bis 0,4 | ≤ 0,1 <sup>2)</sup> |
| Baustufe 1                   | bit. Decke + bit. TS | 25                        | 23         | 20          | 16            | 13            | 10                  |
|                              | ungeb. Obere TS      | 20                        | 20         | 20          | 20            | 20            | 20                  |
|                              | ungeb. Untere TS     | 30                        | 30         | 30          | 30            | 30            | 30                  |
|                              |                      | UP                        | UP         | UP          | UP            | UP            | UP                  |

Slika 32: Primer standardiziranih voziščnih konstrukcij (Blab, Hojko, 2012)

V pripravi je nov vodič načrtovanja voziščnih konstrukcij, katerega izdaja je predvidena v letu 2015 (Blab, Hojko, 2012).

V njem bodo upoštevane specifikacije, ki temeljijo na dejanskem obnašanju voziščnih konstrukcij. Povezane bodo prometne obremenitve in podnebne razmere s kategorijami HMA (Hot Mixed Asphalt). Upoštevane bodo izboljšane predpostavke prometnih obremenitev in analiza stroškov skozi življenjsko dobo (oziroma Life Cycle Cost Analysis (LCCA)).

### 3.3.3 Standardizacija v Franciji

Pred letom 1950 so bile francoske voziščne konstrukcije narejene ob upoštevanju empiričnih osnov in redkeje s prilagoditvijo *CBR* metode francoskim pogojem. S povečanjem deleža težkega prometa so se konvencionalne voziščne konstrukcije v 60-ih letih izkazale za neustrezne. Potreba po definiranju francoske metode dimenzioniranja voziščnih konstrukcij se je pojavila tudi zaradi veliko poškodovanih cest v cestnem sistemu po izredni zimi na prelomu let 1962 in 1963. Prvi katalog struktur voziščnih konstrukcij, izdan v letu 1971, je temeljil na empiričnih in analitičnih postopkih. Označi se ga za pol-empiričnega, ker se je v njem upoštevalo tako opazovanje obstoječih voziščnih konstrukcij kot tudi snovanje mehaničnih modelov obnašanja in usedanja konstrukcij. Nova izdaja iz leta 1977, ki nosi naslov Vodič

načrtovanja voziščnih konstrukcij v naseljih (oziroma Guide de conception des structures de voiries des zones d'habitation en IdF) je bila popolnoma analitična.

V 90-ih letih je bilo načrtovanje voziščnih konstrukcij v Franciji definirano v katalogu in tehničnih vodičih uporabe regionalnih materialov, katerih število je do leta 2003 naraslo na 29 (pregled literature o dimenzioniranju voziščnih konstrukcij v departmaju Ile-de-France do leta 2001 je zapisan na sliki 3.2 v prilogi 3). Poleg kataloga, ki je temeljni pripomoček pri dimenzioniranju, je bilo izdanih še nekaj dokumentov na regionalni ravni. Takšen primer je npr. Tehnološki vodič uporabe regionalnih materialov v Ile-de-France (oziroma Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France (v nadaljevanju Tehnološki vodič)). Dokument je sestavljen iz splošnega uvoda, ki opisuje vhodne parametre in hipoteze pri dimenzioniranju, karakteristike materialov in podaja strukture tipskih prerezov voziščnih konstrukcij (slika 35). V njem se pridobi informacije o temeljnih tleh in možnosti uporabe drugih regionalnih materialov (elektrofilterskega pepela, gramoza, peska, žindre, pucolanov, elektrofilterskega pepela) v voziščni konstrukciji.

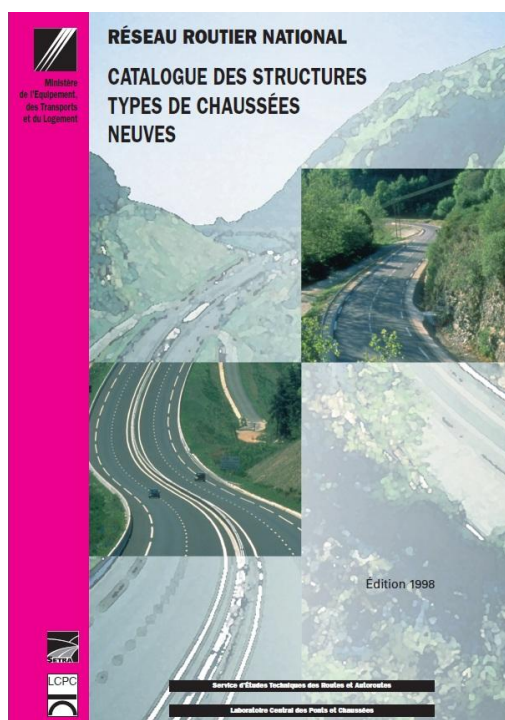
Za voziščne konstrukcije s šibkim prometom je bil v letu 1984 v Ile-de-France izdan katalog struktur, ki se je opiral na priročnik zasnove, ki sta ga izdala Oddelek za tehnične študije cest in avtocest (Service d'etudes techniques des routes et autoroutes (v nadaljevanju SETRA)) in Centralni laboratorij za mostove in ceste (Laboratoire central des ponts et chaussées (v nadaljevanju LCPC)) v letu 1981. Ta dokument je dopolnil katalog struktur iz leta 1977. Od leta 1984 sta bila izdana, s strani SETRA in LCPC, dva nova osnovna dokumenta, ki obravnavata dimenzioniranje voziščnih konstrukcij:

- Tehnični vodič zasnove in dimenzioniranja strukture voziščnih konstrukcij (leta 1994) ter
- Katalog tipskih struktur novih voziščnih konstrukcij (Le catalogue français des structures types de chaussées) za mrežo nacionalnih cest (v letu 1998 (slika 33)).

Uporaba kataloga je obvezna za dobro izvedbo cestnih del v državi, pri katerem se upošteva povečan povprečni promet z materialnimi nacionalnimi standardi. Izdan je bil, da bi omogočil enostavno izbiro voziščne konstrukcije pri praktičnem dimenzioniranju v odvisnosti od

razreda prometne obremenitve, kategorije ceste in podlage. Izdaja iz leta 1998 vsebuje enak način, ki je bil uporabljen že v izdaji iz leta 1977, vendar vsebuje dve novosti:

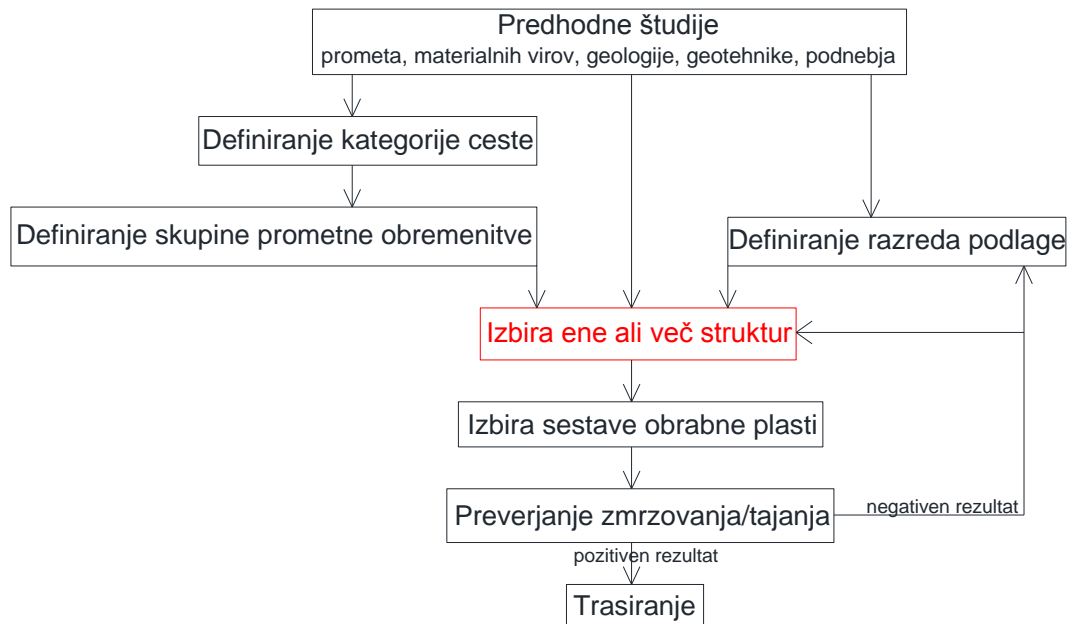
- določitev kategorije ceste in
- izbiro sestave obrabne plasti.



Slika 33: Katalog tipskih novogradenj voziščnih konstrukcij

V nasprotju s standardiziranimi voziščnimi konstrukcijami v Nemčiji, pri katerih je postopek določanja dimenzij zelo poenostavljen, je standardizacija v Franciji zelo specifična, tako da je že podobna podrobnemu načrtovanju. Načrtovalec voziščnih konstrukcij mora pri projektiranju novih voziščnih konstrukcij uporabiti poseben pristop za načrtovanje s pomočjo kataloga (slika 34).





Slika 34: Koncept pristopa načrtovalca (Wikipedia, 2012)

V procesu načrtovanja je potrebno narediti predhodne študije o količini in vrsti prometa, materialov, ki so na razpolago ter preučiti temeljna tla in podnebje. Na tej osnovi se nato določi kategorijo ceste, predvideno skupino/razred prometne obremenitve. Izbere se eno ali več struktur, ki so predlagane v katalogu v posebnih tabelah (primer tabele je na sliki 3.1 v prilogi 3) z upoštevanjem razreda podlage, ter sestavo asfaltnih plasti. Pomembno vlogo ima tudi preverjanje cone zmrzovanja. Če je na določenem območju cona zmrzovanja globlja od predlagane debeline ustroja, je potrebno proces dimenzioniranja vrniti nazaj na točko izbire struktur in v primeru, da še vedno zmrzlinško ne ustreza, se lahko poskusi z izboljšanjem lastnosti podlage. Ko se proces dimenzioniranja zaključi, se lahko začne z umeščanjem projektiranih dimenzij ceste v prostor.

Fiche n° 1 Structure : **GB3/GB3**

|     | 20 Mpa PF1*                         | 50 Mpa PF2                          | 120 Mpa PF3                         | 200 Mpa PF4                         |
|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| TC7 |                                     |                                     | 100°C jour Qb=3.1 200°C jour Qb=5.1 | 100°C jour Qb=3.4 200°C jour Qb=5.4 |
| TC6 |                                     | 100°C jour Qb=2.7 200°C jour Qb=5.7 | 100°C jour Qb=3.6 200°C jour Qb=5.7 | 100°C jour Qb=4 200°C jour Qb=7.1   |
| TC5 |                                     | 100°C jour Qb=3.4 200°C jour Qb=6.4 | 100°C jour Qb=4.1 200°C jour Qb=7.3 | 100°C jour Qb=4.5 200°C jour Qb=7.7 |
| TC4 |                                     | 100°C jour Qb=3.8 200°C jour Qb=7   | 100°C jour Qb=4.6 200°C jour Qb=7.9 | 100°C jour Qb=5.1 200°C jour Qb=8.5 |
| TC3 | 100°C jour Qb=3.8 200°C jour Qb=7   | 100°C jour Qb=4.2 200°C jour Qb=7.5 | 100°C jour Qb=5.1 200°C jour Qb=8.4 | 100°C jour Qb=5.6 200°C jour Qb=9   |
| TC2 | 100°C jour Qb=3.9 200°C jour Qb=7.5 | 100°C jour Qb=4.8 200°C jour Qb=8.2 | 100°C jour Qb=5.5 200°C jour Qb=8.9 | 100°C jour Qb=5.8 200°C jour Qb=9.3 |
| TC1 | 100°C jour Qb=4.6 200°C jour Qb=8.2 | 100°C jour Qb=5.2 200°C jour Qb=8.8 | 100°C jour Qb=5 200°C jour Qb=9.4   | 100°C jour Qb=6.3 200°C jour Qb=9.8 |
| TC0 | 100°C jour Qb=5.1 200°C jour Qb=8.4 | 100°C jour Qb=5.5 200°C jour Qb=8.9 | 100°C jour Qb=5 200°C jour Qb=9.4   | 100°C jour Qb=6.3 200°C jour Qb=9.8 |

Légende : A: CS=12cm B: CS=10cm C: CS=8cm D: CS=6cm E: CS=4cm F: CS=2.5cm G: CS=ES

\* : la portance de la plate-forme au moment des travaux doit être au moins de 30Mpa pour les trafics inférieurs à TC3 et 50 Mpa pour les trafics de classe TC3.

N.B. : les cases colorées correspondent à des structures n'existant pas dans le catalogue de 1998

Slika 35: Primer ene izmed podanih tabel tipskih voziščnih konstrukcij (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

### 3.3.3.1 Prometne obremenitve

Ločijo se skupine prometnih obremenitev na podoben način, kot v specifikacijah ostalih držav. Po francoski metodi se skupino določi s pomočjo *PLDP* tovornjakov, to je s pomočjo prometnega razreda  $T_i$ . Za določitev strukture in debeline različnih plasti je potrebno poznati število tovornjakov, ki bodo prečkali prevez voziščne konstrukcije med predvideno življenjsko dobo, to je razred merodajne prometne obremenitve (oziroma classe de trafic cumulé ( $TC_i$ )).

Od leta 1998 je s francosko normo NF P 98-082 tovornjak opredeljen kot vozilo, ki nosi breme vsaj 3,5 t, pred tem pa je bil definiran s 5 t.

Preglednica 23: Razredi prometnih obremenitev za 20 letno življenjsko dobo (Wikipedia, 2012)

| Razred          | Promet težkih vozil v 20-ih letih                    |
|-----------------|--|
| TC <sub>1</sub> | med 0 in 0,2 · 10 <sup>6</sup>                       |
| TC <sub>2</sub> | med 0,2 · 10 <sup>6</sup> in 0,5 · 10 <sup>6</sup>   |
| TC <sub>3</sub> | med 0,5 · 10 <sup>6</sup> in 1,5 · 10 <sup>6</sup>   |
| TC <sub>4</sub> | med 1,5 · 10 <sup>6</sup> in 2,5 · 10 <sup>6</sup>   |
| TC <sub>5</sub> | med 2,5 · 10 <sup>6</sup> in 6,5 · 10 <sup>6</sup>   |
| TC <sub>6</sub> | med 6,5 · 10 <sup>6</sup> in 17,5 · 10 <sup>6</sup>  |
| TC <sub>7</sub> | med 17,5 · 10 <sup>6</sup> in 43,5 · 10 <sup>6</sup> |
| TC <sub>8</sub> | Več kot 43,5 · 10 <sup>6</sup>                       |

Voziščne konstrukcije za normalen promet se projektira na življenjsko dobo 20 let, za poseben promet pa se načrtovana življenjska doba podaljša na 30 let. Skupno število tovornjakov  $TC_{i20}$  ali  $TC_{i30}$  se izračuna po naslednji enačbi:

$$TC_{i20} \text{ ali } TC_{i30} = 365 \cdot T \cdot C \cdot r \quad (\text{en. 24})$$

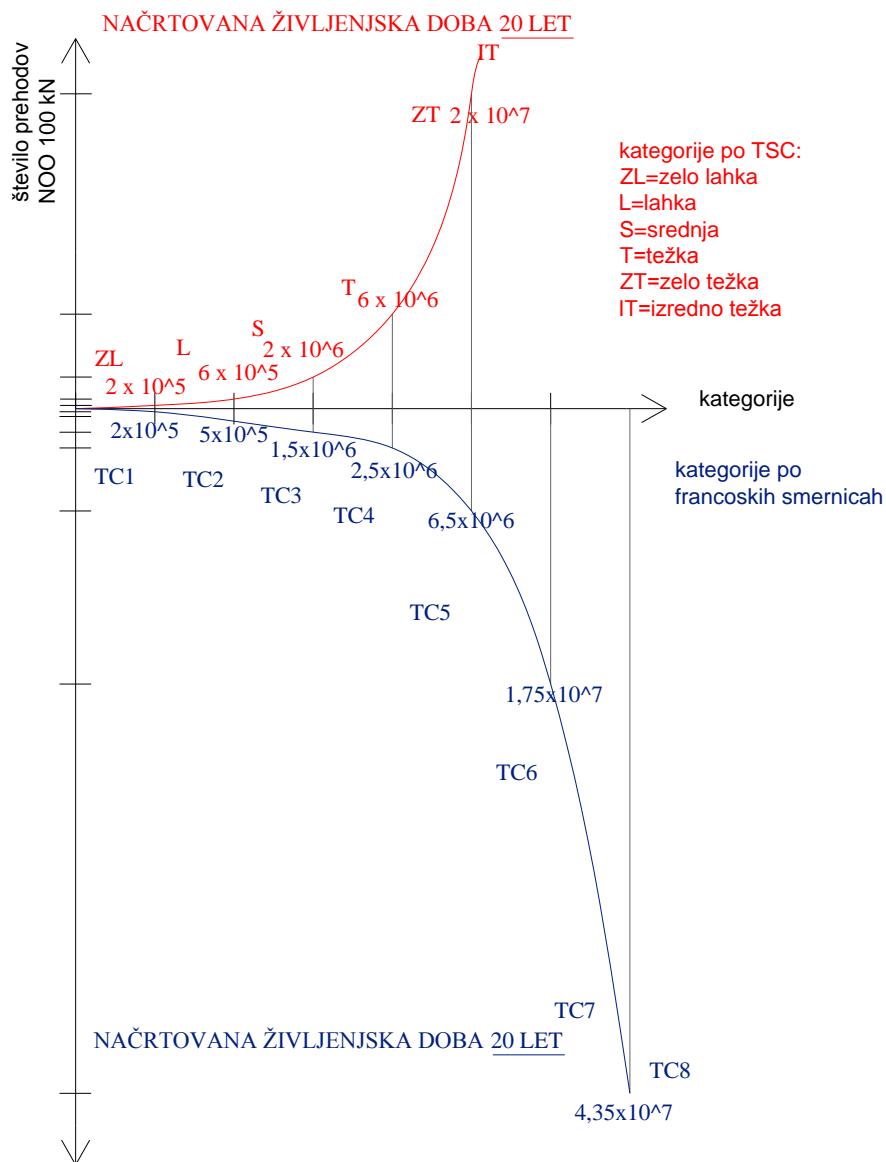
$$C = d + \frac{t \cdot d \cdot (d-1)}{2} \quad (\text{en. 25})$$

$T$ ...število težkih vozil v dnevu – *PLDP* (oziroma *trafic moyen journalier annuel (TMJA)*)

$d$ ...trajanje voziščnih konstrukcij v letih (20 ali 30 let)

$t$ ...linearna letna rast težkih vozil

$r$ ...prečna porazdelitev težkih vozil



Slika 36: Razlika med kategorijami obremenitev po TSC-jih in francoskih specifikacijah

Enačba 24 velja le v primerih, ko se hipoteza o rasti tovornjakov omeji na eno samo stopnjo letne rasti, ki se nanaša na leto uporabe. V drugih primerih se uporabijo druge formule. V vseh primerih je zaželeno, da se izvede prometno študijo, s katero se definira linearno letno stopnjo rasti ( $t$ ) in  $PLP$  težekega prometa ( $T$ ) na obremenjenih cestah. Ko ne obstajajo točni podatki o stopnji  $t$ , se privzame 2 %, kar ne vodi do prometnega zasičenja ceste.

Po francoskih specifikacijah se, tako kot po slovenskih, voziščne konstrukcije dimenzionira na 20 letno življenjsko dobo. Francoske za razliko od slovenskih, ki ločijo 6 razredov, razlikujejo med 8 razredi prometne obremenitve. Najvišji razred prometne obremenitve je v Sloveniji določen s spodnjo mejo  $2 \cdot 10^7$  prehodov nominalne osne obremenitve, v Franciji pa s  $4,35 \cdot 10^7$  prehodov težkih vozil.

### 3.3.3.2 Podatki o vgrajenih materialih

V Tehnološkem vodiču so podani podatki o različnih asfaltnih in stabilizacijskih zmeseh, ki se opirajo na nacionalne standarde. Najprej se izbere ustrezna krovna plast in morebitna potrebna stabilizirana plast, nato pa še standardiziran prerez voziščne konstrukcije (slika 34). Standardizirana voziščna konstrukcija je predstavljena z okrajšavami uporabljanih materialov (rdeča obroba na sliki 35) v odvisnosti od kategorije ceste, prometnih obremenitev (zelena obroba na sliki 35) in nosilnosti podlage (razredi PF na sliki 35).

Ločijo se 4 razredi podlage (PF1 do PF4), kjer je upoštevano, da dolgoročna nosilnost ne sme biti manjša od 20 MPa:

- PF1: vrednosti nosilnosti pri dimezioniranju je 20 MPa
- PF2: vrednosti nosilnosti pri dimezioniranju je 50 MPa
- PF3: vrednosti nosilnosti pri dimezioniranju je 120 MPa
- PF4: vrednosti nosilnosti pri dimezioniranju je 200 MPa.

