

Cesta I/75 Šaľa - obchvat

Optimalizácia návrhu konštrukčného zloženia asfaltovej vozovky

Riešitelia: prof. Dr. Ing. Martin Decký
doc. Dr. Ing. Katarína Zgútová
Centrum aplikovaného výskumu Stavebnej fakulty
Žilinská univerzita v Žiline

Žilina, september 2012

Obsah

1. CIEĽ PRÁCE	3
2. TERMÍNY A DEFINÍCIE.....	3
3. ZÁSADY NÁVRHU KONŠTRUKCIÍ ASFALTOVÝCH VOZOVIEK	4
4. VSTUPNÉ ÚDAJE PRE NÁVRH A POSÚDENIE ASFALTOVEJ VOZOVKY.....	5
4.1. VÝPOČET DOPRAVNÉHO ZAŤAŽENIA	5
4.2. POTREBNÝ TEPELNÝ ODPOR ASFALTOVÝCH VOZOVIEK	7
4.2.1. Hodnota indexu mrazu	7
4.2.2. Druh vodného režimu.....	8
4.2.3. Namrzavosť zemeiny	8
4.2.4. Výpočet potrebného tepelného odporu.....	9
5. VÝPOČET NAPÄTÍ ASFALTOVEJ VOZOVKY	10
6. POSÚDENIE PREDBEŽNÉHO NÁVRHU KONŠTRUKCIE ASFALTOVEJ VOZOVKY	11
6.1. ZÁKLADNÉ KRITÉRIÁ	11
6.2. OCHRANA VOZOVKY PROTI ÚČINKOM PREMŔZANIA.....	12
6.3. PEVNOSŤ A ÚNAVA STMELENÝCH MATERIÁLOV	13
6.3.1. Posúdenie asfaltom stmelených materiálov.....	13
6.3.2. Posúdenie cementom stmelených materiálov	14
7. OPTIMALIZÁCIA KONŠTRUKČNÉHO ZLOŽENIA ASFALTOVEJ VOZOVKY	14
7.1. NÁVRH OPTIMALIZOVANÉHO KONŠTRUKČNÉHO ZLOŽENIA ASFALTOVEJ VOZOVKY	14
7.2. VÝPOČET NAPÄTÍ PRE OPTIMALIZOVANÝ NÁVRH.....	14
7.3. POSÚDENIE Z HĽADISKA OCHRANY PRED NEPRIAZNIVÝMI ÚČINKAMI MRAZU	15
7.4. POSÚDENIE PEVNOSTI A ÚNAVY STMELENÝCH MATERIÁLOV.....	16
7.4.1. Posúdenie asfaltom stmelených materiálov.....	16
7.4.2. Posúdenie cementom stmelených materiálov	16
8. ZÁVER.....	16
9. LITERATÚRA	17

1. Cieľ práce

Predkladaný optimalizovaný návrh asfaltovej vozovky bol vypracovaný pre Geoconsult spol. s r.o., inžiniersko - projektová a konzultačná spoločnosť. Predmetom návrhu a posúdenia bola konštrukcia asfaltovej vozovky pre projektovo pripravovanú inžiniersku stavbu *Cesta I/75 Šaľa – obchvat* [1].

2. Termíny a definície

Základné termíny vo vzťahu ku predmetnej oblasti sú prevzaté z STN 73 6100 [2], STN 73 6114 [3], TP 3/2009 MDPaT [4] a vysokoškolskej učebnice [5].

ASFALTOVÁ VOZOVKA - konštrukcia vozovky, ktorej vrstvy krytu a podkladová vrstva, alebo aspoň kryt, sú z asfaltových zmesí. Z hľadiska mechaniky vozoviek sa správajú ako netuhé alebo polotuhé konštrukcie a to v závislosti od tuhosti podkladových a ochrannej vrstvy.

NETUHÁ VOZOVKA - konštrukcia asfaltovej vozovky s nestmelenými podkladovými vrstvami a nestmelenou ochrannou vrstvou.

POLOTUHÁ VOZOVKA - konštrukcia asfaltovej vozovky s podkladovou vrstvou stmelenou hydraulickým spojivom.

MECHANICKÁ ÚČINNOSŤ VOZOVKY - vlastnosť konštrukcie vozovky, ktorá charakterizuje jej odolnosť proti účinkom zaťaženia. Vyjadruje sa napätím alebo pretvorením vznikajúcim vo vrstvách konštrukcie vozovky pri jej zaťažení.

PREVÁDZKOVÁ VÝKONOSŤ VOZOVKY - charakteristika odolnosti konštrukcie vozovky proti účinkom dopravného zaťaženia (pri štandardných podmienkach). Teoretická prevádzková výkonnosť sa vyjadruje počtom opakovaní zaťaženia návrhovou nápravou.

PREVÁDZKOVÁ SPÔSOBILOSŤ VOZOVKY - charakteristika prevádzkovej funkcie vozovky z hľadiska podmienok pre plynulú, bezpečnú a hospodárnu jazdu vozidiel. Vyjadruje sa indexom z hodnôt premenných parametrov (najmä rovnosti a drsnosti povrchu vozovky).

NÁVRHOVÉ OBDOBIE - obdobie (časový úsek) na ktoré sa navrhuje nová vozovka, počas ktorého musí spĺňať (s určitou spoľahlivosťou) stanovené návrhové kritériá a pre ktoré sa uvažujú cykly obnovy v systéme hospodárenia s vozovkou.

ŽIVOTNOSŤ VOZOVKY - obdobie od začiatku používania konštrukcie vozovky do dosiahnutia jej medzného stavu - porušenia (stratou únosnosti, alebo použiteľnosti), ktorý vyžaduje rekonštrukciu.

NÁVRHOVÁ NÁPRAVA - náprava nákladného vozidla s definovanými parametrami, pomocou ktorej sa vyjadruje agresívny účinok nákladných vozidiel v dopravnom prúde a ktorá sa uvažuje vo výpočtoch napätí a pretvorení modelov vozoviek.

VÝPOČTOVÝ MODEL VOZOVKY - model konštrukcie vozovky definovaný rozmermi a deformačnými vlastnosťami materiálov vrstiev. Výsledky matematického riešenia modelu sú podkladom pre posúdenie návrhu konštrukcie.

VÝPOČTOVÉ HODNOTY PARAMETROV – číselné hodnoty parametrov materiálov vrstiev a podložia, ako aj ostatných vstupných parametrov vo výpočtoch vozoviek, ktoré sú v predpise uvedené, alebo je stanovený postup ich odvodenia.

ÚNOSNOSŤ PODLOŽIA - charakteristika deformačných vlastností zemín (materiálov) pod konštrukciou vozovky, resp. zemín v polopriestore pod pláňou vozovky .

VODNÝ REŽIM PODLOŽIA - charakterizovanie rozdelenia vlhkosti v zemine v podloží a zmeny v jej rozdelení, ktoré závisia od hydrogeologických podmienok v podloží a zmien klimatických podmienok územia.

INDEX MRAZU – klimatická charakteristika vyjadrujúca intenzitu a trvanie obdobia mrazu. Stanovuje sa ako súčet absolútnych hodnôt po sebe nasledujúcich záporných priemerných denných teplôt v zimnom období.

3. Zásady návrhu konštrukcií asfaltových vozoviek

Pod navrhovaním vozovky rozumieme určenie celkovej hrúbky cestnej vozovky, jej optimálnej skladby so stanovením druhov materiálov jednotlivých vrstiev a ich hrúbok tak, aby vozovka vyhovovala požiadavkám prevádzkovej spôsobilosti a prevádzkovej výkonnosti po dobu návrhového obdobia vozovky (zvyčajne 20 až 25 rokov) a pritom spĺňala požiadavky efektívnosti z hľadiska stavebných, údržbových a prevádzkových nákladov. Z hľadiska mechaniky konštrukcia asfaltovej vozovky musí byť navrhnutá tak, aby nedošlo:

- § pri zaťažení dopravou k predčasnému vyčerpaniu únosností vrstiev a vzniku trhlín,
- § k prekročeniu únosnosti v podloží vozovky v kritickom období,
- § k poruchám vozovky v dôsledku pôsobenia mrazu na podložie cestnej vozovky (ochrana podložia pred nepriaznivými účinkami premrzania),
- § k nadmernej tvorbe trvalých deformácií.

Jednou zo všeobecných zásad navrhovania je potreba optimalizácie cestnej vozovky. Za optimálnu sa vo všeobecnosti považuje konštrukcia vozovky, ktorá poskytuje maximálne prínosy a minimálne straty. Optimalizovať vozovku je možno z hľadiska mechaniky, technológie výstavby a ďalších hľadísk. Pri optimalizácii z hľadiska mechaniky ide o návrh usporiadania jej nosných vrstiev tak, aby mali približne rovnakú prevádzkovú výkonnosť, zodpovedajúcu požadovanému počtu návrhových náprav [5].