### 3.3.3.3 Zmrzljinska odpornost

V Tehnološkem vodiču sta zapisana dva načina preveritve vpliva zmrzovanja.

Pri prvem načinu se uporabi podatke referenčne zime. V praksi se privzame dve referenčni situaciji:

- izredna zima (oziroma l'hiver exceptionnel (v nadaljevanju *HE*)), ko je bila najbolj hladna zima med leti 1951 in 1997 in
- neizjemna hladna zima (l'hiver rigoureux non exceptionnel (v nadaljevanju *HRNE*)), opredeljena kot zima, ki se je pojavila vsakih 10 let med leti 1951 in 1997.

Tehnološki vodič podaja preglednico s podatki o številu dni *HE* in *HRNE* v posameznih mestih.

Druga metoda vrednotenja vpliva zmrzali pa je analogna opisani metodi v Tehničnem vodiču zasnove in dimenzioniranja cestnih struktur. Vpliv zmrzovanja se preverja s primerjavo:

- stopnje referenčnega atmosferskega zmrzovanja (l'indice de gel atmosphérique (*IR*)), ki opredeljuje ostrost zime
- stopnjo zmrzlinke odpornosti krovne plasti (l'indice de gel admissible de la chaussée (*IA*)), ki se zvišuje v odvisnosti na občutljivost pri zmrzovanju in debeline proti zmrzovanju odpornih plasti.

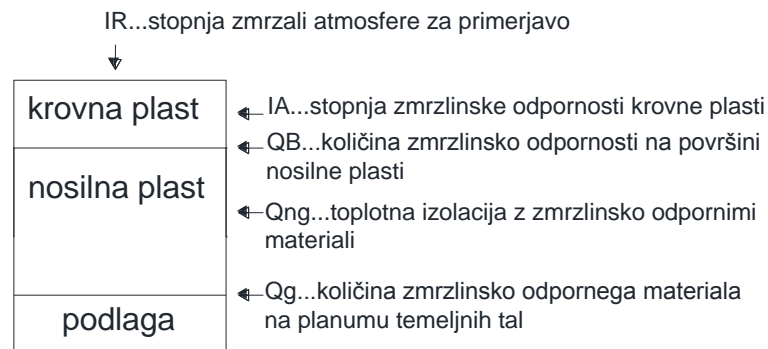
Če je  $IA \geq IR$ , je ovrednotenje pozitivno in se izbrana struktura lahko uporabi v praksi. V primeru, ko je  $IA < IR$  pa je ovrednotenje negativno, zato je potrebno spremeniti tip strukture oziroma izboljšati izbiro nevezane nosilne plasti, da se doseže boljša zaščita pred zmrzovanjem.

Za vsako predlagano strukturo voziščne konstrukcije sta bili definirani dve vrednosti  $Q_b$ , ki se ju doseže na posteljici, da se zagotovi zaščito za dva tipa referenčnih zim ( $100^\circ \cdot HRNE_{dni}$  in  $200^\circ \cdot HE_{dni}$ ). Za ostre zime med tema dvema vrednostima se izvede linearna interpolacija, s katero se določi  $Q_b$ .

$$Q_B = Q_g + Q_{ng} \quad (\text{en. 26})$$

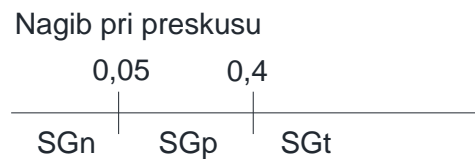
$Q_g$ ...količina zmrzovanja na površini zmrzlinsko odpornega materiala (oziroma quantité de gel)

$Q_{ng}$ ...količina zmrzovanja v zmrzlinso neodporni plasti



Slika 37: Stopnje zmrzlinke odpornosti (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

Pri računu  $Q_g$  je potrebno ovrednotiti zmrzlinke občutljivost materialov med temeljnimi tlemi in posteljico. Občutljivost materialov se določi v laboratoriju s preskusom po standardu NF P 98-234-2. Vrednost nagiba krivulje povečanja volumna materiala definira razred zmrzlinke občutljivosti.



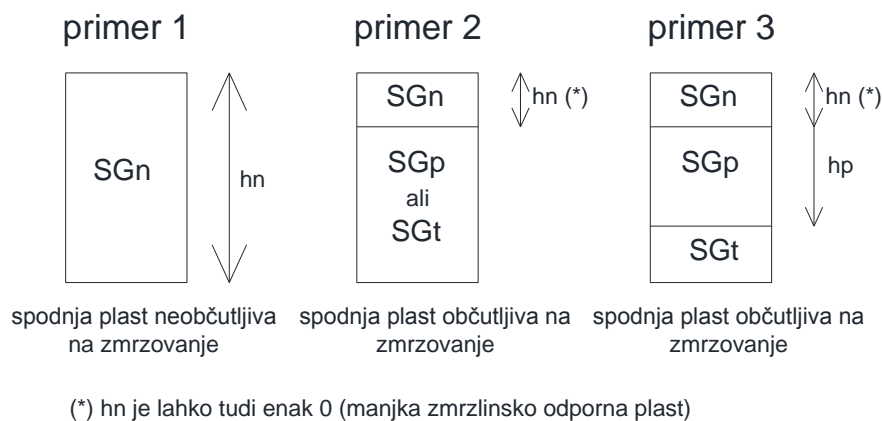
Slika 38: Vrednosti nagiba pri preskusu (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

Oznake na sliki 39 pomenijo naslednje:

SGn...zmrzlinke neodporen material (matériaux non gélifs)

SGp...zmrzlinke malo odporen material (matériaux peu gélifs)

SGt...zmrzlinke zelo odporen material (matériaux très gélifs)



Slika 39: Primeri izvedb različno zmrzlinško odpornih materialov (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

Kvantiteta zmrzlinške sprejemljivosti na površini zmrzlinško odpornega materiala  $Q_g$  se določi na podlagi nagnjenosti krivulje ( $p$ ), ki se jo določi v preskusu z nabrekanjem materiala.

V primeru 2 na sliki 39 se  $Q_g$  na površini zmrzlinško neodpornega materiala izračuna direktno z uporabo preglednice 24. V primeru 3 na sliki 39 pa se s pomočjo preglednice 24 določi kvantiteta zmrzlinške sprejemljivosti plasti na površini vsakega od dveh materialov **SGp** in **SGt**. Količina zmrzlinške sprejemljivosti na površini plasti zmrzlinško manj odpornega materiala je odvisna od debeline zmrzlinško manj odpornega materiala  $h_p$  in se definira po naslednjih formulah:

- če je  $h_p \geq 20$  cm, je

$$Q_g = Q_g(SGp) \quad (\text{en. 27})$$

- če je  $0 \leq h_p < 20$  cm, je

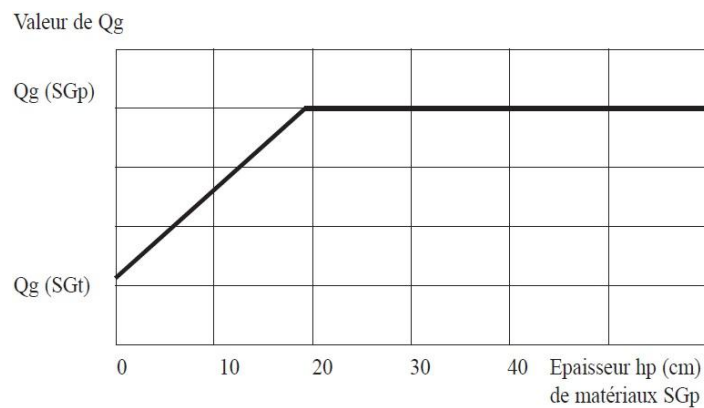
$$Q_g = \left(\frac{1}{20}\right) \cdot [Q_g(SGp) - Q_g(SGt)] \cdot h_p + Q_g(SGt) \quad (\text{en. 28})$$

V tem primeru se lahko uporabi naslednji grafikon na sliki 40.



Preglednica 24: Kvantiteta zmrzljinske sprejemljivosti na površini zmrzljinsko odporne materiala (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

|                |                   |                   |         |
|----------------|-------------------|-------------------|---------|
| Vrednost $p$   | $0,05 < p < 0,25$ | $0,25 < p \leq 1$ | $p > 1$ |
| Vrednost $Q_g$ | 4                 | $1/p$             | 0       |



Slika 40: Vrednost  $Q_g$  za primer 3, ko je  $0 \leq h_p < 20$  cm (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

Vrednost  $Q_{ng}$  se določi s formulo:

$$Q_{ng} = A_n \cdot [h_n^2 / (h_n + 10)] \quad (\text{en. 29})$$

$h_n$ ...debelina zmrzljinsko neodporne plasti v cm

$A_n$ ...koeficient odvisen od narave materiala v nosilni plasti

Preglednica 25: Koeficient  $A_n$  (Guide technologique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, 2003)

|          |      |      |        |       |      |
|----------|------|------|--------|-------|------|
| Material | A    | B,C  | D, GNT | CV,SH | LTCC |
| $A_n$    | 0,15 | 0,13 | 0,12   | 0,17  | 0,14 |

A,B,C IN D...razredi nestabiliziranih temeljnih tal, določeni s standardom NF P 11-300

GNT...nestabilizirana temeljna tla (grave non traitée)

SH...pesek, stabiliziran s hidravličnim vezivom (sables traités aux liants hydrauliques)

LT...mulj, stabiliziran z apnenim cementom (limon traité à la chaux-ciment)

CV...elektrofilterski pepel z apnenom (cendres volantes chaux-gypse)

Če je vrednost  $Q_B$  (modra obroba na sliki 35), dobljena s pomočjo vrednosti  $Q_g$  in  $Q_{ng}$ , večja ali enaka vrednosti, opredeljeni v posamezni standardizirani strukturi voziščne konstrukcije za referenčno zimsko vrednost, je odpornost proti zmrzovanju zagotovljena. V nasprotnem primeru, ko je vrednost  $Q_B$  nižja, ta odpornost ni zagotovljena in je zato potrebno modificirati zasnovo nosilne plasti ali uporabiti drugačno tipizirano strukturo.

Kot je opaziti iz opisa poteka, je načrtovanje voziščnih konstrukcij na francoskih cestah zelo kompleksno. Kot v večini ostalih evropskih držav tudi v Franciji nimajo določil za dimenzioniranje parkirišč.

### 3.4 Računalniški programi

Z današnjim strokovnim znanjem se za izračun napetosti in deformacij, ki so posledica učinkovanja prometnih obremenitev, uporabljajo različni bolj ali manj zahtevni računalniški programi. Osnova večine sistemov je teorija elastičnosti, pri katerih so napetosti in deformacije proporcionalne.

Potrebne vhodne podatke in časovno odvisne module (promet, temperatura, spreminjanje togosti materialov) je zelo težko napovedovati, pogosto niso na razpolago ali pa so njihove preiskave časovno obsežne in drage. Zato je njihova uporaba omejena predvsem na zelo obremenjene ceste, kjer se lahko z boljšim poznavanjem mehanizmov v voziščni konstrukciji doseže opazne prihranke.

Pomembne značilnosti, vključene v računalniških programih, so naslednje:

- osnovne metode so dopolnjene s preveritvami merodajnih napetosti in deformacij na mejnih površinah posameznih plasti v voziščni konstrukciji
- različni programi so zasnovani na različnih geomehanskih osnovah (po Burmistru, Odemarku, Westergaardu), nekateri pa na metodi končnih elementov (MKE)
- zadnja generacija programov (ME-PDG, Padesto) vključuje rezultate preiskav asfaltov. Glavna prednost teh metod je, da v postopek dimenzioniranja vključujejo projektirane zmesi. To pomeni, da se lahko povečane prometne obremenitve prenašajo bodisi z debelejšo voziščno konstrukcijo, bodisi z odpornejšimi zmesmi glede na posamezne kriterije porušitve. V Nemčiji se od leta 2011 voziščne konstrukcije za največje prometne obremenitve dimenzionira izključno z analitičnim postopkom. Postopek je predpisan v njihovi tehnični regulativi, za dimenzioniranje pa se uporablja računalniški program Padesto.

Zaradi problema točnosti vhodnih podatkov kot tudi same izvedbe asfaltnih del so rezultati dimenzioniranja stohastične narave. Voziščno konstrukcijo za predvideno življenjsko dobo se dimenzionira z neko verjetnostjo porušitve (Henigman et al., 2011).

Glavni vhodni podatki so:

- klimatske razmere
- lastnosti vgrajenih materialov in podlage
- prometne obremenitve.

Za modeliranje obnašanja asfaltnih zmesi je najpomembnejši podatek spreminjanje togosti v odvisnosti od temperature zmesi ter trajanja obtežbe. Običajno se ga modelira s tako imenovano glavno krivuljo, ki nam s pomočjo faktorja pomika pove spreminjanje elastičnega modula zmesi v odvisnosti od frekvence obremenjevanja ter temperature zmesi. Upoštevanje spreminjanja elastičnega modula je pomembno zato, ker ta pri asfaltnih zmesih pada z naraščanjem temperature ter časa obremenjevanja. Glavno krivuljo se lahko dobi z neposrednimi preiskavami togosti ali pa z modeliranjem na podlagi viskoznosti bitumna ter

zrnivosti zmesi. Ker je nastanek razpok odvisen od deformacij v plasti, se razpoke pri bolj togih zmesih pojavljajo v manjšem obsegu.

V odvisnosti od kompleksnosti modela je potrebno poznati še ostale lastnosti zmesi, kot so odpornost proti utrujanju, natezna trdnost, koeficient toplotnega raztezanja itd.

Sam postopek dimenzioniranja poteka tako, da se predpostavi voziščno konstrukcijo, nato pa preveri, ali ustreza kriterijem obnašanja. Kriteriji obnašanja, ki se jih pri analitičnem dimenzioniranju voziščnih konstrukcij lahko upošteva, so:

- razpoke, katerih nastanek se prične na spodnjem robu asfaltne krovne plasti voziščne konstrukcije ter se reflektirajo navzgor (aligatorjeva koža) in so posledica prekoračitev natezne trdnosti materiala zaradi prekomerne obtežbe oziroma podajnosti podlage ali zaradi utrujanja materiala
- razpoke, katerih nastanek se prične na površini asfaltne voziščne konstrukcije ter se reflektirajo navzdol in so posledica nateznih in strižnih napetosti v plasti ter zmanjšanja natezne trdnosti zaradi staranja materiala
- kolesnice, ki lahko nastanejo v asfaltnih plasteh, nevezanih nosilnih plasteh ali/ter podlagi
- razpoke zaradi krčenja materiala pri ohlajanju, ki so posledica ali zelo nizke temperature plasti ali hitre ohladitve plasti
- razpoke v stabiliziranih plasteh, ki so posledica prekoračitev nateznih trdnosti
- reflektiranje obstoječih razpok – poškodb na površino (pri ojačitvah ali preplastitvah) ali
- zmanjšane ravnosti, kot posledica zgoraj naštetih kriterijev.

V splošnem je računalniške programe mogoče razvrstiti v:

- programe za enostavno analizo: rezultat so samo napetosti in deformacije v bituminizirani zmesi (AXYDIN, ECOROUTE, ELSYM 5, MICHPAVE, VEROAD),

- programe za bolj kompleksno analizo: upoštevajo tudi možnost za nastanek kolesnic in poškodb (razpok) ter staranja (KENLAYER, MMOPP, ROADENT/WESLEA, SYSTUS), vendar niso sposobni modeliranja dolgoročnega obnašanja voziščne konstrukcije (akumulacija poškodb, slabšanje lastnosti materialov) ter
- programe za analizo in dimenzioniranje: rezultat je poleg analize tudi priporočena voziščna konstrukcija ter njeno dolgoročno obnašanje (ME-PDG, PADESTO, APAS-WIN, BISAR/SPDM, CIRCLY, CAPA-3D, CESAR, NOAH VAGDIM 95, VESYS) (Henigman et al., 2011).

Preglednica 26: Vrste preveritev v pomembnejših računalniških programih (Henigman et al., 2011)

| Program    | Zlepljenost plasti | Klimatski pogoji | Dinamične obremenitve | Osne obremenitve | Karakteristike pnevmatik | Utrujanje | Trajno preoblikovanje |
|------------|--------------------|------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|
| Apas-Win   |                    | +                |                       | +                | +                        | +         |                       |
| Bisar/SPDM | +                  | +                |                       | +                |                          | +         | +                     |
| Circlly    | +                  |                  |                       | +                | +                        | +         |                       |
| Cesar      | +                  | +                | +                     |                  | +                        | +         | +                     |
| Elsym5     |                    |                  |                       |                  |                          |           |                       |
| Kenlayer   | +                  |                  | +                     |                  | +                        | +         | +                     |
| Michpave   |                    |                  |                       |                  |                          | +         | +                     |
| Mmopp      |                    | +                | +                     | +                | +                        |           |                       |
| Noah       | +                  | +                |                       | +                |                          | +         | +                     |
| Roadent    | +                  | +                |                       | +                | +                        |           |                       |
| Vagdim 95  |                    | +                |                       |                  |                          | +         | +                     |
| Veroad     |                    |                  |                       | +                | +                        |           | +                     |
| Vesys      |                    | +                |                       | +                | +                        | +         | +                     |
| Padesto    | +                  | +                |                       | +                | +                        | +         | +                     |
| M-E-PDG    | +                  | +                | +                     | +                | +                        | +         | +                     |

V vseh programih se prometna obremenitev obravnava kot statična. Vključitev prometne obremenitve kot dinamične obtežbe je še vedno v zgodnjih fazah raziskav.

Nekaj programov je bilo razvitih v velikih laboratorijih (npr. Cesar v LCPC), velikih korporacijah (npr. BISAR v Shellu) in na univerzah (npr. Padesto na univerzi v Dresdenu).

V statističnih metodah analize večplastnega sistema je vsaka plast večplastne linearno elastične voziščne konstrukcije definirana z Youngovimi moduli in njihovimi Poissonovimi števili. V nekaterih programih se namesto Youngovih modulov uporablja prožnostni modul (oziroma Resilient Modul (v nadaljevanju  $M_r$ )), ki temelji na povrnljivi deformaciji pod ponavljajočo obtežbo. Napetosti, deformacije in posedki na določenih oddaljenostih od obtežbe se izračunajo teoretično in predpostavljajo v eni smeri neskončno podlago in neskončno stranskih mej.

MKE za analizo prožnih voziščnih konstrukcij je najprej uporabil Duncan. Na tej metodi je bilo kasneje razvitih mnogo računalniških programov (npr. v 80-ih letih je bil razvit MICH-PAYE). Uporaba MKE je postala popularna pri določanju napetosti, deformacij in premikov z razpoložljivostjo visokozmogljivih računalnikov. Ta metoda obravnava zgradbo iz nelinearnih materialov.

### 3.4.1 BISAR/SPDM

V cestogradbeni praksi se uporabljajo za preverjanje napetosti in deformacij v voziščnih konstrukcijah predvsem analitične osnove večplastnega sistema. V poznih 60-ih letih je Shell Global Solutions razvil BISTRO (BItumen Structures in ROads), to je računalniški program, ki računa napetosti, deformacije in posedke v katerikoli legi v večplastnem sistemu. Za analizo strukture je bilo potrebno poznati mehanske lastnosti materialov. Predpostavljena poenostavljena tri plastna sestava, uporabna kot del SPDM, se je upoštevala kot linearno elastični večplastni sistem, v katerem so materiali določeni z Youngovim modulom elastičnosti ( $E$ ) in Poissonovim številom ( $\nu$ ). Materiale se je upoštevalo kot homogene in izotropne. Program je bil izboljššan in preimenovan v BISAR (BItumen Stress Analysis in Roads) v letu 1978.

| BISAR MODEL  |                             |                     |                            |                           |           |                 |
|--|-----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|-----------------|
| Temperature (°C)                                       | 10                          |                     |                            | DATE: 4/ 9/2005           |           |                 |
|  |                             |                     |                            | TIME: 11: 9: 3. 6         |           |                 |
| SYSTEM NUMBER 1  |                             |                     |                            |                           |           |                 |
| Layer Number   | Calculation Method (0-1000) | Young's Modulus (E) | Poisson's Ratio (ν)        | Layer Thickness (in)      |           |                 |
| 1  | Smooth                      | 767395              | 0.35                       | 1.57                      |           |                 |
| 2  | Smooth                      | 6345                | 0.45                       | 3.00                      |           |                 |
| 3  | Smooth                      | 29007550            | 0.26                       | 0.63                      |           |                 |
| 4  |                             | 5091                | 0.40                       |                           |           |                 |
| 0=Smooth (complete adhesion), 1000=(frictionless slip) |                             |                     |                            |                           |           |                 |
| Load Number  | Normal Load (lbf)           | Shear Stress (σ)    | Radius of Loaded Area (in) | Load-Position X Y (lb-in) |           | Shear Direction |
| 1  | 607                         | 0.00                | 1.3                        | 0.00                      | 0.00      | 0.00            |
| Position Number:                                       | 1                           |                     |                            | X-Coordinate (in):        | 0.00      |                 |
| Layer Number:  | 1                           |                     |                            | Y-Coordinate (in):        | 0.00      |                 |
|  |                             |                     |                            | Z-Coordinate (in):        | 1.56      |                 |
| TOTAL STRESSES, STRAINS AND DISPLACEMENTS              |                             |                     |                            |                           |           |                 |
|  | Horizontal in X             | Horizontal in Y     | Vertical in Z              | Shear YZ                  | Shear XZ  | Shear XY        |
| Stress (σ)   | 2.440E+02                   | 2.440E+02           | -8.720E+00                 | 0.000E+00                 | 0.000E+00 | 0.000E+00       |
| Strain (ε)   | 2.100E-04                   | 2.100E-04           | -2.340E-04                 | 0.000E+00                 | 0.000E+00 | 0.000E+00       |
| Displacement (in)                                      | 0.000E+00                   | 0.000E+00           | 6.040E-03                  |                           |           |                 |

Slika 41: Primer izračunov v računalniškem programu BISAR (Gould, 2007)

BISAR je preprost in za uporabo enostaven program. Originalni program je sestavljen iz naslednjih korakov:

- zagon programske datoteke BISARIN.EXE, ki ustvari vhodno datoteko za večplasten elastični program 'BISAR'. Ob zagonu je uporabnik pozvan k ustvarjanju imena datoteke in naslova. Program nato vpraša, koliko problemov bo obravnaval (npr. 1). Število plasti v sistemu voziščne konstrukcije se vstavi skupaj s tipom sistema (prožen, tog ali kompoziten). Za asfaltne voziščne konstrukcije se predpostavi prožen sistem. Za vsako plast se nato privzamejo elastični moduli, Poissonova števila, debeline plasti in nivo vezave (0 za popolno vezavo in 1000 za breztrejni zdrs). Zopet se za primer asfaltne voziščne konstrukcije privzame nivo 0.
- Pojavi se zahteva po informaciji o obtežbi, ki vključuje število obtežnih položajev, vertikalnih obtežb, radijev obtežnih položajev in X ter Y obtežnih koordinat. Zaželjena pozicija je na dnu prvega sloja.

- Program nato konča in se lahko zažene izhodno datoteko BISAR.EXE, ki jo je zopet potrebno poimenovati (kot pri BISARIN.EXE). Ko se proces izračunov konča, je možen ogled rezultatov v odprti izhodni datoteki v Microsoft Wordu ali Notepadu.

Leta 1998 je Shell izdal BISAR 3.0, ki deluje znotraj okolja Windows. Ta program sledi enakim principom, kot prejšnje izdaje BISAR, le da vsebuje izboljššan grafični vmesnik. S programom BISAR se lahko izračunajo napetosti, deformacije in premiki v elastičnem večplastnem sistemu.

V analizo voziščnih konstrukcij je bilo vključenih manj spremenljivk, da se je doseglo najejenostavnejši proces. Zato so bile uvedene številne predpostavke:

- sistem je sestavljen iz horizontalnih plasti določene debeline, ki leži na polprostoru ali neskončni podlagi
- plasti se širijo v neskončnost v horizontalni smeri
- material vsake plasti je homogen in izotropen
- materiali so elastični in imajo linearno zvezo med napetostjo in deformacijo.

Za Poissonovo število se predpostavi, da se ne razlikuje veliko glede na material in se lahko privzame vrednost 0,35 za asfaltne plasti, nosilno konstrukcijo in podlago. Te predpostavke dopuščajo samo pet spremenljivk za vsak določen sistem. Te so:

- elastični moduli asfaltne plasti
- debelina asfaltne plasti
- elastični moduli zrnate nosilne plasti
- debelina zrnate nosilne plasti
- elastični moduli podlage.

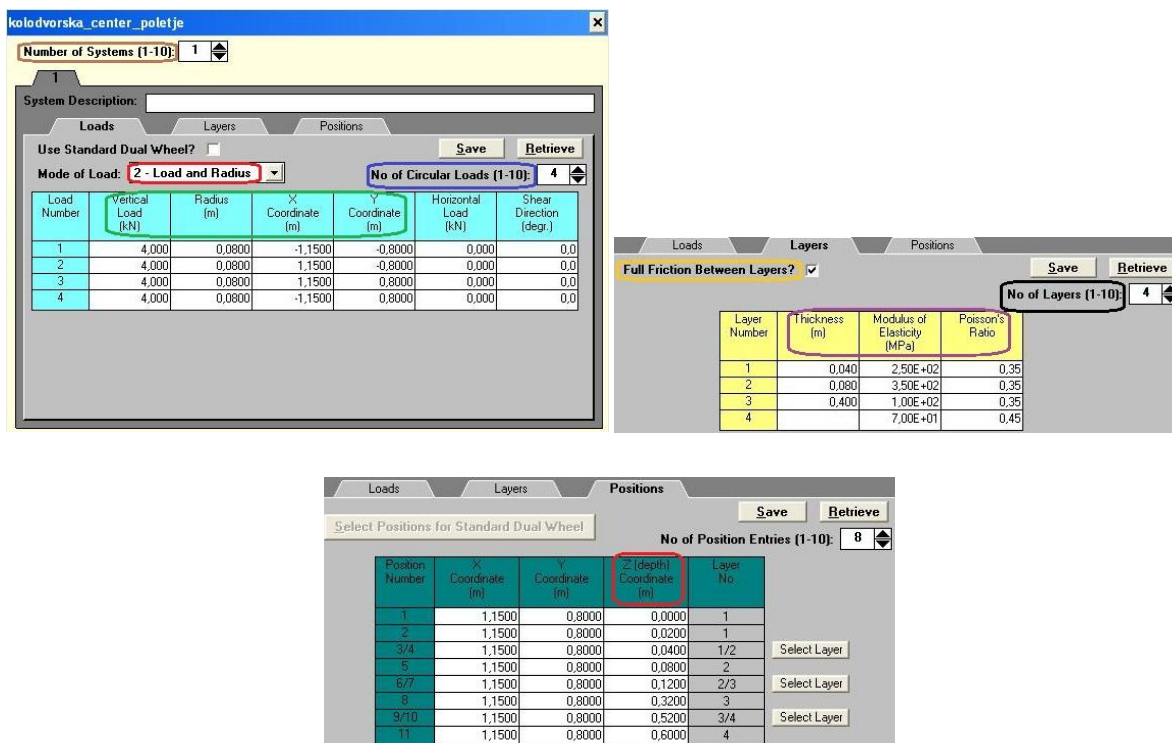
Teh pet spremenljivk je povezanih z naslednjo analitično povezavo: če so štiri poznane oziroma predvidene, se lahko peto preračuna relativno enostavno.



Sistem je na vrhu obtežen z eno ali več krožnimi obtežbami z enakomerno porazdelitvijo napetosti čez obteženo površino. Program ponuja možnost izračuna vpliva vertikalnih in horizontalnih napetosti (strižnih sil na površini) in vključuje možnost izbire izračuna učinka (delnega) zdrsa med plastmi s pomočjo strižne prožnosti na stiku.

V program se poda naslednje vhodne podatke:

- število obravnavanih sistemov (rjava obroba na sliki 42)
- število obtežb (modra obroba na sliki 42)
- eno od sledečih kombinacij za določitev vertikalne normalne komponente obtežbe
  - napetost in obtežba ali
  - obtežba in radij (rdeča obroba na sliki 42 levo zgoraj) ali
  - napetost in radij
- lahko tudi horizontalno tangencialno komponento obtežbe in smer te strižne obtežbe
- koordinate leg centra obtežb, njihove radije in velikost obtežb (zelena obroba na sliki 42),
- število plasti (črna obroba na sliki 42),
- debelino plasti (izjema je le plast podlage, ki na eni strani sega v neskončnost), Youngove module in Poissonova števila posamezne plasti (vijolična obroba na sliki 42),
- ali obstaja popolno trenje med plastmi (oranžna obroba na sliki 42) ter
- koordinate (X, Y in Z) v katerih se želi določiti izračune (rdeča obroba na sliki 42 spodaj).



Slika 42: Vhodni podatki v programu BISAR 3.0

V programu je mogoče naenkrat obravnavati 10 plasti in 10 krožnih obtežb. Napetosti, deformacije in premiki so lahko izračunani v 10 legah v sistemu. Program izračuna vrednosti in vektorje napetostnih in deformacijskih tenzorjev, glavne napetosti in deformacije in pripadajoče glavne smeri. Podrobni izhodni podatki sestavljajo informacije za vsako izbrano lego v strukturi:

- za vsako obtežbo posebej :
  - komponente napetostnega tenzorja (normalnega in strižnega)
  - komponente deformacijskega tenzorja (normalnega in strižnega)
  - komponente vektorja pomika
- za združeno delovanje vseh obtežb:
  - komponente napetostnega tenzorja (normalnega in strižnega)

- komponente deformacijskega tenzorja (normalnega in strižnega)
- komponente vektorja pomika
- glavne vrednosti in smeri napetostnega tenzorja
- glavne vrednosti in smeri deformacijskega tenzorja
- maksimalne strižne napetosti in deformacije
- center Mohrovega napetostnega kroga
- deformacijska energija pri premikanju
- celotna deformacijska energija.

Izhodni podatki Bisar 3.0 so vsebovani v dveh tipih poročil. »The Detailed Report« oziroma podrobno poročilo (priloga 4) vsebuje enake informacije, kot v originalnemu glavnem programu, vendar z izboljšano razporeditvijo. Skrajšano poročilo, ki se imenuje »Block Report« pa podaja normalne napetosti, normalne deformacije in osne premike v vsaki izbrani legi v strukturi.

Trenutno obstaja več načinov določanja elastičnih modulov materialov:

- preskusi v laboratoriju z indirektnim nateznim testom
- preskusi na terenu z uporabo padajoče uteži deflektometra
- računska metoda določanja z enačbo Witczakovega dinamičnega modula (Gould, 2007).

Vrednosti togosti materialov in elastičnega modula se preko leta zelo razlikujejo v odvisnosti od temperature in starosti vgrajenega materiala. Pozimi je vrednost togosti asfaltnih plasti lahko tudi do 10-krat višja, kot poleti, medtem ko se togost v nevezanih nosilnih plasteh le malo spreminja. Gibanje vrednosti togosti temeljnih tal pa je odvisno od vrste in značilnosti materiala.

Preglednica 27: Vpliv temperature in vlažnosti na elastične module posameznih plasti (Irwin)

| Plast       | Asfaltna         | Nevezana nosilna                    | Podlaga                                  |
|-------------|------------------|-------------------------------------|--|
| Temperatura | Zelo velik vpliv | Nima velikega vpliva, ko ne zmrzuje | Ni temperaturno in vlažnostno občutljiva |
| Vlaga       | Ne vpliva veliko | Velik vpliv                         |  |

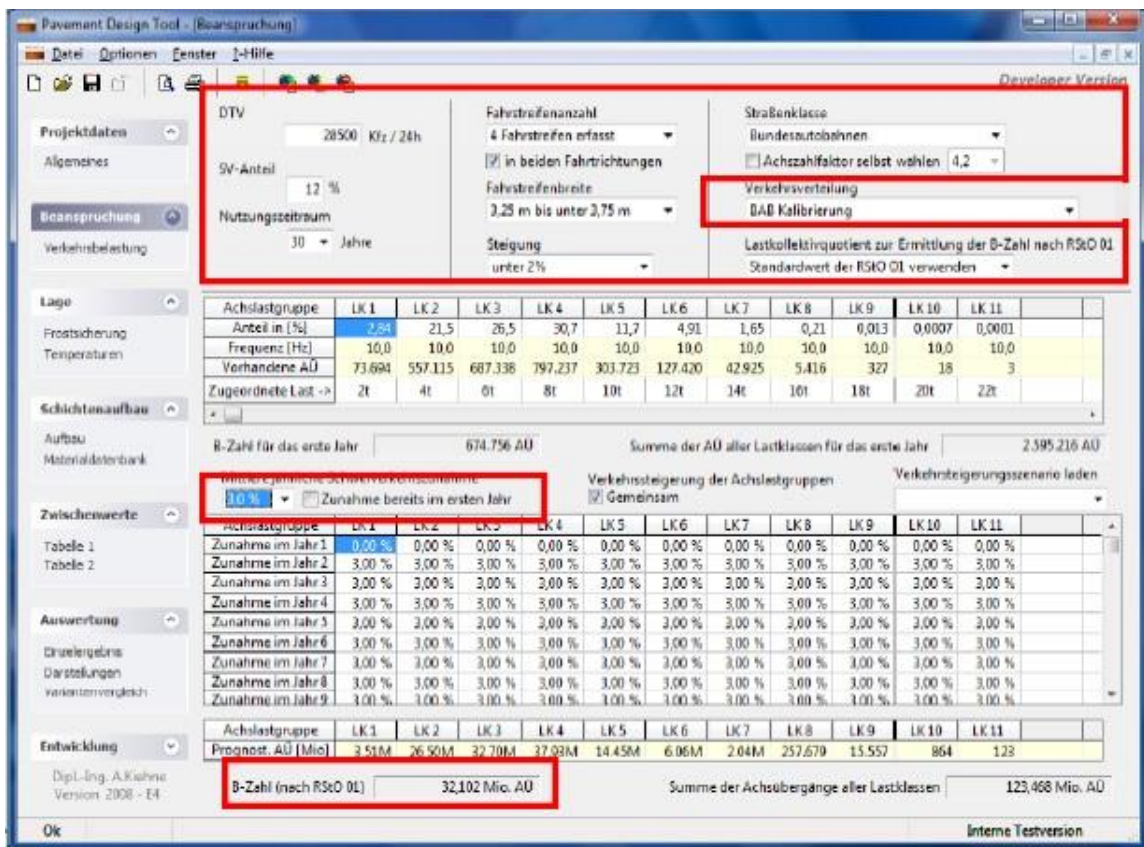
### 3.4.2 PADESTO

Padesto (oziroma Pavement Design Tool) je program za ocenjevanje konstrukcijskih variant voziščne konstrukcije, ki je bil razvit na tehnični univerzi v Dresdenu in se uporablja v Nemčiji. Temelji na analitični metodi načrtovanja, ki je sestavljena iz številnih faktorjev, ki vplivajo na stanje voziščne konstrukcije. Vhodni podatki se razdelijo na tri področja, in sicer prometno obtežbo, podnebne pogoje oziroma temperaturo in materialne podatke ter lego plasti.

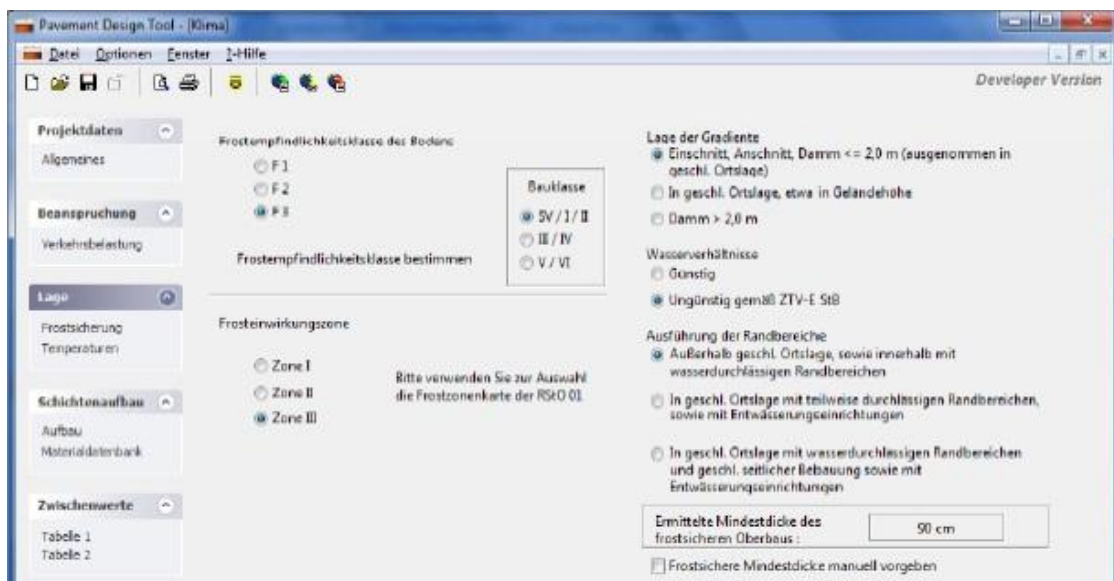
V okviru prometne obremenitve je treba poznati število motornih vozil v 24-ih urah, delež najtežjih vozil (delež SV), načrtovano življenjsko dobo (privzeta je 30 let), število prometnih pasov, širino prometnih pasov, nagib nivelete ter prečni nagib pasov (slika 43). Program sam preračuna obremenitev. Vgrajena formula izhaja iz pravilnika za določanje prometnih obremenitev (enačba 21).

V Nemčiji so v okviru projekta Padesto uporabili empirično karto globin zmrzovanja, ki deli Nemčijo na 4 temperaturne cone. V programu se poda razred zmrzilske občutljivosti zemljine (F1, F2 ali F3), razred gradnje, kateremu ustreza razred zmrzilske odpornosti (SV/I/II, III/IV ali V/VI), cono zmrzilskega delovanja (cona I,II ali III), lega voziščne konstrukcije (v vkopu, nasipu ali po terenu), vodno razmerje (ugodno ali neugodno v skladu z Dodatnimi tehničnimi pogodbenimi pogoji oziroma ZTV-E StB) in izvedba robnega območja. Program avtomatsko vnaprej predpostavlja minimalno debelino zmrzilske odpornih plasti, ki znaša 90 cm (slika 44).

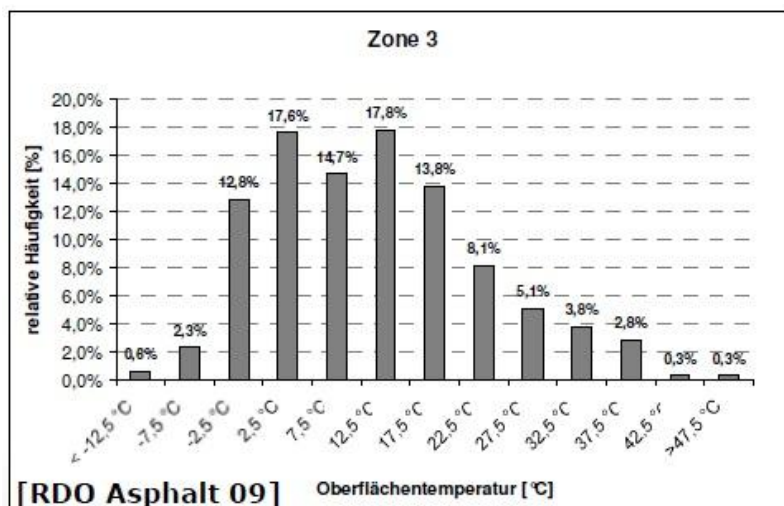
Bratina, L. 2013. Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah.  
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Prometna smer.