Predkladaný návrh a posúdenie bolo uskutočnené v súlade s príslušnými ustanoveniami zákona 135/1961 Zb. [6] (cestný zákon) kde sa uvádza, že navrhovanie pozemných komunikácií sa vykonáva podľa platných slovenských technických noriem, technických predpisov a objektívne zistených výsledkov výskumu a vývoja pre cestnú infraštruktúru. V súčasnosti platia pre túto oblasť, navrhovanie a posudzovanie asfaltových vozoviek, tieto základné predpisy:

- § STN 73 6114 Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie, 1997 [3],
- § TP 3/2009 Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek, Ministerstvo dopravy pôšt a telekomunikácií SR, 2009 [4].

V prvom štádiu bolo potrebné posúdiť predbežný návrh polotuhej asfaltovej vozovky v nasledujúcom konštrukčnom zložení

Asfaltový koberec mastixový	
SMA 11 O; I PMB 45/80-75; STN EN 13108-5	40 mm
Spojovací postrek emulzný 0,5 kg/m ²	
PSE; STN 73 6129	
Asfaltový betón pre ložnú vrstvu s použitím modifikovaného asfaltu	
AC 22 L; I; PMB 65/105-55; STN EN 13108-1	60 mm
Spojovací postrek emulzný 0,5 kg/m ²	
PSE; STN 73 6129	
Asfaltový betón pre hornú podkladovú vrstvu	
AC 16 P; STN EN 13108-1	90 mm
Infiltračný postrek 1,0 kg/m ²	
PI; STN 73 6129	
Stabilizácia cementom	
CBGM C_{5/6}; STN 73 6125/Z2/01	190 mm
Štrkodrvina	
ŠD Štrkodrvina 0/32; STN EN 13285	200 mm
Celková hrúbka vozovky	580 mm

Všetky ďalej uvedené výpočty sú uskutočnené v zmysle TP 3/2009 [4], ktorá predstavuje v podmienkach SR záväzný predpis dimenzovania konštrukcií cestných asfaltových vozoviek.

4. Vstupné údaje pre návrh a posúdenie asfaltovej vozovky

4.1. Výpočet dopravného zaťaženia

Zaťaženie konštrukcie vozovky je vyjadrené počtom opakovaných zaťažení (fiktívnych prejazdov) návrhovou nápravou počas návrhového obdobia na uvažovanom (dimenzovanom) mieste cestnej komunikácie. Je to ekvivalentné zaťaženie odpovedajúce účinkom prejazdov všetkých nákladných vozidiel. Podkladom pre výpočet dopravného zaťaženia vozoviek môžu byť výsledky :

- § periodického sčítania cestnej dopravy,
- § špeciálneho sčítania dopravy,
- § dopravno-inžinierskeho prieskumu, ako aj informácie získané z váženia náprav nákladných vozidiel.

Z dôvodu, že objednávateľ poskytol výsledky dopravno-inžinierskeho prieskumu [8] bude v ďalších výpočtoch uvažované s týmito hodnotami (tab.4.1). Pre výpočet dopravného zaťaženia sa uvažujú len nákladné automobily a autobusy (ďalej len „NV“) v zmysle vzťahu (4.1)

$$NV = N1 + N2 + PN2 + N3 + PN3 + NS + A + PA \quad (4.1)$$

- kde: $N1$ - ľahké nákladné automobily do 3,5 tony užitočnej hmotnosti,
 $N2$ - stredné nákladné automobily od 3,5 tony do 10 ton užitočnej hmotnosti,
 $PN2$ - prívesy stredných nákladných automobilov od 3,5 tony do 10 ton,
 $N3$ - ťažké nákladné automobily s užitočnou hmotnosťou nad 10 ton,
 $PN3$ - prívesy ťažkých nákladných automobilov,
 NS - návesové súpravy,
 A, PA - autobusy, prívesy autobusov.

Z aspektu dimenzovania vozoviek sú rozhodujúcimi dopravnými údajmi počty nákladných (ťažkých) vozidiel. Priemerný počet nákladných vozidiel za 24h v jednom smere cestnej komunikácie počas návrhového obdobia sa vypočíta z rovnice

$$NV_p = 0,5 \cdot (d_z + d_k) \cdot NV \quad (4.2)$$

- kde: d_z, d_k - koeficienty rastu intenzity nákladnej dopravy pre obdobie od sčítania dopravy po rok začatia dopravy a ukončenia návrhového obdobia.