Slika 43: Podajanje podatkov o prometnih obremenitvah (Kiehne, 2010)

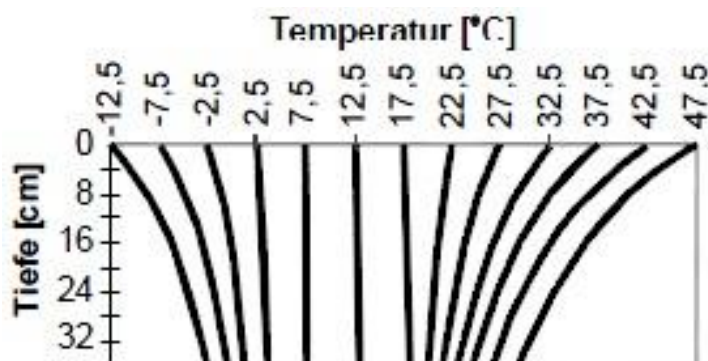


Slika 44: Podajanje podatkov o legi voziščne konstrukcije (Kiehne, 2010)



Slika 45: Pogostost pojavljanja določenih temperatur v Nemčiji, za katere so predpostavljene temperaturne krivulje (Wistuba, 2012)

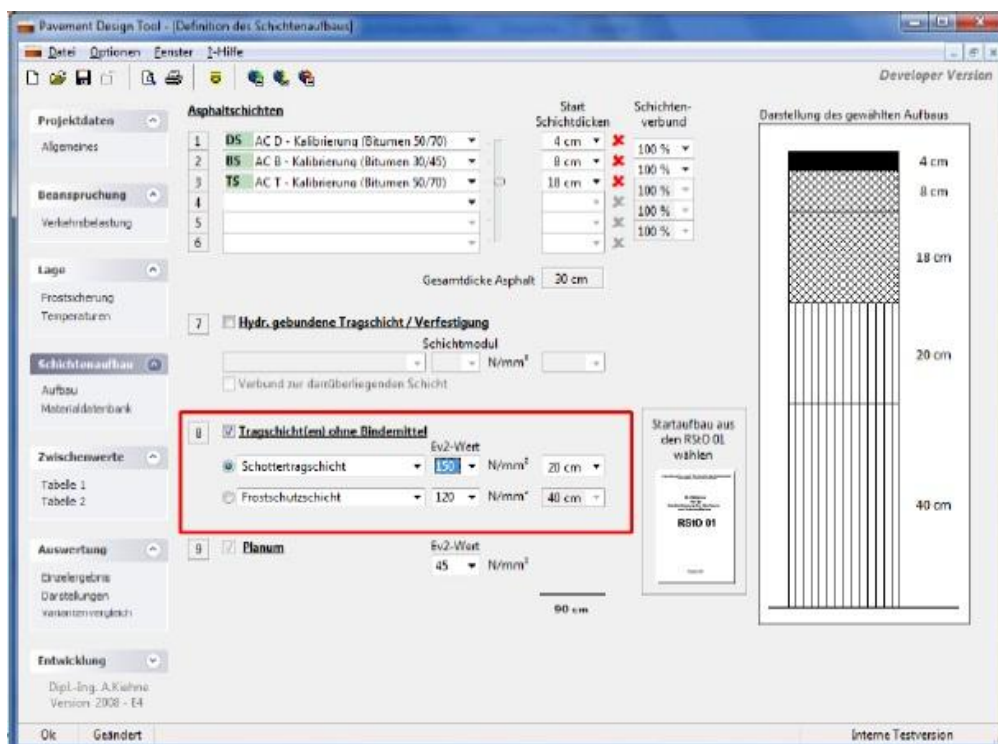
Podnebni pogoji so upoštevani s 13 temperaturnimi krivuljami (slika 46) v asfaltnih plasteh, ki so odvisne od temperature na površini voziščne konstrukcije. Definirane so bile v analitični metodi načrtovanja po RDO Asphalt 09. Na sliki 45 je prikazana pogostost pojavljanja temperatur v coni 3. S pomočjo krivulj se lahko preveri temperatura v katerikoli globini voziščne konstrukcije.



Slika 46: Temperaturne krivulje (Wistuba, 2012)

V nadaljevanju se poda vhodne podatke o zgradbi voziščne konstrukcije, ki se jo lahko določi na podlagi standardizirane metode, opisane v RStO 01 (pripomoček so lahko tudi Razpisi – metoda določanja je opisana pod točko 3.3.1). To so podatki o dimenzijah posameznih asfaltnih plasti, vrstah uporabljenih materialov ter deformacijskih modulih nevezane nosilne plasti in podlage (rdeča obroba na sliki 47).

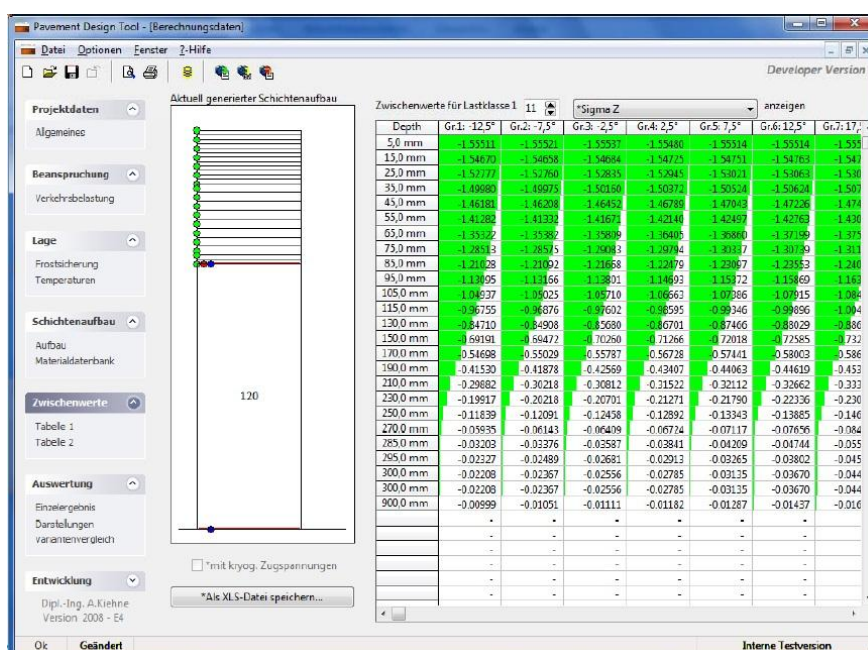
Opravljeni so bile raziskave na materialih, vgrajenih v voziščne konstrukcije (npr. dinamični triosni preizkus za asfaltne plasti). Empirično je bila preučena togost, utrujanje, sprijetost plasti ter obnašanje ob visokih (kolesnice) in nizkih temperaturah (razpokanje) z metodo končnih elementov. V programu so že vgrajeni podatki o materialih (izbere se eno od asfaltnih mešanic, ki je na razpolago), ki so potrebni za izračun in so bili pridobljeni na podlagi preizkusov (Jähnig, 2012).



Slika 47: Podajanje vhodnih podatkov o sestavi plasti voziščnih konstrukcij (Kiehne, 2010)



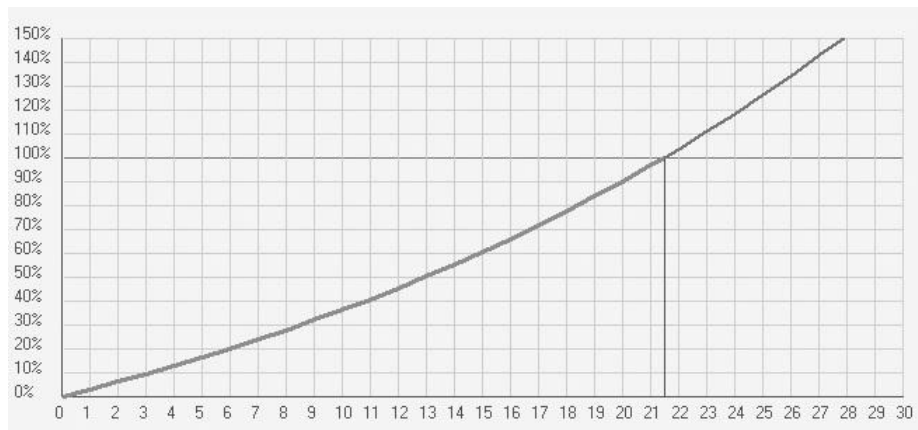
Ko se v programu poda vse potrebne podatke, se lahko izvednoti rezultate. Izrišejo se napetosti in deformacije po globini plasti (za vsak cm) za različne temperature. Izračuni so izvedejo v dveh korakih. Najprej se v kratkem času izračunajo temperaturna stanja v povezavi z izbranimi obtežnimi kategorijami po večplastni teoriji. Drugi korak se izvede z uporabo metode končnih elementov tako, da se preučí kritična temperaturna stanja primera z uporabo za materiale specifičnih modelov. Za izračun tega dela je potrebnega več časa.



Slika 48: Primer rezultata izračuna tlačnih napetosti po globini plasti glede na temperaturo (Kiehne, 2010)

Rezultat izračuna je tudi krivulja utrujanja, ki napove, po koliko letih uporabe bo voziščna konstrukcija razpokala. Na sliki 49 je program podal rezultat izračuna pojava razpok po 21,5 letih uporabe sicer 30 letne načrtovane življenjske dobe voziščne konstrukcije.





Slika 49: Primer rezultata izračuna indeksa utrujanja (Jähnig et al.)

Program ima svoje prednosti in pomanjkljivosti v primeru, ko bi ga želeli uporabiti v Sloveniji.

Prednosti:

- z njegovo pomočjo se lahko oceni spreminjanje napetosti in deformacij ali pa se preračuna dolžino preostale življenjske dobe voziščne konstrukcije
- na preračune se lahko sklicuje inženir v primeru, ko so potrebni garancijski zahtevki
- načrtovalni model temelji na osnovni ideji izbire kakršnekoli sestave voziščne konstrukcije (kakršnakoli struktura je lahko določena z debelino in materialom) in teži k njeni optimizaciji ob upoštevanju prometne obremenitve in vremensko pogojenih faktorjev
- podaja premislek o pomembnosti materialnih karakteristik (z uporabo različnih materialov je določena debelina plasti optimizirana na podlagi predpostavke o porušitvi).

Pomanjkljivosti:

- preučeno je bilo obnašanje materialov, ki jih uporabljajo v Nemčiji in za temperaturne cone v Nemčiji

- preiskave so trajale dolgo časa in bile so drage
- v njem so vgrajene formule, ki so privzete iz nemških predpisov.

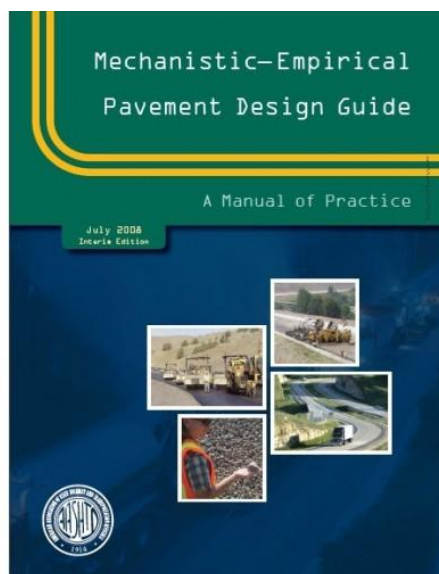
### 3.4.3 ME-PDG

Analitično-empirični vodič načrtovanja voziščnih konstrukcij (oziroma Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (v nadaljevanju ME-PDG)) je nov načrtovalni postopek, ki temelji na naprednih modelih in dejanskih podatkih na določenem območju, ki so bili zbrani v ZDA in privzeti s strani AASHTO v letu 2008 v začasem Vodiču načrtovanja voziščnih konstrukcij (oziroma Pavement Design Guide (v nadaljevanju Vodič)) (slika 50).

Med leti 1998 in 2004 je Nacionalni kooperativni plan za avtoceste (oziroma National Cooperative Highway Research Program (v nadaljevanju NCHRP)) sklenil pogodbo s Scott Wilson Pavement Engineering (SWPE) in še dvema univerzitetnima raziskovalnima skupinama za izvedbo neodvisne inženirske raziskave in izdajo novega ME-PDG-ja ter z njim povezane programske opreme. Začasna verzija 0.7 je izšla v letu 2004. Programska oprema ni upoštevala revizije na poročili o prožnih voziščnih konstrukcijah in načrtovanja rekonstrukcij, zato vsebuje veliko napak, ki rezultirajo v končanju programa in številnih drugih problemih, ki so jih uporabniki odkrili ob njegovi uporabi. Pri obravnavi togih voziščnih konstrukcij je programska oprema delovala učinkoviteje in hitreje kot pri prožnih. Vhodni podatki so bili preveč podrobni in nepotrebni, kot npr. zahteva po definiranju vsebnosti cementa, medtem ko je bilo obenem potrebno podati tudi podatke o mehaničnih lastnostih. To so bili šele začetki ME-PDG, ki se je še nadalje razvijal v okviru NCHRP.

Dognanja so bila zapisana v Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide and software, neformalno imenovan AASHTO 2002 Design Guide, ki ni bil sprejet s strani AASHTO. Med raziskovanjem so si raziskovalci postavljali nova vprašanja in pojavila se je potreba po vzporednih preiskavah, zato so obseg raziskovalnega dela razširili. Med drugim sta bila v vodiču definirana mednarodni indeks hrapavosti (International Roughness Index (*IRI*)), ki je nadomestil *PSI* iz AASHO testa (opisan pod točko 3.2.1), in nov spekter prometnih obremenitev, saj je star temeljil na zastaranih podatkih o ekvivalentni osni obremenitvi

(oziroma Equivalent Single Axle Load (*ESAL*)), ki je bil opredeljen v času, ko so bile prometne obremenitve precej nižje. Skupine z univerz so se ukvarjale s preiskovanjem različnih materialov, vgrajenih v voziščne konstrukcije (načrtovanje novih prožnih konstrukcij, novih togih konstrukcij in rekonstrukcije obstoječih voziščnih konstrukcij). Pri načrtovanju prožnih konstrukcij je bil ključnega pomena postopek, ki se uporablja za karakterizacijo elastičnih modulov različnih materialov voziščne konstrukcije in podlage temeljnih tal. *CBR* zemljin in granuliranih materialov je uporabna kot osnova za določitev elastičnih modulov, čeprav nista v enolični povezavi za različne materiale. Za granulirane materiale je bila narejena zbirka podatkov o laboratorijskih lastnostih za lokalne pogoje s poudarkom na elastičnih moduli in odpornosti proti trajnim deformacijam. Vodič ne odraža razvoja v mehaniki tal, ki je pomemben pri načrtovanju voziščnih konstrukcij, z izjemo načina s katerim so bile obravnavane zemljinske karakteristike vsrkavanja vode, da se je prilagodila vrednost elastičnega modula. V program je bila vgrajena napačna formula za izračunavanje sprememb v elastičnih moduli, ki je odvisna od sprememb vsebnosti vode. Poleg opisanih modulov prožnih voziščnih konstrukcij so v vodiču definirani tudi HMA kompleksni moduli (HMA Complex Modulus), razpokane zaradi utrujanja, kolesnice in termalne razpoke.



Slika 50: Mehansko-empirični vodič načrtovanja voziščnih konstrukcij

V letu 2005 je izšla verzija programske opreme 0.8 in v letu 2006 verzija 0.9. Uporabniki so lahko zaznali dve pomembni spremembi:

- baza klimatskih podatkov, uporabnih v zadnji kalibraciji in razpoložljivi za načrtovanje je bila precej večja in izboljšana in
- načrtovalne rešitve iz verzij 0.7 in 0.8 potrebujejo dodatne vhodne podatke in lahko povzročijo težave pri nalaganju in zagonu.

Zadnja izdaja je ME-PDG 1.1 iz leta 2009.

Za napovedovanje obnašanja med življenjsko dobo uporablja ME-PDG metoda več kot 100 vhodnih podatkov za modeliranje prometne obremenitve, materialnih lastnosti in faktorjev podnebja. Spremenljivke so podatki o prometu, podnebjju in predlagana sestava voziščne konstrukcije (debelina plasti in sestava). V program so vgrajeni podrobni klimatski podatki (urna temperatura, padavine, hitrost vetra, relativna vlažnost in pokritost z oblaki) iz 851 meteoroloških postaj po ZDA. Izboljšan vgrajen klimatski model (Enhanced Integrated Climatic Model (EICM)) uporablja podatke o vremenu za simulacijo notranje temperature, vlažnosti in pogoje odtajevanja in zmrzovanja voziščne konstrukcije kot funkcije časa. Poleg tega program zahteva enako kot v prvi verziji podatke o prometnih obremenitvah. Izhodni podatki vsake analize so velikosti deformacij in ravnosti, ki ne zahtevajo podajanja debelin plasti. MEPDG postopki predstavljajo veliko spremembo v načrtovanju obnašanja voziščnih konstrukcij. Uspešna izvedba MEPDG postopkov zahteva razumevanje nove metodologije in dodatnih virov za ovrednotenje množice izhodnih podatkov (npr. laboratorijskih preskusov). Potrebne so tudi regionalne/lokalne kalibracije in izkušnje pri optimizaciji načrtovanja.

Prav za ME-PDG se v zadnjem času različne države odločajo, da ga bodo z ustreznimi kalibracijami uporabljale kot pripomoček pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij.

#### 4 PRIMERI PARKIRIŠČ

V nadaljevanju bosta obravnavana dva primera parkirišč in sicer primer parkirišča za osebna vozila in primer počivališča ob bencinskem servisu.

Preglednica 28: Obravnavana parkirišča

|          |                                 |  |
|----------|---------------------------------|--|
| Ime      | Parkirišče ob Kolodvorski ulici | Počivališče Radovljica jug                                       |
| Lokacija | Koper                           | Avtocesta A2, odsek Karavanke (A) - Ljubljana                    |
| Opis     | Osebna vozila                   | Parkirišče za osebna vozila, avtobuse in počivališče za avtodome |

Dejansko izvedeni parkirišči v Sloveniji bosta primerjani s predlaganima sestavama voziščnih konstrukcij po nemških tipskih voziščnih konstrukcijah iz Razpisov. Primerjava bo izvedena na teoretičnem nivoju s pomočjo Odemarkovega postopka za račun tlačnih napetosti na dnu krovne plasti, Westergaardovega postopka za račun upogibnonateznih napetosti na površini nevezane nosilne plasti ter Heukelomove formule za račun dopustnih napetosti na podlagi temeljnih tal z upoštevanjem prej zapisanih enačb (točke 3.1.3, 3.1.4 in 3.1.5). V nadaljevanju pa bodo s pomočjo računalniškega programa izračunane napetosti in primerjane z izračuni po teoretičnih postopkih.

Kot najustreznejši računalniški program (izmed prej naštetih pod točko 3.4) za računanje statičnih obremenitev na parkiriščih je BISAR. Omogoča izračun napetosti, deformacij in posebkov v izbranih točkah skozi prerez voziščne konstrukcije s pomočjo vgrajenih formul, ki temeljijo na analitičnih metodah.

## 4.1 Parkirišče za osebne avtomobile v Kopru

### 4.1.1 Dejansko – po projektu

Prvi obravnavani primer bo parkirna površina, namenjena parkiranju osebnih avtomobilov, ki bo temeljila na sistemu »park – and – ride«. Potniki bi na parkirišču parkirali vozilo in pot nadaljevali z javnimi prevoznimi sredstvi (vlak, avtobus). V načrtu sta izvedbi dveh parkirišč (PK1 nasproti avtobusne postaje in PK2 nasproti poštnega poslopja), ki sta definirani za območje ob Kolodvorski cesti v Kopru.



Slika 51: Parkirišče ob Kolodvorski cesti, Koper (Geopedia, 2012)

Na parkirišču PK1 je predvidena izvedba 28 običajnih parkirnih mest in eno parkirno mesto za invalide, na PK2 pa 48 običajnih parkirnih mest in 2 parkirni mesti za invalide.

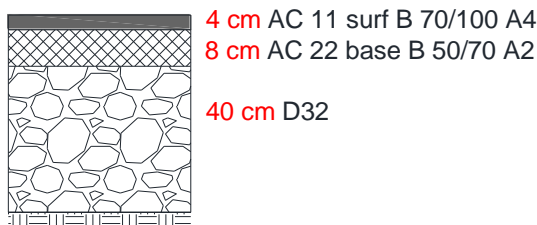
Voziščna konstrukcija je sestavljena iz plasti, kot je zapisano v preglednici 29. Za celotno površino je predvidena enaka utrditev ne glede na to, ali gre za parkirna mesta ali dostop do teh mest. V tehničnem poročilu so uporabljene stare oznake, zato so v stolpcu poleg starih oznak pripisane tudi nove, ki se v Sloveniji uporabljajo od leta 2009.

Skupna debelina krovne plasti znaša 12 cm, kar iz diagrama za določitev osnovnih plasti novih asfaltnih voziščnih konstrukcij po TSC 06.520:2009 (slika 22) ustreza  $6 * 10^5$  in spada

v skupino lahke prometne obremenitve. Upošteva se vrednost podlage  $CBR = 5 \%$ , zato mora debelina spodnje nevezane nosilne plasti drobljenca (slika 23) znašati najmanj 40 cm, kolikor je določeno tudi v tehničnem poročilu projekta.

Preglednica 29: Sestava plasti v primeru parkirišča za osebna vozila

| Plast            | Debelina plasti | Stara oznaka                                | Nova oznaka               |
|------------------|-----------------|---|---------------------------|
| Obrabna          | 4 cm            | BB11s (zrna drobirja iz karbonatnih kamnin) | AC 11 surf B 70/100<br>A4 |
| Vezna nosilna    | 8 cm            | BD22S (skeletna struktura)                  | AC 22 base B50/70<br>A2   |
| Nevezana nosilna | 40 cm           | D32 (0,06/32 mm)                            | D 32                      |



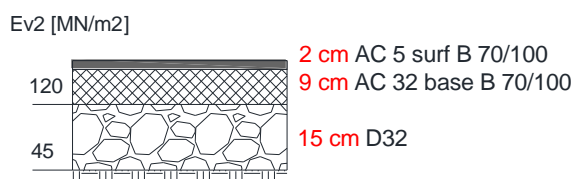
Slika 52: Prečni prerez voziščne konstrukcije po TSC

#### 4.1.2 Nemška standardizacija – po Razpisu

Določitev dimenzij poteka na način, ki je opisan pod točko 3.3.1. Kljub dejstvu, da so bile pri standardizaciji voziščnih konstrukcij upoštevane tehnične specifikacije in pravilniki, ki veljajo v Nemčiji in je predpostavljena življenjska doba voziščnih konstrukcij 20 let, bo zanimiva primerjava izračunov napetosti po prej omenjenih postopkih (Odemark, Westergaard, Heukelman in BISAR). Od obravnavanih standardiziranih metod, opisanih v tej diplomski nalogi, je nemška standardizacija, še posebej pa pripomoček za dimenzioniranje v praksi

(Razpisi asfaltnih del), najbolj poenostavljena in definira tudi dimenzije za parkirne površine glede na prometne obremenitve oziroma kateri skupini vozil so namenjene.