Tab.4.1. Prognózované intenzity dopravy cesty I/75 Šaľa - obchvat [1]

Úsek	Intenzity dopravy v obidvoch dopravných smeroch [voz/24h]								
	2018			2028			2038		
	NV	LV	S	NV	LV	S	NV	LV	S
Obchvat I/75	1 995	6 474	8 469	2 276	7 702	9 978	2 234	2 516	11 475

Z dôvodu, že poznáme konkrétne hodnoty počtu nákladných vozidiel (NV) v jednotlivých rokoch 2018 a 2038 (tab.4.1) budeme uvažovať s týmito hodnotami. Pri uvažovaní 20 ročnej životnosti (hodnota požadovaná objednávateľom) a hodnôt uvedených v tab.4.1 dostávame

$$NV_p = 0,5 \cdot (d_z + d_k) \cdot NV$$

$$NV_p = 0,5 \cdot (NV_{2018} + NV_{2038}) = 0,5 \cdot (1995 + 2516)$$

$$NV_p = 2255,5 \text{ voz/24h v obidvoch smeroch}$$

Redukovaný počet nákladných vozidiel v jednom smere a v jednom (dimenzovanom) pruhu:

$$NV_{red} = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4 \cdot NV_p \quad (4.3)$$

kde:

- C1* - súčiniteľ prevodu dopravného zaťaženia cestnej komunikácie na jeden smer a jeden pás, vzhľadom k tomu že nepoznáme pomer smerov uvažujeme ***C1=0,5***.
- C2* - súčiniteľ vyjadrujúci pravdepodobnosť prejazdov vozidiel v priečnom profile v určitej stope: pre diaľnice a rýchlostné komunikácie, ako aj cesty so šírkou pruhu 3,75 a 3,5 metra uvažujeme hodnotu ***C2 = 0,9***, pre cesty so šírkou pruhu 3,0 metra a miestne komunikácie sa uvažuje hodnota ***C2 = 1,0***.
- C3* - súčiniteľ vyjadrujúci účinok nákladných vozidiel podľa miery vyťaženia. Z dôvodu, že neboli poskytnuté bližšie údaje je uvažovaná odporúčaná hodnota ***vyťaženia*** pre cestné vozovky **70 %** [4] a tomu odpovedajúca hodnota súčiniteľa ***C3=0,53***.
- C4* - súčiniteľ vyjadrujúci zvýšený účinok vozidiel a neštandardné zaťaženie, ktorý sa odvodí teoreticky, ale v jednotlivých prípadoch sa môže pre vozovky na ***zaradovacích*** a stúpacích pruhoch na ***cestách*** uvažovať hodnotou **1,30**,

$$NV_{red} = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,53 \cdot 1,3 \cdot 2255,5 = 699,3 \text{ voz/24h v 1 smere}$$

Celkový počet prejazdov nákladných vozidiel za návrhové obdobie n_o , ktoré obvykle stanovuje investor, sa určí nasledujúcim spôsobom:

$$NV_c = NV_{red} \cdot 365 \cdot n_o \quad (4.4)$$

Pri určovaní n_o sa vychádza z významu a účelu pozemnej komunikácie. Návrhové obdobie v rokoch n_o , pre asfaltové vozovky diaľničných vozoviek sa odporúča 30 rokov.

$$NV_c = 699 \cdot 365 \cdot 20 = 5105020$$

Celkový počet prejazdov návrhových náprav (s parametrom 2P = 100 kN) s ekvivalentným účinkom bude:

$$N_c = C5 \cdot NV_c \quad (4.5)$$

V prípadoch, kedy nie sú k dispozícii údaje o skladbe dopravného prúdu, hmotnosti nákladných vozidiel a o zaťažení ich náprav, môžeme uvažovať pre polotuhé vozovky $C5=1,82$ [4], na základe čoho dostávame:

$$N_c = C5 \cdot NV_c = 5105020 \cdot 1,82 = 9291136$$

Na základe poskytnutých dopravno-inžinierskych podkladov bolo vypočítané, že **celkový počet prejazdov návrhových náprav** by mal počas 30 ročnej životnosti vozovky dosiahnuť úroveň **9,3.10⁶**. Pre ďalšie účely posudzovania vozovky je potrebné charakterizovať dopravné zaťaženie v zmysle tab.4.2 [3]. Z dôvodu, že celkový počet TNV po roku 2020 presahuje 1500 voz/24h jedná sa o **triedu dopravného zaťaženia (TDZ) II**.