Za parkirišče ob Kolodvorski cesti se lahko predpostavi, da bo na parkirnih mestih neprestano obremenjeno z lahkim prometom osebnih avtomobilov. V publikaciji Razpisi asfaltnih del je določeno, da takšna obremenitev pripada VI gradbenemu razredu (preglednica 16). Pripadajoče obremenitve za ta gradbeni razred so v območju do  $1 * 10^5$  (preglednica 11). Področje ob obali spada v pas, kjer je predvidena globina zmrzovanja 30 cm, vendar pa je najnižja globina zmrzovanja v Razpisih 35 cm (preglednica 17), zato se privzame kar spodnjo voziščno konstrukcijo (slika 52).



Slika 53: Prečni prerez voziščne konstrukcije predviden po nemških smernicah

Krovna plast je v standardiziranih prerezi, ki so prevzeti po RStO 01, določena z debelino 10 cm, medtem ko je v Razpisih med drugim določena možna izvedba, ki ima skupno debelino obrabne in zgornje vezane nosilne plasti 11 cm (rezerva pri dimenzioniranju v praksi). Na sliki 52 je zapisan priporočen sestav asfaltnih zmesi, ki je v Razpisih definiran z nemškimi oznakami (preglednica 30). Predpostavljene so tudi utrditve plasti vgrajenih materialov in podlage, ki morajo dosegati predpisane deformacijske module  $E_{v2}$  (slika 53).

Preglednica 30: Uporabljene asfaltne zmesi, označene s splošno oznako in oznako uporabljeno v Razpisih

| Splošna oznaka      | Oznaka v Razpisih  |
|---------------------|--------------------|
| AC 5 surf B 70/100  | AC 5 D L B 70/100  |
| AC 32 base B 70/100 | AC 32 T N B 70/100 |

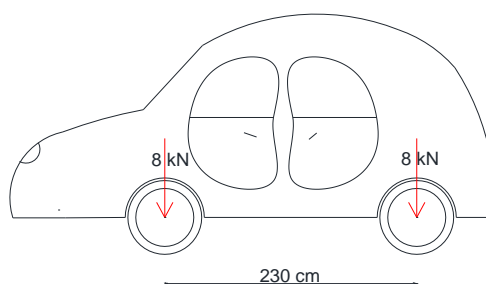


Primerjava teh dimenzij z dimenzijami, ki so bile dejansko uporabljene, pokaže, da bi bila vgrajena tanjša nevezana nosilna plast (15 cm), kot bi bila izvedena po projektu (40 cm). To pa je mogoče zaradi predpisanih deformacijskih modulov v Razpisih, katere mora dosehati posamezna plast voziščne konstrukcije.

### 4.1.3 Izračun napetosti po Odemarku

S tem postopkom bodo določene normalne napetosti  $\sigma_z$  na planumu nevezane nosilne plasti pod asfaltno krovno plastjo.

Upoštevana je skupna debelina krovne plasti, ki jo sestavljata obrabna in zgornja vezana nosilna plast. Privzet je njun skupen modul elastičnosti. Za izračun je potrebno uporabiti tudi deformacijski modul nevezane nosilne plasti.



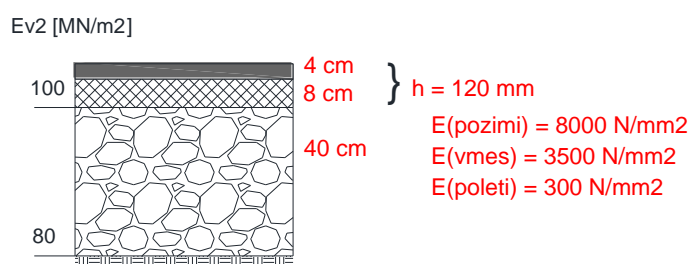
Slika 54: Reprezentativni osebni avtomobil s prikazano obremenitvijo na os

Na naležni površini je upoštevana tipska pnevmatika osebnega avtomobila. Predpostavlja se, da je reprezentativno osebno vozilo težko 1,6 t, katerega obtežba se v enakih deležih razporedi na 4 pnevmatike, ter polmer obremenilne ploskve pnevmatike  $a = 80$  mm. Naležni pritisk v tem primeru znaša

$$p = \frac{4000}{\pi \cdot 80^2} \approx 0,2 \text{ MN/m}^2.$$

Za izvedbo izračuna po Odemarku je potrebno poznati debelino in module elastičnosti krovne plasti, ki se spreminjajo s temperaturo, in deformacijske module nevezane nosilne plasti.

#### 4.1.3.1 Dejansko – po projektu



Slika 55: Podatki za dejansko izvedeno parkirišče, uporabljeni v izračunu napetosti po Odemarku

Ekvivalentna debelina pozimi znaša:

$$z^* = h_1^* = 0,9 \cdot h \cdot \sqrt[3]{E/E_{v2}} \quad (\text{en. 30})$$

$$= 0,9 \cdot 120 \cdot \sqrt[3]{8000/100} = 465 \text{ mm}$$

Normalna napetost na planumu je:

$$\sigma_{z(\text{pozimi})} = p \cdot \left[ 1 - \frac{z^{*3}}{(a^2 + z^{*2})^{3/2}} \right] \quad (\text{en. 31})$$

$$= 0,2 \cdot \left[ 1 - \frac{438^3}{(80^2 + 438^2)^{3/2}} \right] = 0,0086 \text{ N/mm}^2 = 0,0086 \text{ MPa}$$

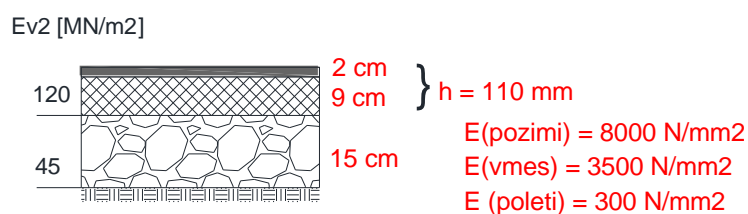
V preglednici 31 so podani izračuni za različne vrednosti modulov elastičnosti.

Preglednica 31: Izračunane vrednosti normalne napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti

|        | $z^*$ [mm] | $\sigma_z$ [MPa] |
|--------|------------|------------------|
| Pozimi | 465        | 0,0086           |
| Vmes   | 353        | 0,0145           |
| Poleti | 156        | 0,0591           |

Tlačne napetosti so pričakovano najvišje poleti, saj so moduli elastičnosti najnižji.

#### 4.1.3.2 Nemška standardizacija – po Razpisu



Slika 56: Podatki za parkirišče po nemški standardizaciji, uporabljeni v izračunu napetosti po Odemarku

Preglednica 32: Izračunane vrednosti normalnih napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti

|        | $z^*$ [mm] | $\sigma_z$ [MPa] |
|--------|------------|------------------|
| Pozimi | 401        | 0,0114           |
| Vmes   | 305        | 0,0190           |
| Poleti | 134        | 0,0734           |

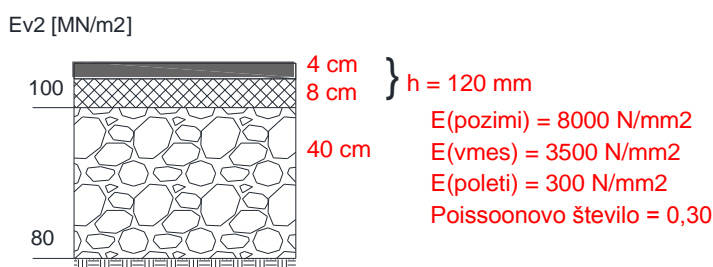
Zopet so najvišje tlačne napetosti v izbrani točki poleti. Če se primerjajo te vrednosti z vrednostmi iz preglednice 31, se izkaže, da so napetosti nekoliko višje, saj je debelina asfaltne krovne plasti 1 cm tanjša od dejanskega primera.

#### 4.1.4 Izračun napetosti po Westergaardu

S pomočjo Westergaardove metode se določi upogibnonatezna napetost  $\sigma_{ms}$  na spodnjem robu asfaltne krovne plasti, vgrajene na nevezani nosilni plasti. Prekoračitev teh napetosti pomeni razpokanje voziščne konstrukcije v tej točki in njihovo širjenje proti vrhnjemu sloju.

Tako kot pri postopku po Odemarku se tudi pri tej metodi upošteva skupna debelina asfaltne krovne plasti. Poleg elastičnega modula je tu predpostavljena vrednost Poissonovega števila. Za nevezano nosilno plast pa je potrebno le poznavanje deformacijskega modula. Obremenitev vozila je enaka opisani pod točko 4.1.3.

##### 4.1.4.1 Dejansko - po projektu



Slika 57: Podatki za dejansko izvedeno parkirišče, uporabljeni v izračunu napetosti po Westergaardu

Preračuna se zimska ekvivalentna debelina:

$$h_1^* = 0,90 \cdot h \cdot \sqrt[3]{E/E_{v2}} \quad (\text{en. 32})$$

$$= 0,90 \cdot 120 \cdot \sqrt[3]{8000/100} = 465 \text{ mm}$$

Zimski fiktivni modul reakcije tal:

$$k_f = \frac{E_v 2}{h_1^*} \quad (\text{en. 33})$$

$$= \frac{100}{465} = 0,215 \text{ N/mm}^3$$

Polmer navidezne krožne obremenitve:

$$b = \sqrt{1,6 \cdot a^2 + h^2} - 0,675 \cdot h \quad (\text{en. 34})$$

$$= \sqrt{1,6 \cdot 80^2 + 120^2} - 0,675 \cdot 120 = 76 \text{ mm}$$

Razmerje velja samo dokler je:

$$a \leq 1,724 \cdot h$$

$$170 \text{ mm} \leq 1,724 \cdot 120 = 207 \text{ mm}$$

Ker to razmerje velja, se lahko v nadaljevanju uporabi izračunano vrednost  $b$  (drugače  $b = a$ ).

Upogibnatezna napetost pozimi znaša:

$$\sigma_{uns} = \frac{0,275F}{h^2} (1 + \mu) \cdot \left[ \log \left( \frac{Eh^3}{kb^4} \right) - 0,436 \right] \quad (\text{en. 35})$$

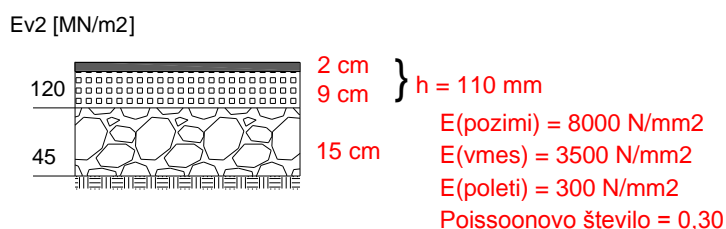
$$\begin{aligned} \sigma_{uns(\text{pozimi})} &= \frac{0,275 \cdot 4000}{120^2} (1 + 0,30) \cdot \left[ \log \left( \frac{8000 \cdot 120^3}{0,215 \cdot 76^4} \right) - 0,436 \right] = 0,283 \text{ N/mm}^2 \\ &= 0,283 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Največje upogibnatezne napetosti so bile izračunane pozimi in padajo z naraščanjem temperature.

Preglednica 33: Izračunane vrednosti upogibnateznih napetosti na spodnjem robu asfaltne krovne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti

|        | $h_1^*$ [mm] | $k_f$ [N/mm <sup>3</sup> ] | $b$ [mm] | $\sigma_{uns}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|--------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|
| Pozimi | 465          | 0,215                      | 76       | 0,2830                              |
| Vmes   | 353          | 0,283                      | 76       | 0,2354                              |
| Poleti | 156          | 0,641                      | 76       | 0,0942                              |

## 4.1.4.2 Nemška standardizacija – po Razpisu



Slika 58: Podatki za parkirišče po nemški standardizaciji, uporabljeni v izračunu napetosti po Westergardu

Preglednica 34: Izračunane vrednosti upogibnateznih napetosti na spodnjem robu asfaltne krovne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti

|        | $h_1^*$ [mm] | $k_f$ [N/mm <sup>3</sup> ] | $b$ [mm] | $\sigma_{uns}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|--------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|
| Pozimi | 401          | 0,2993                     | 75       | 0,3090                              |
| Vmes   | 305          | 0,3934                     | 75       | 0,2526                              |
| Poleti | 134          | 0,8955                     | 75       | 0,0844                              |

Zopet so izračunane največje upogibnatezne napetosti pozimi. Če se primerja preglednici 33 in 34, je npr. v preglednici 33 pozimi napetost nižja, medtem ko je napetost poleti višja kot v preglednici 34.

#### 4.1.5 Izračun dopustnih napetosti

Dopustno normalno obremenitev podlage (posteljice)  $\sigma_{pdop}$  se določi s Heukelomovo enačbo. V izračunu je privzeta vrednost konstante  $c = 0,006$  in izbrana vrednost dinamičnih modul za različne temperature (preglednica 2).

##### 4.1.5.1 Dejansko – po projektu

Pod točko 4.1.1 je bilo v obratnem vrstnem redu preračunano število prehodov nominalne osne obremenitve 100 kN, ki znaša  $T = 6 * 10^5$ . Pod točko 3.1.5 v razpredelnici 2 se izbere ustrezen dinamični modul. Predpostavljeno je, da dinamični modul pozimi znaša npr. 8000 N/mm<sup>2</sup> (pri 0°C), poleti 250 N/mm<sup>2</sup> (pri 40°C), za vmesni čas pa 3000 N/mm<sup>2</sup> (pri 20°C).

$$\sigma_{pdop} = \frac{c \cdot E_{din}}{1 + 0,7 \cdot \log_{10}(T)} \quad (\text{en. 36})$$

$$\sigma_{pdop} (\text{pozimi}) = \frac{0,006 \cdot 8000}{1 + 0,7 \cdot \log_{10}(6 * 10^5)} = 9,5150 \text{ N/mm}^2 = 9,5150 \text{ MPa}$$

Preglednica 35: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov

|        | $E_{din}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{pdop}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Pozimi | 8000                           | 9,5150                               |
| Vmes   | 3000                           | 3,5681                               |
| Poleti | 250                            | 0,2973                               |

##### 4.1.5.2 Nemška standardizacija – po Razpisu

V tem primeru število prehodov nominalne osne obremenitve 100 kN znaša  $T = 1 * 10^5$ .

Preglednica 36: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov

|        | $E_{din}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{pdop}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Pozimi | 8000                           | 10,6667                              |
| Vmes   | 3000                           | 4,0000                               |
| Poleti | 250                            | 0,3333                               |

#### 4.1.6 Izračun napetosti s pomočjo računalniškega programa BISAR 3.0

BISAR 3.0 je program, ki temelji na teoretičnih postopkih za računanje statičnih obremenitev. Ne upošteva empiričnih dognanj o vremenskih vplivih na lastnosti materialov. Zahteva vhodne podatke o:

- legi, velikosti in radiju krožne obtežbe
- debelini, elastičnih modulih in Poissonovih številih (privzete so vrednosti 0,35) plasti
- točkah, kjer se želi preveriti napetosti, deformacije ali posedke.

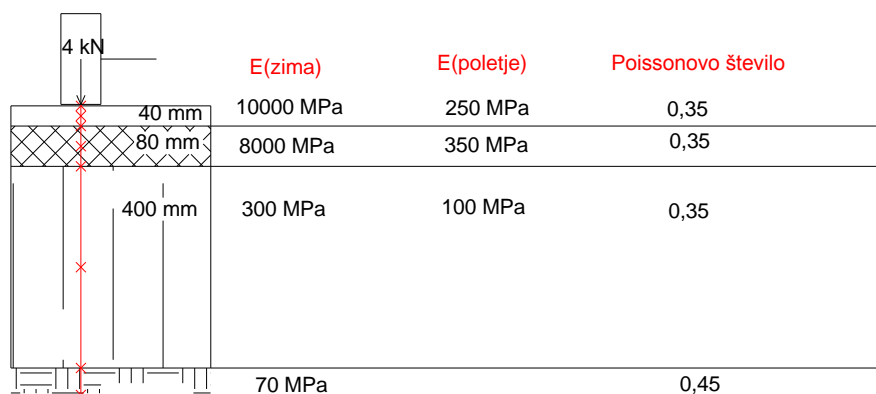
Okvirne vrednosti za elastične module so privzete iz posebnih avstrijskih tabel in poenostavljene.

Izhodni podatki se lahko pridobijo na različne načine, opisane v poglavju 3.4.1. Ti so prikazani v različno obsežnih poročilih.

##### 4.1.6.1 Dejansko – po projektu

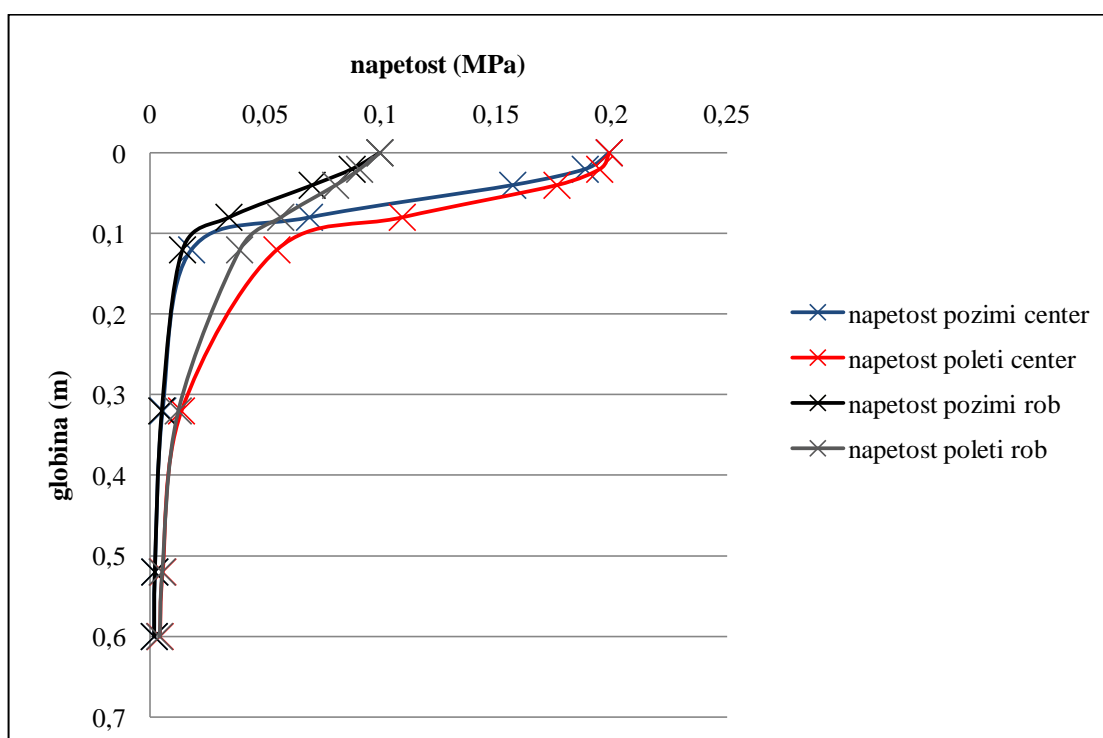
Uporabljeni so bili podatki, zapisni na sliki 59.





Slika 59: Podatki za zimo in poletje za dejansko izvedeno parkirišče, uporabljeni v programu BISAR 3.0

Rezultati so bili prebrani z listov posebnega poročila (oziroma Detailed Report), ki so priloženi diplomski nalogi v prilogi 4.