Tab.4.2. Triedenie vozoviek podľa veľkosti dopravného zaťaženia – STN 73 6114

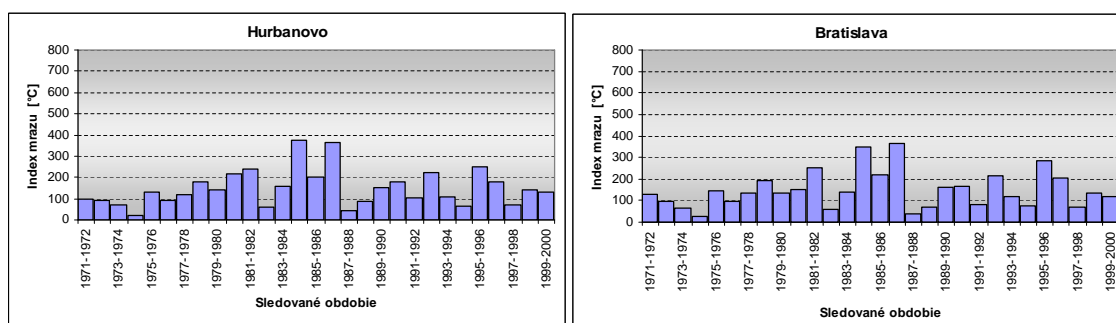
Trieda dopravného zaťaženia	Charakteristika zaťaženia	Celoročný priemer TNV v oboch smeroch za 24h podľa sčítania dopravy	Orientačné špecifikácie pozemnej komunikácie
I	Veľmi ťažké	> 3500	Diaľnice a rýchlostné cesty
II	Ťažké	1 501 až 3 500	
III	Polot ťažké	501 až 1500	Cesty I. a II. tr. a zberné miestne komunikácie
IV	Stredné	101 až 500	
V	Ľahké	15 až 100	Cesty III. tr. obslužné, miestne, účelové a nemotoristické komunikácie, odstavné, parkovacie plochy
VI	Veľmi ľahké	< 15	

4.2. Potrebný tepelný odpor asfaltových vozoviek

Pre určenie hodnoty $R_{v,p}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) musíme poznať nasledujúce vstupné údaje.

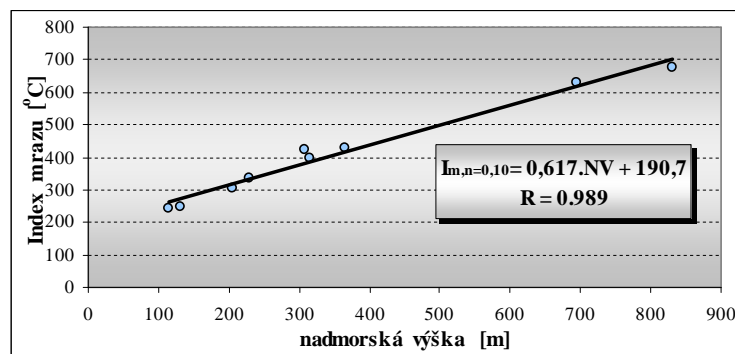
4.2.1. Hodnota indexu mrazu

V zmysle platných noriem a predpisov SR index mrazu pre účely dimenzovania vozoviek, ako relevantná charakteristika zimného obdobia, predstavuje súčet absolútnych hodnôt záporných priemerných denných teplôt v zimnom období. V rámci výskumných aktivít uskutočnených na pracovisku autora boli vyhodnotené indexy mrazu 10 meteorologických staníc SR za obdobie 1971 až 2000 [8] až [11]. Na obr.4.1.sú uvedené vyhodnotenia indexov mrazu klimatologických staníc s najbližšou nadmorskou výškou ku relevantnej výške nivelety (127 m n.m.) posudzovaného obchvatu I/75 Šaľa.



Obr.4.1. Indexy mrazu pre stanice Hurbanovo (115 m n.m.) a Bratislava (131 m n.m.)

Na základe konkrétnych hodnôt indexu mrazu boli pre príslušnú periodicitu objektivizované korelačné závislosti hodnôt indexu mrazu od nadmorskej výšky (NV) – obr.4.2 .