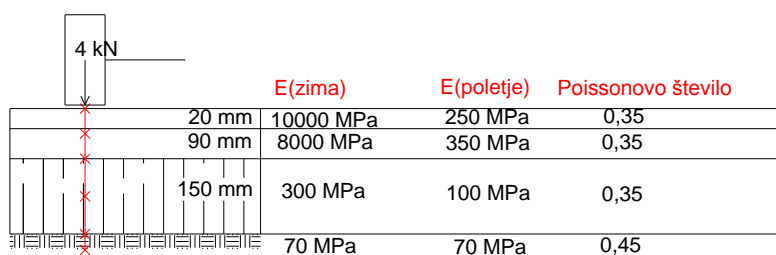
Grafikon 1: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (dejansko)

Z grafikona 1 je razvidno, da so tlačne napetosti v krovni plasti višje v centru obtežbe (rdeča in modra črta na grafikonu 1). Zimska krivulja (modra barva) na prehodu v nevezano nosilno plast strmo upade in se povsem približa tlačnim napetostim, ki so pozimi na robu (črna črta). Napetosti poleti ne upadajo tako strmo z globino in tudi na površini podlage so še vedno večje kot pozimi. Dejansko izračunane vrednosti so podane v preglednici 37.

Preglednica 37: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (dejansko)

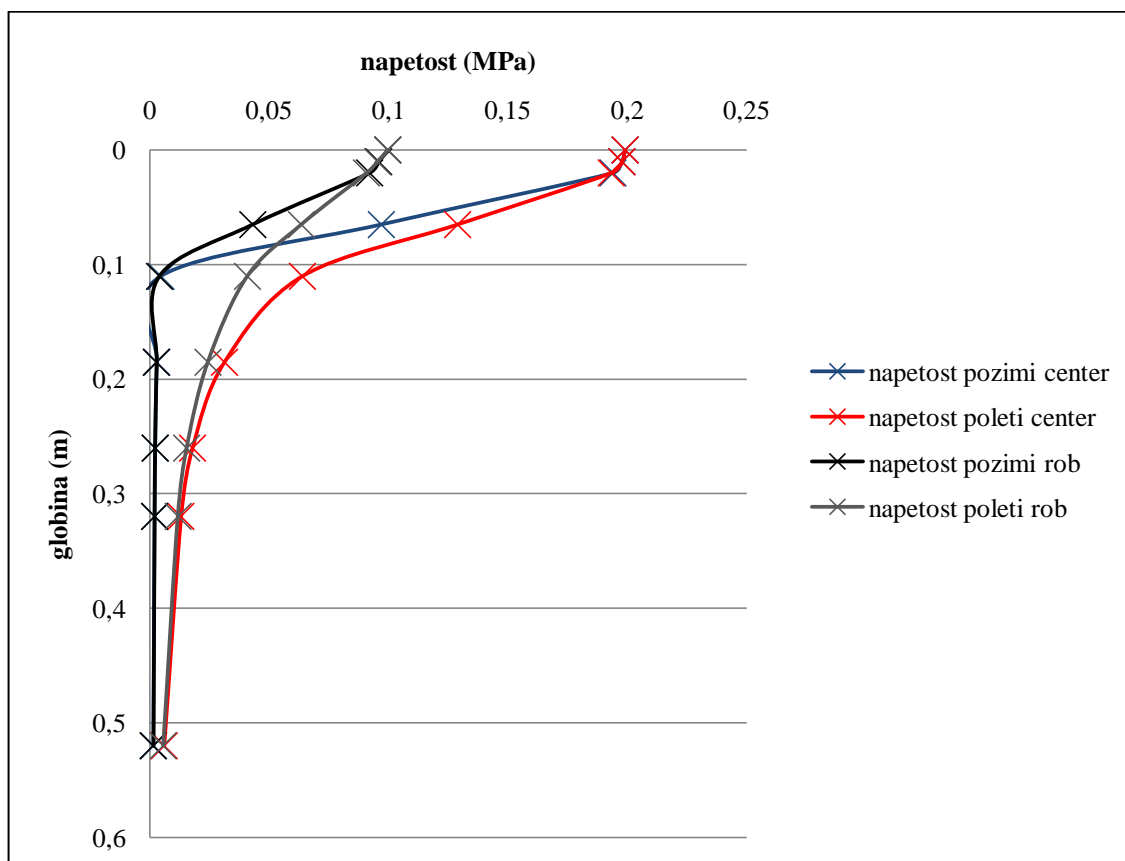
| Sloj    | Globina (m) | Napetost pozimi |               | Napetost poleti |               |
|---------|-------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
|         |             | v centru (MPa)  | na robu (MPa) | v centru (MPa)  | na robu (MPa) |
| 1       | 0           | 0,1989          | 0,09947       | 0,1989          | 0,09947       |
| 1       | 0,02        | 0,1886          | 0,0875        | 0,1949          | 0,09081       |
| 1 ali 2 | 0,04        | 0,1571          | 0,07031       | 0,1764          | 0,08042       |
| 2       | 0,08        | 0,06916         | 0,0342        | 0,1093          | 0,05661       |
| 2 ali 3 | 0,12        | 0,01789         | 0,01402       | 0,05501         | 0,03886       |
| 3       | 0,32        | 0,005369        | 0,005015      | 0,01358         | 0,01214       |
| 3 ali 4 | 0,52        | 0,002046        | 0,001998      | 0,005408        | 0,005164      |
| 4       | 0,60        | 0,001724        | 0,001691      | 0,004234        | 0,004084      |

#### 4.1.6.2 Nemška standardizacija – po Razpisu



|        | E(zima)   | E(poletje) | Poissonovo število |
|--------|-----------|------------|--------------------|
| 20 mm  | 10000 MPa | 250 MPa    | 0,35               |
| 90 mm  | 8000 MPa  | 350 MPa    | 0,35               |
| 150 mm | 300 MPa   | 100 MPa    | 0,35               |
|        | 70 MPa    | 70 MPa     | 0,45               |

Slika 60: Podatki za zimo in poletje vozišne konstrukcije po nemških smernicah, uporabljeni v programu BISAR 3.0



Grafikon 2: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (po Razpisu)

Spreminjanje tlačnih napetosti z globino je podobno kot v prej obravnavanem primeru dejanske izvedbe.

Iz primerjave napetosti iz preglednic 37 in 38 v enakih globinah je mogoče poenostaviti, da je na površini voziščne konstrukcije velikost tlačnih napetosti odvisna predvsem od lege znotraj krožne obtežbe, medtem ko se z globino tlačna napetost porazdeli na večjo površino in je v nevezani nosilni plasti odvisna samo še od elastičnih modulov oziroma od zunanjih temperatur (približevanje krivulj npr. za napetosti pozimi v globini okoli 20 cm na grafikonu 2).

Preglednica 38: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0 (po Razpisu)

| Sloj    | Globina (m) | Napetost pozimi   |                  | Napetost poleti   |                  |
|---------|-------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|         |             | v centru<br>(MPa) | na robu<br>(MPa) | v centru<br>(MPa) | na robu<br>(MPa) |
| 1       | 0           | 0,1989            | 0,09947          | 0,1989            | 0,09947          |
| 1       | 0,01        | 0,1976            | 0,09586          | 0,1977            | 0,09536          |
| 1 ali 2 | 0,02        | 0,1939            | 0,09188          | 0,1933            | 0,09067          |
| 2       | 0,065       | 0,09684           | 0,04295          | 0,1288            | 0,06333          |
| 2 ali 3 | 0,11        | 0,004563          | 0,003867         | 0,06385           | 0,04077          |
| 3       | 0,185       | 0,002896          | 0,002682         | 0,03113           | 0,02424          |
| 3 ali 4 | 0,26        | 0,002115          | 0,002049         | 0,01774           | 0,01537          |
| 4       | 0,32        | 0,001884          | 0,00184          | 0,01294           | 0,01167          |
| 4       | 0,52        | 0,001377          | 0,00136          | 0,005849          | 0,005588         |

## 4.2 Počivališče Radovljica

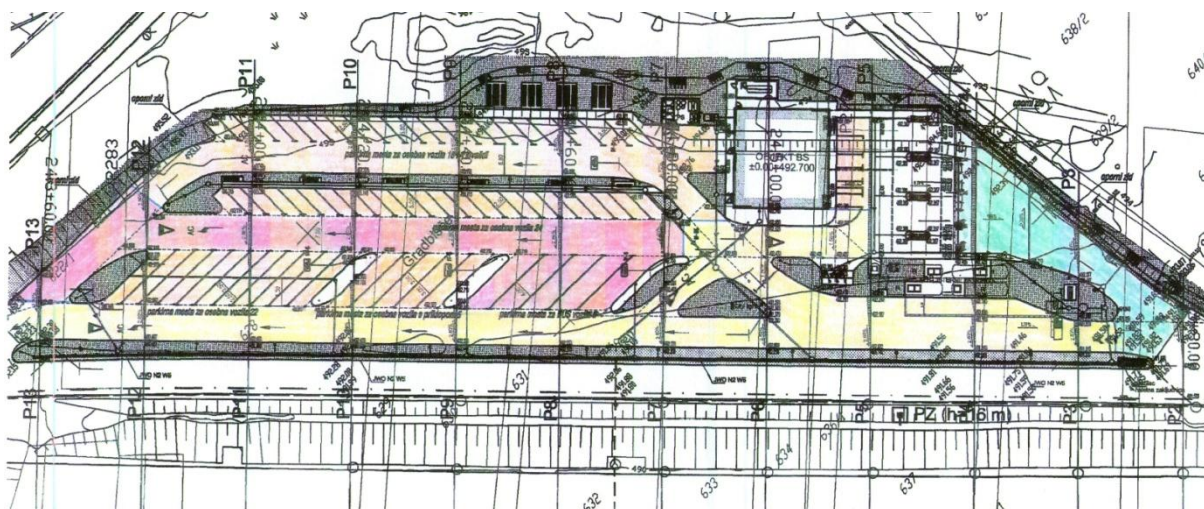
### 4.2.1 Dejansko

Počivališče Radovljica jug se nahaja na avtocesti A2 na odseku Karavanke (A) – Ljubljana. Nanj je mogoče dostopati v primeru vožnje po avtocesti iz avstrijske smeri skozi Karavanke (A). Na parkirišču, ki je namenjeno parkiranju osebnih avtomobilov (64 parkirnih mest + 4 parkirna mesta za invalide), avtobusov (5 parkirnih mest) in avtodomov (5 parkirnih mest), je prepovedano parkiranje tovornih vozil. Poleg parkirnih prostorov je tu tudi bencinski servis, okrepčevalnica, sanitarje, klopi in mize, rekreacijske površine ter otroška igrala.

Debeline in sestava plasti na počivališču se ločita glede na to, kateri vrsti vozila bo parkirno mesto namenjeno. Podane so vrednosti posameznih plasti na parkirnih mestih za osebna vozila in parkirnih mestih za avtobuse ter voznih pasovih mimo parkirnih mest.



Slika 61: Počivališče Radovljica jug (Geopedia, 2012 in Google, 2012)



Slika 62: Tloris počivališča (Černigoj, 2011)

Zanimivo je preveriti, kolikšno število prehodov osne obremenitve 100 kN so projektanti pri tem predpostavili. Na parkirnih mestih za osebna vozila (oranžna barva na sliki 62), avtobuse in na voznem pasu med parkirnimi mesti (roza barva na sliki 62) je podana debelina krovne plasti 10 cm. Iz diagrama na sliki 22 pod točko 3.2 se lahko odčita število prehodov, ki za dano debelino voziščne konstrukcije znaša okoli  $3 \cdot 10^5$ , ki spada v skupino lahke prometne obremenitve. Edina razlika med različno označenimi predeli na sliki 62 je v pripravljeni asfaltni plasti, to je v uporabljeni vrsti bitumenskega veziva za obrabno plast. Medtem ko se

na parkirnih mestih za osebna vozila uporablja navaden bitumen, se na parkirnih mestih za avtobuse uporablja polimerni bitumen. Z upoštevanjem vrednosti  $CBR = 3\%$  v podlagi, se določi debelino nevezane nosilne plasti. Ta debelina za izbrano skupino obremenitve znaša 47 cm. Ker pa je debelina nevezane plasti drobljenca omejena na 40 cm, so se v tem primeru odločili za dodatek plasti cementne stabilizacije. Minimalna debelina cementne stabilizacije za površine, obremenjene s težkim prometom, je 18 cm, minimalna debelina bitumenske stabilizacije za površine, obremenjene s srednjim ali lahkim prometom, pa 15 cm. Minimalna količina dodanega cementa je  $50 \text{ kg/m}^3$ .

Preglednica 39: Sestava voziščne konstrukcije na počivališču

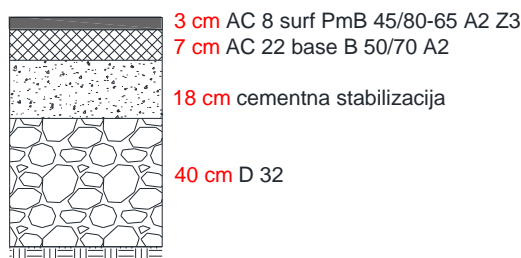
|                              | Parkirna mesta za osebna vozila (oranžna barva na sliki 61) | Vozni pas mimo parkirnih mest (rumena barva na sliki 61) | Parkirna mesta za BUS vozila + vozni pas med parkirnimi mesti (roza barva na sliki 61) |
|------------------------------|---|--|--|
| Obrabna plast                | 3 cm AC 8 surf<br>B 70/100 A4                               | 3 cm AC 8 surf<br>PmB 45/80 Z3                           | 3 cm AC 8 surf<br>PmB 45/80-65 A2 Z3   |
| Vezna plast                  | 7 cm AC 22 base<br>B 50/70 A4                               | 9 cm AC 22 base<br>B 50/70 A2                            | 7 cm AC 22 base<br>B 50/70 A2  |
| Spodnja vezana nosilna plast | 15 cm cementna stabilizacija                                | 18 cm cementna stabilizacija                             | 18 cm cementna stabilizacija   |
| Nevezana nosilna plast       | 40 cm D 32  | 40 cm D 32   | 40 cm D 32   |
| Skupaj                       | 65 cm   | 70 cm  | 68 cm  |

Cona zmrzovanja v okolici Radovljice po karti globin prodiranja mraza (slika 19) je na globini 1 meter. Minimalna debelina zmrzlinško odpornega materiala je:

$$h_{min} = 0,7 \cdot 100 \text{ cm} = 70 \text{ cm}$$

Skupna debelina krovne, stabilizirane in nevezane nosilne plasti je skoraj 70 cm, zato ni potrebna posteljica iz zmrzlinško odpornega materiala.

V nadaljevanju bodo na različne načine izračunane le napetosti za primer voziščnih konstrukcije na parkirnih mestih za avtobuse, saj so ta, izmed vseh parkirnih mest, najbolj obremenjena.

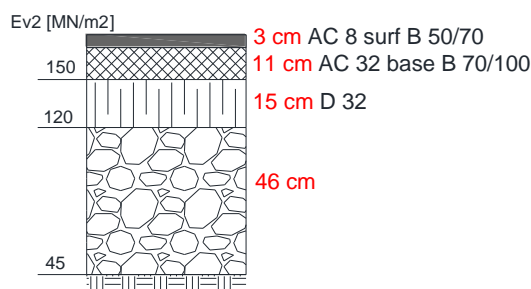


Slika 63: Prečni prerez voziščne konstrukcije na parkirnem mestu za avtobuse

#### 4.2.2 Nemška standardizacija

Na parkirnih mestih za avtobuse se upošteva, da nastopa obremenitev s težkimi vozili. Po nemških Razpisih se takšno obremenitev na parkirnih površinah uvršča v IV gradbeni razred (preglednica 16). Območje obremenitev v tem razredu je od  $3 \cdot 10^5$  do  $8 \cdot 10^5$ . V nemških Razpisih ni predpostavljene tipske voziščne konstrukcije za tolikšno globino (1 m), zato predpostavim največjo globino zmrovanja, ki je podana in ta znaša 75 cm. Skupna debelina voziščne konstrukcije mora biti večja od 70 cm, da je zagotovljena minimalna potrebna debelina voziščne konstrukcije.

Za krovno plast obstaja več možnih izvedb. Na sliki 64 je prikazan le en primer, kjer je obrabna plast iz 3 cm AC 8 surf 50/70 oziroma po nemških Razpisih označena z AC 8 D N 50/70 in vezana nosilna plast iz 11 cm AC 32 base 70/100 oziroma AC 32 T N 70/100. Predpisani so deformacijski moduli, ki jih morajo dosegati posamezne plasti.



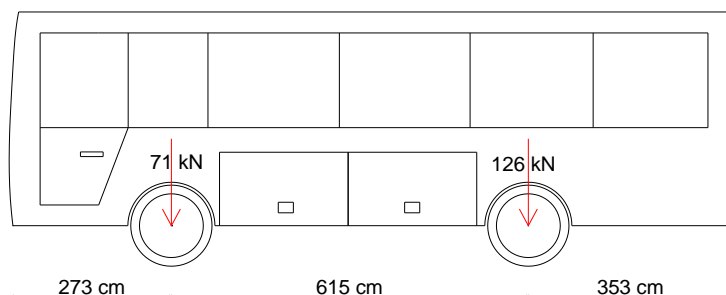
Slika 64: Prečni prerez voziščne konstrukcije po nemških smernicah

### 4.2.3 Izračun napetosti po Odemarku

Postopek izračuna je podoben, kot v zgornjih primerih parkirišča za osebna vozila, le da je v tem primeru voziščna konstrukcija obremenjena s težkimi avtobusi (slika 65).

Pri izračunu naležne površine sta upoštevani predpostavki:

- bolj obremenjena je zadnja os in posledično tudi pnevmatika, čeprav sta na osi dve dvojni kolesi in
- obtežba kolesa vozila je enakomerno porazdeljena po kontaktni ploskvi med pnevmatiko in voziščno konstrukcijo in se jo opiše kot krožno enakomerno porazdeljeno obtežbo.



Slika 65: Razdalja med osem in obremenitev osi reprezentativnega avtobusa



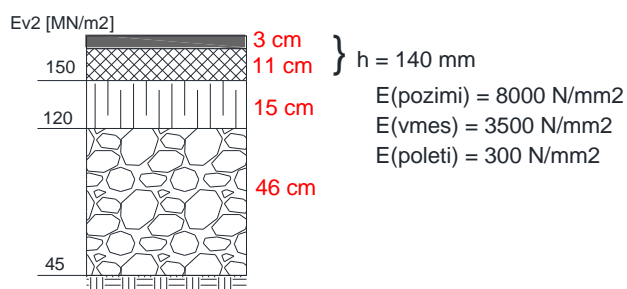
Velikost kontaktne ploskve je odvisna od kontaktnega pritiska. Privzet je polmer obremenilne ploskve pnevmatike  $a = 170 \text{ mm}$ .

$$p = \frac{126000 \text{ N}}{2 \cdot \pi \cdot 170^2} = 0,694 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.2.3.1 Dejansko – po projektu

Izračun po Odemarku ni merodajen, saj velja za izračun napetosti na spodnjem robu asfaltne krovne plasti, ki leži na nevezani nosilni plasti. V danem primeru je pod asfaltno krovno plastjo namreč plast cementne stabilizacije (problem predpostavljjanja  $E_{v2}$ ).

#### 4.2.3.2 Nemška standardizacija – po Razpisu



Slika 66: Podatki za izračun napetosti po Odemarku

Preglednica 40: Izračunane vrednosti normalne napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti

|        | $z^*$ [mm] | $\sigma_z$ [MPa] |
|--------|------------|------------------|
| Pozimi | 437        | 0,1322           |
| Vmes   | 332        | 0,2046           |
| Poleti | 146        | 0,5021           |

#### 4.2.4 Izračun napetosti po Westergaardu

Poleg poznane debeline in elastičnega modula krovne plasti  $E$  se pri izračunu po Westergaardu upošteva tudi predpostavljeno Poissonovo število.

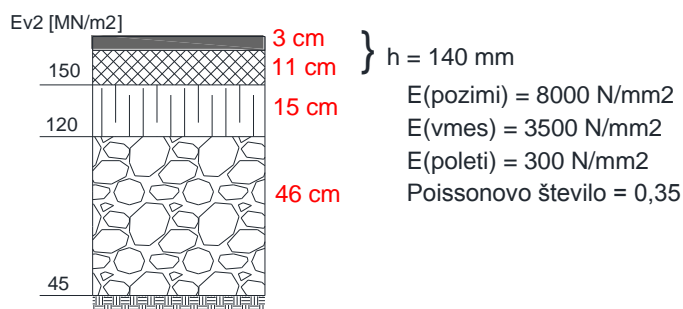
Polmer obremenilne ploskve pnevmatike in naležni pritisk pnevmatike se upoštevata enaka, kot pri metodi po Odemarku. Obremenitev kolesa avtobusa je  $F = 63000$  N.

##### 4.2.4.1 Dejansko – po projektu

Enako kot pri metodi po Odemarku velja tudi pri Westergaardu, da se uporablja samo za voziščne konstrukcije z nevezano nosilno plastjo, brez stabilizacijske plasti. Pri dejansko izvedenem parkirišču je bila uporabljena plast cementne stabilizacije, zato ta izračun ne bi bil merodajen.

##### 4.2.4.2 Nemška standardizacija – po Razpisu

Upogibnatezne napetosti so najvišje pozimi in z zviševanjem temperature padajo. V tem primeru so poleti negativne.



Slika 67: Podatki za izračun napetosti po Westergaardu

Preglednica 41: Izračunane vrednosti  $\sigma_{uns}$  napetosti na planumu nevezane nosilne plasti za različne vrednosti modulov elastičnosti

|        | $h^*$ [mm] | $k_f$ [N/mm <sup>3</sup> ] | $b$ [mm] | $\sigma_{uns}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|
| Pozimi | 474        | 0,310                      | 162      | 1,707                               |
| Vmes   | 360        | 0,417                      | 162      | 1,251                               |
| Poleti | 159        | 0,945                      | 162      | -0,364                              |

V izračunu poleti je bila dobljena tlačna upogibnonatezna napetost, ki je posledica strukturnih sprememb v materialu. Tlačne napetosti običajno nastopajo nižje v nevezani nosilni plasti, v tem primeru pa so se prestavile višje v asfaltno krovno plast.

#### 4.2.5 Izračun dopustnih nepetosti

Predpostavljena vrednost konstante je  $c = 0,006$ . Dinamični modul pozimi je lahko višji kot je v privzet v sklopu parkirišča za osebna vozila, saj leži v hladnejšem območju. Predpostavi se vrednost 12000N/mm<sup>2</sup>, medtem ko se za poletni dinamični modul uporabi enako vrednost kot v prejšnjem primeru parkirišča in ta je 250N/mm<sup>2</sup>, vmesna vrednost pa je 3000 N/mm<sup>2</sup>.

##### 4.2.5.1 Dejansko – po projektu

Za število prehodov nominalne osne obremenitve se privzame vrednost  $T = 2 * 10^6$ .

Preglednica 42: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov

|        | $E_{din}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{pdop}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Pozimi | 8000                           | 8,871                                |
| Vmes   | 3000                           | 3,327                                |
| Poleti | 250                            | 0,277                                |

## 4.2.5.2 Nemška standardizacija – po Razpisu

Število prehodov nominalne osne obremenitve 100 kN je v tem primeru predpostavljena z vrednostjo  $T = 8 * 10^5$ .

Preglednica 43: Izračunane vrednosti dopustnih napetosti na planumu podlage za različne vrednosti dinamičnih modulov

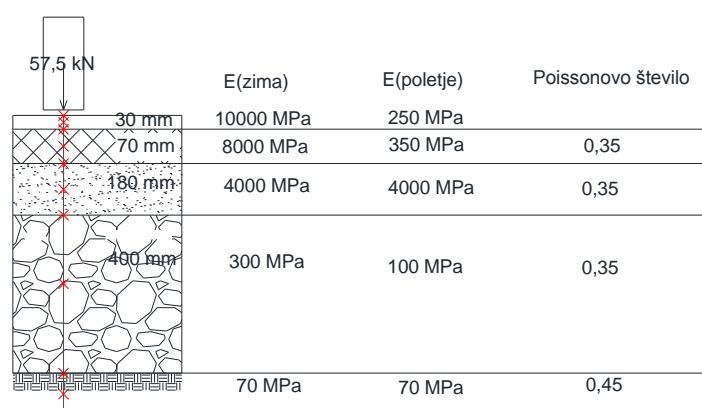
|        | $E_{din}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{pdop}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|--------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Pozimi | 8000                           | 9,353                                |
| Vmes   | 3000                           | 3,507                                |
| Poleti | 250                            | 0,292                                |

Preverjanje dopustne obremenitve podlage je pomembno predvsem poleti, ko so dopustne napetosti najmanjše.

## 4.2.6 Izračun napetosti s pomočjo računalniškega programa BISAR 3.0

### 4.2.6.1 Dejansko

Je primer, ko je bila uporabljena posebna plast stabilizirana s cementom. Za elastični modul stabilizirane plasti je privzeta vrednost 4000 MPa, ki se z letnimi časi ne spreminja.



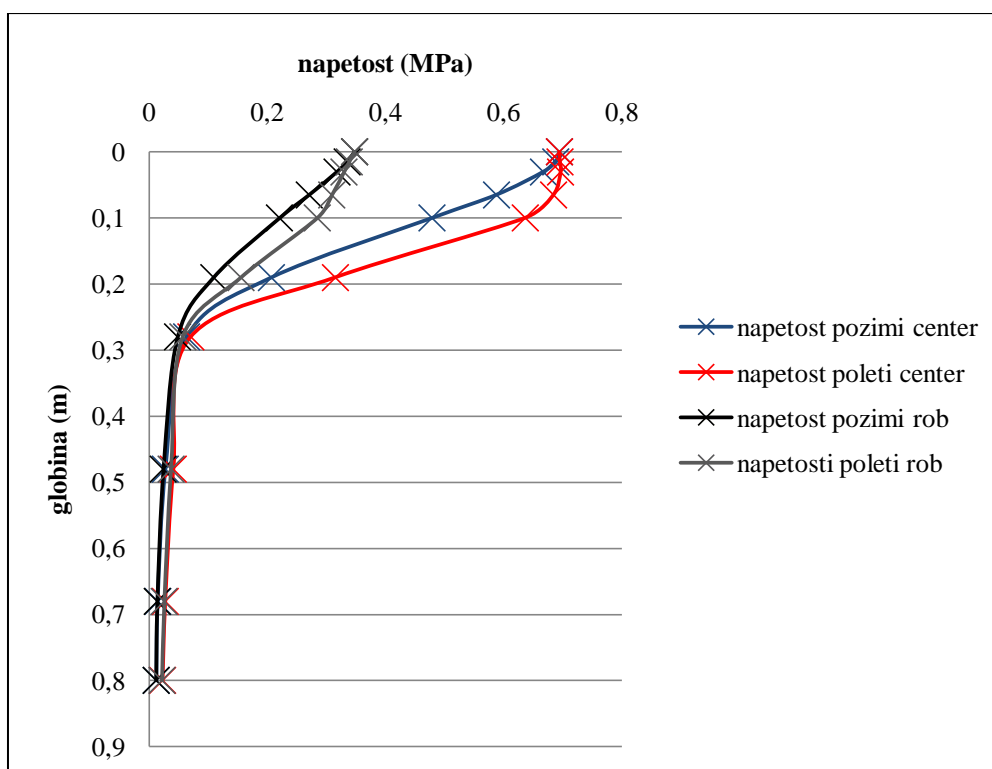
Slika 68: Podatki za zimo in poletje, uporabljeni v programu BISAR 3.0

Elastični modul bi bilo mogoče izračunati tudi po posebni formuli, ki je odvisna od togosti materiala:

$$E = 57000 \cdot \sqrt{f_c} \quad [\text{psi}] \quad (\text{en. } 37)$$

$f_c$ ...tlačna trdnost, testirana skladno s standardom AASHTO T 22

Na grafikonu 3 je razvidno, da se tlačne napetosti z naraščanjem globine do dna krovne plasti obnašajo podobno kot v primeru parkirišča za osebne avtomobile (pozimi napetosti bolj strmo padajo z globino kot poleti). Razlika v poteku tlačnih napetosti med grafikonoma 1 in 2 ter 3 se pojavi v plasti cementne stabilizacije. Ta povzroči, da se tlačne napetosti na dnu te plasti ne spreminjajo pretirano glede na letni čas. Vpliv poletja in zime se ne kaže več.

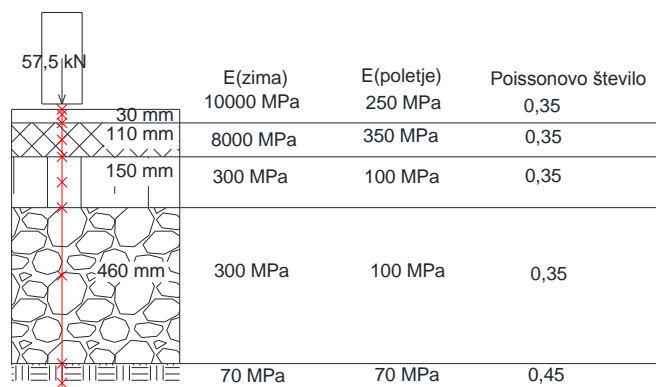


Grafikon 3: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane v programu BISAR 3.0

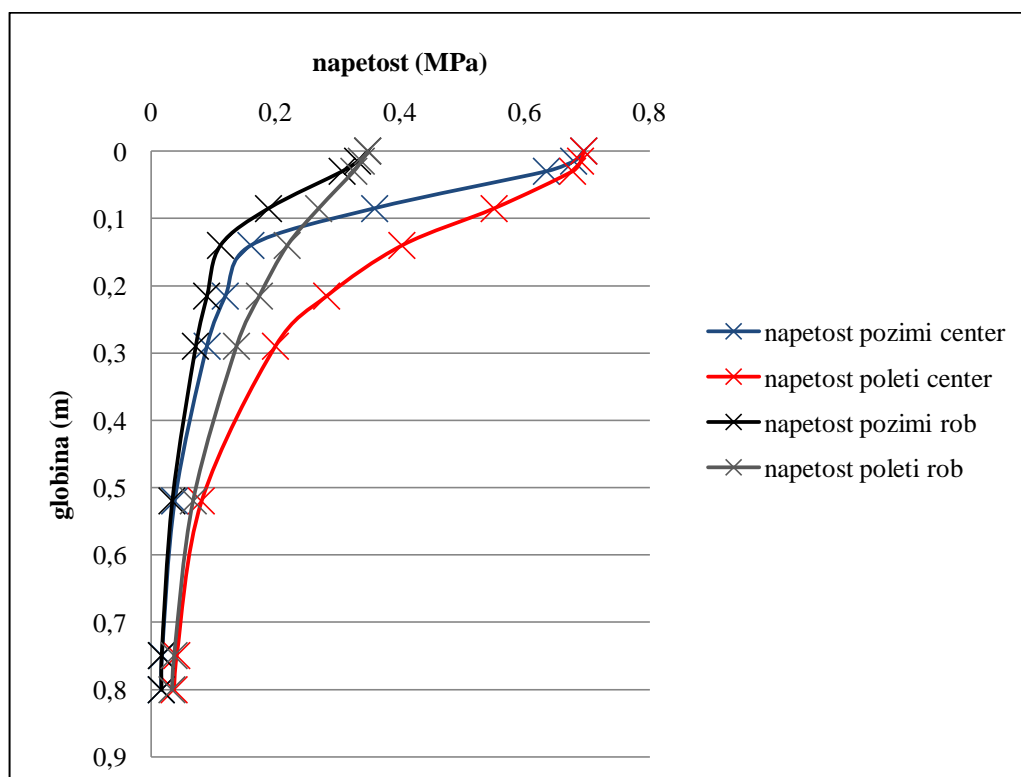
Preglednica 44: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane s pomočjo programa Bisar

| Sloj    | Globina (m) | Napetost pozimi (MPa) |         | Napetost poleti (MPa) |         |
|---------|-------------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|         |             | v centru              | na robu | v centru              | na robu |
| 1       | 0           | 0,6939                | 0,3469  | 0,6939                | 0,3469  |
| 1       | 0,015       | 0,6877                | 0,3344  | 0,6949                | 0,3380  |
| 1 ali 2 | 0,03        | 0,6689                | 0,3176  | 0,6962                | 0,3296  |
| 2       | 0,065       | 0,5873                | 0,2704  | 0,6840                | 0,3089  |
| 2 ali 3 | 0,1         | 0,4786                | 2,2204  | 0,6359                | 0,2841  |
| 3       | 0,19        | 0,2067                | 0,1087  | 0,3147                | 0,1550  |
| 3 ali 4 | 0,28        | 0,06311               | 0,04761 | 0,06968               | 0,05617 |
| 4       | 0,48        | 0,02689               | 0,02352 | 0,04056               | 0,03644 |
| 4 ali 5 | 0,68        | 0,01381               | 0,01311 | 0,02684               | 0,02522 |
| 5       | 0,80        | 0,01159               | 0,01115 | 0,02232               | 0,02124 |

#### 4.2.6.2 Nemška standardizacija – po Razpisu



Slika 69: Podatki za zimo in poletje, uporabljeni v programu BISAR 3.0



Grafikon 4: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane s pomočjo programa BISAR 3.0

V tem primeru, ko za razliko od dejanske izvedbe parkirišča ni bila uporabljena cementna stabilizacija, je potek napetosti podoben kot v primeru izračuna parkirišča za osebne avtomobile. Razlikujejo se le v velikosti, saj so namenjena različno težkim vozilom.

Preglednica 45: Tlačne napetosti po plasteh, izračunane s pomočjo programa BISAR 3.0

| Sloj    | Globina (m) | Napetost pozimi (MPa) |         | Napetost poleti (MPa) |         |
|---------|-------------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|         |             | v centru              | na robu | v centru              | na robu |
| 1       | 0           | 0,6939                | 0,3469  | 0,6939                | 0,3469  |
| 1       | 0,015       | 0,6780                | 0,3313  | 0,6893                | 0,3367  |
| 1 ali 2 | 0,03        | 0,6343                | 0,3064  | 0,6760                | 0,3247  |
| 2       | 0,085       | 0,3582                | 0,1881  | 0,5505                | 0,2686  |
| 2 ali 3 | 0,14        | 0,1599                | 0,1107  | 0,4025                | 0,2183  |
| 3       | 0,215       | 0,1191                | 0,08916 | 0,2818                | 0,1735  |
| 3 ali 4 | 0,29        | 0,08928               | 0,07101 | 0,1989                | 0,1367  |
| 4       | 0,52        | 0,03772               | 0,03331 | 0,08059               | 0,06711 |
| 4 ali 5 | 0,75        | 0,01723               | 0,01629 | 0,04059               | 0,03684 |
| 5       | 0,80        | 0,01588               | 0,01509 | 0,03642               | 0,03338 |

### 4.3 Primerjava izračunov po TSC, nemških smernicah in z računalniškimi programi

Namen izračunov pod točkama 4.1 in 4.2 je bil preveriti, ali dejansko izvedena oziroma po nemški standardizaciji določena voziščna konstrukcija ne presega dopustnih napetosti, ki so bile določene s pomočjo Heukelomove formule. V različnih letnih časih se te napetosti razlikujejo. Odvisne so od velikosti elastičnega modula, ki se spreminja s temperaturo, in osne obremenitve. Merodajna pri preverjanju napetosti je nižja od dopustnih napetosti, torej napetost poleti.

Med seboj je mogoče primerjati:



- izračune tlačnih napetosti na površini nevezane nosilne plasti po Odemarku in v programu BISAR 3.0 (preglednica 46) in
- dopustnih normalnih napetosti na planumu posteljice in izračunov po Westergaardu na dnu krovne plasti (preglednica 47).

Preglednica 46: Primerjava izračunov tlačnih napetosti na planumu nevezane nosilne plasti pod asfaltno krovno plastjo po Odemarku in programu BISAR 3.0

|                                       | Odemark-<br>dejansko | BISAR-<br>dejansko | Odemark-<br>nemška<br>standardizacija | BISAR-nemška<br>standardizacija |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Parkirišče za<br>osebne<br>avtomobile | 0,059                | 0,05501            | 0,0734                                | 0,06385                         |
| Počivališče                           | -                    | 0,6359             | 0,5021                                | 0,4025                          |

Zaradi netočnih izračunov, ki bi jih dobili z uporabo metode po Odemarku in Westergaardu, niso bile preverjene napetosti v primeru, ko je bila uporabljena plast cementne stabilizacije (v primeru dejanske izvedbe počivališča). Podan je le rezultat, dobljen v programu BISAR 3.0. Primerjava napetosti je mogoča v primeru počivališča po nemških smernicah.

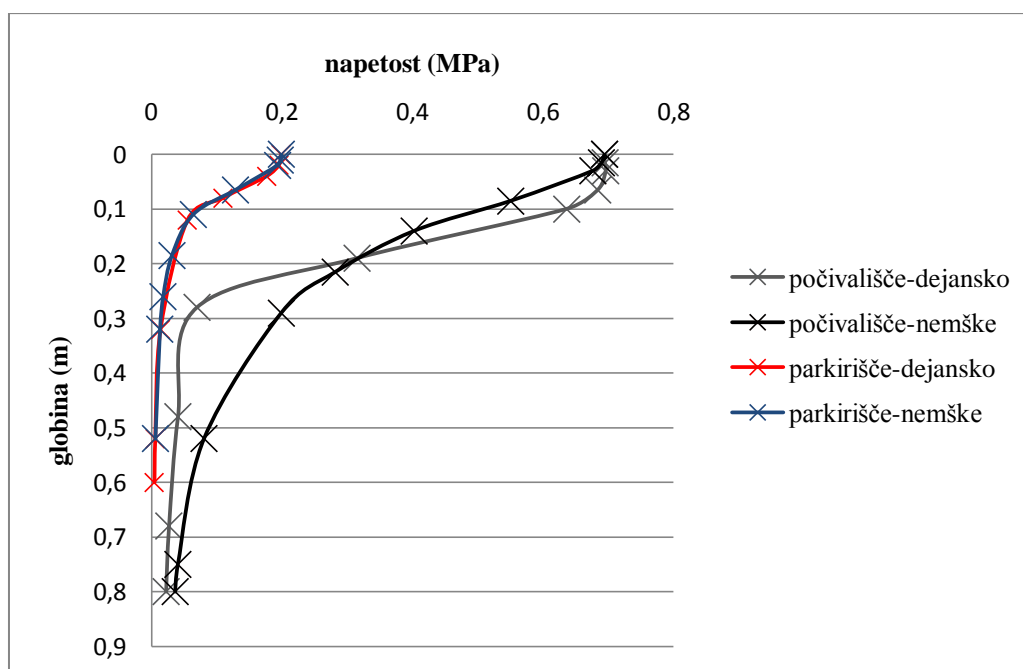
V preglednici 46 podane vrednosti po Odemarku in izračuni v programu BISAR 3.0 se ne razlikujejo veliko, saj program temelji na analitičnih postopkih.

Dopustne normalne napetosti, določene po Heukelomu, so za primere parkirišča za osebne avtomobile nižje od izračunanih s postopkom po Westergaardu. Veliko odstopanje pa je v primeru počivališča po nemških smernicah. Po Westergaardu izračunane so približno 6-krat višje od dopustnih. Prišlo bi do razpokanja voziščne konstrukcije na dnu krovne plasti in te razpoke bi se sčasoma širile proti površini, kjer bi prišlo do bistvenega poslabšanja razmer na vozišču. K temu rezultatu pripomore dejstvo, da so bile predpostavljene dimenzije določene zgolj na osnovi Razpisov, ne pa ob upoštevanju dejanskih smernic RStO 01 (ni bilo možnosti

izbire dejanske globine prodiranja mraza 1 m v preglednici standardiziranih konstrukcij). Od leta 2011 v Nemčiji velja, da je potrebno projektirati voziščne konstrukcije izključno z analitičnimi metodami.

Preglednica 47: Primerjava dopustnih normalnih napetosti in izračunov s pomočjo Westergaarda

|                                 | Dopustne napetosti-dejansko | Westergaard-dejansko | Dopustne napetosti-nemška standardizacija | Westergaard-nemška standardizacija |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|---|------------------------------------|
| Parkirišče za osebne avtomobile | 0,2973                      | 0,2830               | 0,3333                                    | 0,3090                             |
| Počivališče                     | 0,277                       | -                    | 0,292                                     | 1,707                              |



Grafikon 5: Razporeditev tlačnih napetosti po voziščni konstrukciji poleti v vseh 4 primerih, izračunanih s programom BISAR 3.0

Na grafikonu 5 je prikazan potek tlačnih napetosti od vrha obrabne plasti do temeljnih tal za vse 4 primere poleti. Največji padec tlačnih napetosti je v krovni plasti, kar je opazno iz položnejšega dela krivulje. Glede na velikost obremenitve tik pod pnevmatiko je razvidno, da so tlačne napetosti na površini pod osebnimi avtomobili v tem primeru več kot 3 krat manjše od obremenitev pod težkimi avtobusi na počivališčih. V primeru dejanske izvedbe in po nemških smernicah pa se diagrama tlačnih napetosti pri osebnih vozilih skoraj prekrivata, medtem ko pri dejanski izvedbi počivališča in izvedbi po nemški standardizaciji pride do odstopanj zaradi uporabe plasti cementne stabilizacije v primeru dejanske izvedbe.

## 5 ZAKLJUČEK

Pri načrtovanju voziščnih konstrukcij je treba upoštevati, da se jih ne da natančno izračunati. Vzrok za to je predvsem v razpoložljivih materialih, ki jih po kakovosti ni mogoče natančno razvrstiti v skupine z enakimi lastnostmi niti pred niti po predelavi. Vgrajeni materiali v plasti niso homogeni in izotropni. Lokalno šibkejša mesta imajo lahko zmanjšano nosilnost, kar povzroči hitrejši razvoj poškodb vozišča.

Za določanje napetosti so bile razvite teoretične metode (osnove je postavil Boussinesq konec 19. stol, njegove predpostavke je uporabil Burmister v teoriji elastičnosti dvoslojnega sistema leta 1945, svoj prispevek sta podala tudi Odemark in Westergaard, itd.). Izračuni po teh postopkih so mogoči ob upoštevanju določenih predpostavk glede materiala (homogen, elastičen, izotropen) in obremenitve (krožna obremenilna ploskev). V primeru, da se preverja razporeditev napetosti skozi celotno voziščno konstrukcijo, je treba izbrati veliko število točk, da se izriše ustrezen diagram. V diplomski nalogi sta podrobneje obravnavani metodi po Odemarku (določitev normalnih tlačnih napetosti v večplastnem sistemu) in Westergaardu (določitev upogibnonateznih napetosti). S prvim postopkom so bile preverjene tlačne napetosti v točki pod krovno plastjo, z drugim pa upogibnonatezno napetost v isti točki. Podatki, ki se upoštevajo v izračunu po Odemarku, so: elastični moduli krovne plasti (za obrabno in zgornjo vezano nosilno plast je en skupen  $E$ ), deformacijski modul nevezane nosilne plasti  $E_{v2}$  in debelina krovne plasti  $h$ , pri Westergaardu pa še Poissonovo število. Omejitev, ki velja pri obeh, je ta, da mora pod krovno plastjo biti obvezno plast nevezane nosilne plasti. Voziščne konstrukcije v katerih je predvidena vezana spodnja nosilna plast z bitumensko ali cementno stabilizacijo, izračunane s temi metodami ne vrnejo zanesljivega rezultata.

Teoretični postopki so z razvojem računalnikov v 60-ih letih bili uporabljeni v prvih računalniških programih, ki so obravnavali statične krožne obremenitve (npr. BISAR). Z njimi je bilo mogoče preveriti napetosti v različnih točkah voziščnih konstrukcij v veliko krajšem času, kot s teoretičnimi postopki. V primeru parkirnih površin, kjer je pretežna obremenitev statična, je primerna izbira program Bisar verzije 3.0 iz leta 1998. Temelji na nekaterih predpostavkah, kot npr.:

- sistem je sestavljen iz horizontalnih plasti določene debeline, ki leži na polprostoru ali neskončni podlagi
- plasti se širijo v neskončnost v horizontalni smeri
- material vsake plasti je homogen in izotropen ter
- materiali so elastični in imajo linearno zvezo med napetostjo in deformacijo.

V diplomski nalogi so vrednosti vhodnih podatkov predpostavljene in ni upoštevano njihovo spreminjanje skozi življenjsko dobo. Medtem ko se Poissonov količnik med življenjsko dobo ter poletjem in zimo ne spreminja, pa je lahko vrednost elastičnega modula asfaltne krovne plasti pozimi tudi 100-kratnik elastičnega modula poleti. S staranjem se te vrednosti vedno bolj spreminjajo. Da bi bili dobljeni točnejši izhodni podatki o napetostih, bi bilo potrebno empirično preučiti spreminjanje teh vrednosti v različnih sestavah obrabnih in vezanih plasti in jih uporabiti kot vhodni podatek v izračunu.

V 60-ih letih se je začelo tudi empirično preučevanje obnašanja voziščnih konstrukcij z AASHO testom (ZDA) in preskusi v laboratoriju TRRL (VB). Z izsledki AASHO testa so bile na novo definirani nekateri indeksi (npr. *PSI*) in izdan je bil AASHO-ov vodič dimenziniranja voziščnih konstrukcij. Slednji je postal podlaga izdanim pripomočkom pri dimenzioniranju oziroma specifikacijam v veliko državah, tudi evropskih (npr. v slovenskih Tehničnih specifikacijah za ceste so uporabljena nekatera dognanja tega testa). Ker pa je bilo preučevano obnašanje konstrukcij pod prometnimi obremenitvami, ki so bile precej nižje od današnjih, so konec 90-ih let začeli nov niz raziskav. Dognanja glede materialnih lastnosti, podlage, vplivov podnebja, prometa, itd. so bila zapisana v leta 2002 izdanem Vodiču za načrtovanje voziščnih konstrukcij (oziroma Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)). Izsledki so bili vključeni tudi v programsko opremo, ki je izšla v letu 2004. To so bili začetki v razvoju programa, ki je trenutno v širši uporabi v ZDA. To pa ni edini program te vrste. Vpliv vremena in materialnih lastnosti na dobo trajanja voziščne konstrukcije upošteva tudi nemški program Padesto.

V cestogradbeni praksi so bila prisotna mnenja, da bi lahko z nekaj značilnimi standardiziranimi voziščnimi konstrukcijami poenostavili načrtovanje. Tabele s prerezi tipskih voziščnih konstrukcij so izdali v Nemčiji, Avstriji in Franciji (bolj kompleksen postopek).

Najbolj posplošena njihova uporaba, ki upošteva podnebne razmere v državi (4 temperaturne cone), je v Nemčiji, vendar pa od leta 2011 velja, da je pri posebnih obremenitvah še vedno potrebno uporabljati analitične postopke. Standardizirani postopki omogočajo hitrejše in cenejše načrtovanje, vendar pa takšen način dela zavira raziskave in razvoj tehnike. V primeru njihove uporabe bi bili iz uporabe izločeni ceneni lokalni materiali in različni postopki izboljšav, zato bi bile rešitve dražje.

Program BISAR 3.0, ki je bil uporabljen za izračun napetosti na izbranih parkiriščih v tej diplomski nalogi:

- omogoča hitrejši izračun napetosti, kot s pomočjo teoretičnih postopkov
- omogoča boljše razumevanje obnašanja napetosti po globini plasti v voziščni konstrukciji in
- je, kljub vsem prej omenjenim predpostavkam, ustrežnejši za izračun napetosti na parkiriščih od vseh ostalih programov, ki poleg ostalih vhodnih podatkov zahtevajo dinamične ciklične obremenitve vozil (*PLDP*).

## VIRI

A Guideline for the Design & Construction of Asphalt Parking Lots in Oklahoma. Oklahoma Asphalt Pavement Association.

<http://www.okhotmix.com/Websites/oapa/Images/Parking%20Lot%20Design%20Manual%20for%20Web.pdf> (Pridobljeno 13.03.2012.)

Asphalt applications. Construction and surfacing of parking areas including private drivers. 2009. Mineral Products Association: str. 2, 3, 4.

[http://www.mineralproducts.org/documents/AA2\\_Final.pdf](http://www.mineralproducts.org/documents/AA2_Final.pdf) (Pridobljeno 23.03.2012.)

Asphalt applications. Construction and surfacing of parking areas for medium and heavyweight vehicles. 2009. Mineral Products Association: str.1, 2, 3.

[http://www.mineralproducts.org/documents/AA2\\_Final.pdf](http://www.mineralproducts.org/documents/AA2_Final.pdf) (Pridobljeno 23.03.2012.)

Ausschreiben von Asphaltarbeiten. 2010. Bonn, Deutscher Asphaltverband e.V.: str.15, 17.

[http://www.asphalt.de/media/exe/115/9a292a09ac3a158984f96ccc7e715a88/ausschreiben-von-asphaltarbeiten\\_2011.pdf](http://www.asphalt.de/media/exe/115/9a292a09ac3a158984f96ccc7e715a88/ausschreiben-von-asphaltarbeiten_2011.pdf) (Pridobljeno 13.03.2012.)

Baus, R. L., Stires, N. R. Mechanistic-empirical pavement design guide implementation. 2010. The South Carolina Department of Transportation and The Federal Highway Administration.

[http://ntl.bts.gov/lib/46000/46200/46242/SPR\\_671.pdf](http://ntl.bts.gov/lib/46000/46200/46242/SPR_671.pdf) (Pridobljeno 01.12.2012.)

Bisar 3.0. User Manual. 1998.

<http://www.scribd.com/doc/50091593/Manuale-BISAR>

Blab, R., Hofko, B. Austrian Pavement Design Method. A Critical Review. 2012. Flexible Pavement Design Workshop, Ljubljana. (Pridobljeno 01.12.2012)

Blab, R., Hofko, B. Revision of the Austrian Flexible Pavement Design Method On-Going Research. 2012. Flexible Pavement Design Workshop, Ljubljana. (Pridobljeno 01.12.2012.)

Bonifacio, G. Projektna skupina Prostor d.o.o. Koper. (Pridobljeno 30.08.2012.)

Caractéristiques générales des chaussées.

[http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/2Caracteristiques\\_des\\_chaussees\\_cours-routes\\_procedes-generaux-de-construction.pdf](http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/2Caracteristiques_des_chaussees_cours-routes_procedes-generaux-de-construction.pdf) (Pridobljeno 01.12.2012.)

Entwurfsrichtlinie Nr.1. Standardisierter Oberbau mit Asphaltdecken für Fahrbahnen. 2010.

Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, str. 15-17.

<http://www.hamburg.de/contentblob/1492684/data/er1.pdf> (27.11.2012.)

Gould, J.S. An Investigation of the Effects of Temperature and Frequency on Asphalt Pavement Strain Using an Accelerated Testing System. A thesis.2007. Faculty of the Worcester Polytechnic Institute: str. 7, 8.

[http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-052907-215402/unrestricted/GouldJS\\_Thesis\\_FINAL.pdf](http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-052907-215402/unrestricted/GouldJS_Thesis_FINAL.pdf) (Pridobljeno 20.11.2012.)

Guide technique pour l'utilisation des materiaux regionaux d'Ile-de-France. Catalogue des structures de chaussées. 2003.

[http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cat\\_str\\_ch\\_cle77b4d6.pdf](http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cat_str_ch_cle77b4d6.pdf) (Pridobljeno 22.03.2012.)

Hadi, M.N.S., Bodhinayake, B.C. Non-linear finite element analysis of flexible pavements. 2003. Faculty of Engineering, University of Wollongong.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965997803001091> (Pridobljeno 22.11.2012.)

Harichandran, R.S., Baladi, G.Y. 2000. Michpave user's manual (Version 1.2 for DOS).

Department of Civil Environmental Engineering, Michigan State University.

<http://www.egr.msu.edu/~harichan/software/michpave/mpmanual.pdf> (Pridobljeno 01.12.2012.)

Harrigan, E.T. Changes to the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Software Through Version 0.900, July 2006. 2006. Research Results Digest.

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/DraftDigest.pdf> (Pridobljeno 01.12.2012.)



Bratina, L. 2013. Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah. Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Prometna smer.

---

Harrigan, E.T. Independant review of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide and software. 2006. National Cooperative Highway Research Program.

[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rrd\\_307.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_307.pdf) (Pridobljeno 01.12.2012.)

Henigman, S., Bašelj, R., Britovšek, Z., et al. 2011. Asfalt 2. 2. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: str. 171-174, 231-233.

Irwin, L.H. Pavement Structural Evaluation: Where we are and where we are going. Cornell Local Roads Program.

[http://www.getbookee.com/get\\_book.php?u=aHR0cDovL3d3dy5jcGUudnQuZWR1L3BhdmVtZW50ZXZhbHVhdGlubi9wcmVzZW50YXRpb25zL0lyd2luLnBkZgpQYXZlbWVudCBTdHJ1Y3R1cmFsIEV2YWx1YXRpb246IFdoZXJlIHRlIGFyZSBhbmQgd2hlcmlUgd2UgYXJlIIC4uLg](http://www.getbookee.com/get_book.php?u=aHR0cDovL3d3dy5jcGUudnQuZWR1L3BhdmVtZW50ZXZhbHVhdGlubi9wcmVzZW50YXRpb25zL0lyd2luLnBkZgpQYXZlbWVudCBTdHJ1Y3R1cmFsIEV2YWx1YXRpb246IFdoZXJlIHRlIGFyZSBhbmQgd2hlcmlUgd2UgYXJlIIC4uLg) (Pridobljeno 22.11.2012.)

Jähnič, J. Flexible Pavement Design Workshop. Current Practice in Pavement Design – Germany. 2012. Ljubljana.

[http://www.zdruzenje-zas.si/Razno/Delavnica\\_Projektiranje\\_Voziscnih\\_Konstrukcij%5CJan\\_Jaehnic.pdf](http://www.zdruzenje-zas.si/Razno/Delavnica_Projektiranje_Voziscnih_Konstrukcij%5CJan_Jaehnic.pdf) (Pridobljeno 12.01.2013.)

Jähnič, J. et al. Design Of Flexible Pavement Layers. Chair of Pavement Engineering. Dresden University of Technology.

<http://sed.siv.scelta.com/bari2005/152.pdf> (Pridobljeno 19.11.2012.)

Jurgele, M. Asfaltne voziščne konstrukcije – kaj prinašajo nove tehnične specifikacije. 10. slovenski kongres o cestah in prometu. 2010. Ljubljana, DDC Svetovanje inženiring, d.o.o.: str. 944.

<http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/V/943-949.pdf> (Pridobljeno 14.11.2012.)

Jurgele, M. Flexible pavement design workshop. Flexible pavement design in Slovenia. 2012. Ljubljana, DRI upravljanje investicij, Družba za razvoj infrastrukture, d.o.o. (Pridobljeno 16.11.2012.)

Kiehne, A. 2010. Vorführung des Programms PaDesTo (Pavement Design Tool).

[http://www.fgsv.de/uploads/media/Vorfuehrung\\_Programm\\_PaDesTo.pdf](http://www.fgsv.de/uploads/media/Vorfuehrung_Programm_PaDesTo.pdf) (Pridobljeno 12.10.2012.)

Mechanistic empirical pavement design guide. Why is it important and why should Industry be Pushing for its Adoption. 2010. Cemex.

[http://www.acpa.org/Events\\_and\\_Programs/Events/47thannualmtg/CPU%20PDFs/Track%202%20-%20Why%20MEPDG-Jmack.pdf](http://www.acpa.org/Events_and_Programs/Events/47thannualmtg/CPU%20PDFs/Track%202%20-%20Why%20MEPDG-Jmack.pdf) (Pridobljeno 28.10.2012.)

Padesto. Padesto 2008. Dimensionierung von Asphaltbefestigungen für Verkehrsflächen. Primia Ingeni Eurosoftware.

<http://padesto.de/> (Pridobljeno 12.10.2012.)

Read, J., Whiteoak, D. 2003. The Shell Bitumen Handbook. Fifth Edition. Cambridge, The University Press: str. 366-368, 370.

<http://books.google.si/books?id=bA1tIkRjL8kC&pg=PA370&lpg=PA370&dq=bitumen+handbook+shell+bisar&source>

Schäfer, V. 2008. Die neuen ZTV Asphalt-StB 07 und TL Asphalt-StB 07.

[http://www.vsvi-mv.de/fileadmin/Medienpool/Seminarunterlagen/V.Schaefer\\_ZTV-und\\_TL-Asphalt\\_VSVI-Asph.-Seminar\\_2008.pdf](http://www.vsvi-mv.de/fileadmin/Medienpool/Seminarunterlagen/V.Schaefer_ZTV-und_TL-Asphalt_VSVI-Asph.-Seminar_2008.pdf) (Pridobljeno 20.11.2012.)

Stöckert, U. 2002. Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau. Technische Universität Darmstadt, Institut für Verker: str: 5-7.

[http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/210/1/ustoe\\_01.pdf](http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/210/1/ustoe_01.pdf) (Pridobljeno 21.11.2012.)

Täube, A. Der neue DAV-Leitfaden „Ausschreiben von Asphaltarbeiten“.

<http://www.shm-asphalt.de/dav-Leitfaden.pdf> (Pridobljeno 20.11.2012.)

Zgibanka ZAS. 2008.

[http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/Oznacevanje\\_asfaltnih\\_zmesi\\_ZAS\\_oktober\\_2008.pdf](http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/Oznacevanje_asfaltnih_zmesi_ZAS_oktober_2008.pdf) (Pridobljeno 28.11.2012.)

Žmavc, J. 2007. Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 216-225, 248-252, 256, 257.

Bratina, L. 2013. Načrtovanje asfaltnih voziščnih konstrukcij na parkirnih površinah.  
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL FGG, Odd. za gradbeništvo, Prometna smer.

---

Wistuba, M. Flexible pavement design workshop. Innovations in Asphalt Pavement Analysis.  
Ljubljana. 2012.

[http://www.zdruzenje-zas.si/Razno/Delavnica\\_Projektiranje\\_Voziscnih\\_Konstrukcij%5CMichael\\_Wistuba.pdf](http://www.zdruzenje-zas.si/Razno/Delavnica_Projektiranje_Voziscnih_Konstrukcij%5CMichael_Wistuba.pdf)  
(Pridobljeno 12.01.2013.)

#### OSTALI VIRI:

<http://trid.trb.org/view.aspx?id=211702>

<http://www.highwaysmaintenance.com/trrldata.html>

<http://www.highwaysmaintenance.com/design.htm>

[http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=ESAL#Generalized\\_Fourth\\_Power\\_Law](http://wiki.pavementinteractive.org/index.php?title=ESAL#Generalized_Fourth_Power_Law)

<http://resources.metapress.com/pdf-preview.axd?code=5124q7404q366727&size=largest>

<http://www.certu-catalogue.fr/dimensionnement-des-structures-des-chaussees-urbaines.html>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Structure\\_de\\_chauss%C3%A9e\\_en\\_France](http://fr.wikipedia.org/wiki/Structure_de_chauss%C3%A9e_en_France)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode\\_fran%C3%A7aise\\_de\\_dimensionnement\\_des\\_chauss%C3%A9es](http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_fran%C3%A7aise_de_dimensionnement_des_chauss%C3%A9es)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinien\\_und\\_Vorschriften\\_f%C3%BCr\\_das\\_Stra%C3%9Fenwesen](http://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinien_und_Vorschriften_f%C3%BCr_das_Stra%C3%9Fenwesen)

<http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=53eb48fd-d0ec-4efe-8db8-85e0b481bc63>

<http://www.mincad.com.au/circlly.htm>

<http://www.itech-soft.com/fr/cesar/cesar.htm>

<http://www.geotechnicaldirectory.com/page/software/Pavements.html>

[http://www.ara.com/Projects/p\\_MEPDG\\_Develop.htm](http://www.ara.com/Projects/p_MEPDG_Develop.htm)

[http://www.dars.si/Dokumenti/Napotki/Pocivalisca\\_in\\_kamere/Pocivalisca\\_podrobno\\_718.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/Napotki/Pocivalisca_in_kamere/Pocivalisca_podrobno_718.aspx)

<http://www.geopedia.si/>

[http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/winter2012/ce492/Modules/06\\_structural\\_design/aash\\_o\\_road\\_test.htm](http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/winter2012/ce492/Modules/06_structural_design/aash_o_road_test.htm)

[http://www.zdruzenje-zas.si/Razno/Delavnica\\_o\\_projektiranju\\_voziscnih\\_konstrukcij.htm](http://www.zdruzenje-zas.si/Razno/Delavnica_o_projektiranju_voziscnih_konstrukcij.htm)

#### TEHNIČNE SPECIFIKACIJE ZA CESTE:

TSC 06.511:2009. Prometne obremenitve – Določitev in razvrstitev. str. 7, 10.

TSC 06.512:2003. Projektiranje – Klimatski in hidrološki pogoji. str. 12.

TSC 03.325:2003. Maloprometne ceste. str. 44, 47.

TSC 06.520:2009. Projektiranje – Dimenzioniranje novih asfaltnih voziščnih konstrukcij. str. 5, 8-11.

## **KAZALO PRILOG 1 – 4**

### **PRILOGA 1**

- FEV v odnosu na nazivno osno obremenitev 100 kN
- Faktorji vpliva razdelitve prometnih obremenitev na prometne pasove
- Faktorji vpliva širin prometnih pasov na prometno obremenitev
- Faktorji vpliva vzdolžnih nagibov nivelete vozišča na prometno obremenitev
- Faktorji povečanja prometnih obremenitev v odvisnosti od načrtovane letne stopnje rasti prometa in načrtovanega trajanja

### **PRILOGA 2**

- Faktor deleža težkih vozil po nemških predpisih
- Faktor porazdelitve obremenitve na osi vozila po nemških predpisih
- Faktor prečnega prereza vozišča po nemških predpisih
- Faktor širine prometnih pasov po nemških predpisih
- Faktor vzdolžnega nagiba nivelete po nemških predpisih
- Faktor povečanja prometne obremenitve zaradi rasti prometa v dobi trajanja po nemških predpisih
- Tabela, ki je vsebovana v RStO 01 za gradnjo asfaltnih obrabnih plasti na avtocestah
- Slovarček nemških strokovnih besed

### **PRILOGA 3**

- Primeri standardiziranih voziščnih konstrukcij v Franciji
- Pregled literature, uporabne pri dimenzioniranju voziščnih konstrukcij v Franciji do leta 2001

### **PRILOGA 4**

- Primer poročila iz programa BISAR 3.0