Obr.4.2. Korelačná závislosť indexu mrazu od nadmorskej výšky pre periodicitu $n=0,10$

Hodnotu indexu mrazu pre požadovanú periodicitu 0,10 – STN 73 6114 (trieda dopravného zaťaženia II) získame dosadením do rovnice uvedenej na obr.4.2 pre najvyššiu záujmovú nadmorskú výšku (NV) nivelety navrhovanej vozovky – 347 m n. m.

$$I_{m=0,1} = 0,617 \cdot NV + 190,7 \quad (4.6)$$

$$I_{m=0,1} = 0,617 \cdot 127 + 190,7 \approx 270^\circ \text{C}$$

Po zaokrúhlení na najbližšiu vyššiu desiatkovú hodnotu dostávame $I_{m,n=0,10} = 270^\circ \text{C}$.

4.2.2. Druh vodného režimu

Vodným režimom podložia rozumieme charakter rozdelenia vlhkosti v zeminách podložia, ako aj zmeny v priebehu roka. Vodný režim výrazne ovplyvňuje návrh konštrukcie vozovky. K rozhodujúcim faktorom, ktoré ovplyvňujú charakter vodného režimu patria:

- § úroveň hladiny podzemnej vody pod úrovňou nivelety vozovky h_{pv} ,
- § výška kapilárneho vztlínania od hladiny podzemnej vody pri 100 % saturácii h_s ,
- § hĺbka premrzania vozovky a podložia h_{pr} .

Druh vodného režimu bolo potrebné zistiť pre najnepriaznivejšie miesto trasy cesty I/7 Šaľa obchvat zárez resp. odrez s najvyššou hladinou podzemnej vody.

Hĺbka premrzania – h_{pr} (m) sa vypočíta pre návrhovú hodnotu indexu mrazu $I_{m,n}$ [°C] pri danej periodicite n najčastejšie podľa nasledovného vzťahu:

$$h_{pr} = c \cdot \sqrt{I_{m,n}} \quad (4.7)$$

kde: c - koeficient závislý od teplotných vlastností vozovky, pre asfaltové vozovky $c=0,05$

$$h_{pr} = c \cdot \sqrt{I_{m,n}} = 0,05 \cdot \sqrt{270}$$

$$h_{pr}=0,82m$$

Výška kapilárneho vztlínania - h_s (m) sa obyčajne stanovuje v závislosti na obsahu zŕn pod 0,02 mm podľa obr.4.3. V trase projektovanej komunikácie sa nachádzajú ílovité zeminy. Pri uvažovaní max. 30% zastúpenia zŕn menších ako 0,02mm, podľa obr.4.3 odpovedá hodnota $h_s=1,3m$.

Hladina podzemnej vody – Hladina podzemnej vody bola prieskumnými prácami zdokumentovaná v minimálnej hĺbke **1,7 m** pod terénom.

Na základe vstupných údajov a za predpokladu hladiny podzemnej vody v predmetnej úrovni možno konštatovať, že v tomto prípade pôjde o vodný režim pendulárny (viď obr.4.4), pre ktorý platí nerovnosť (4.9).

$$h_{pv} < h_{pr} + h_s \quad (4.9)$$

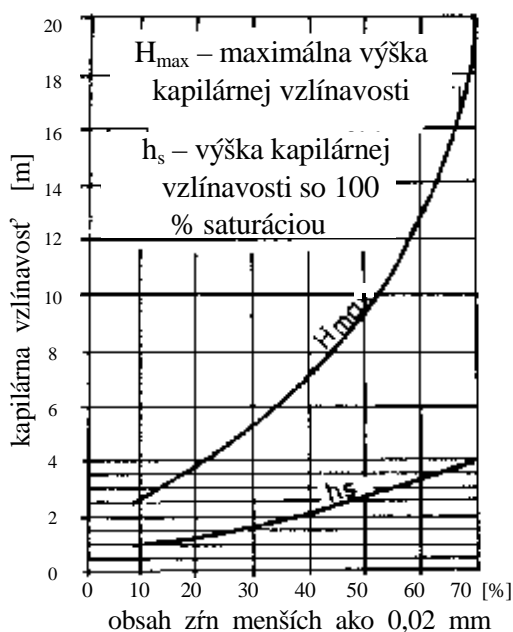
$$1,7 < 0,82 + 1,5m$$

$$1,7m < 2,32m$$

Na základe prezentovaných skutočností možno konštatovať, že v posudzovanej trase komunikácie je z hľadiska posudzovania spevnených plôch rozhodujúcim druhom vodného režimu **kapilárny vodný režim**.

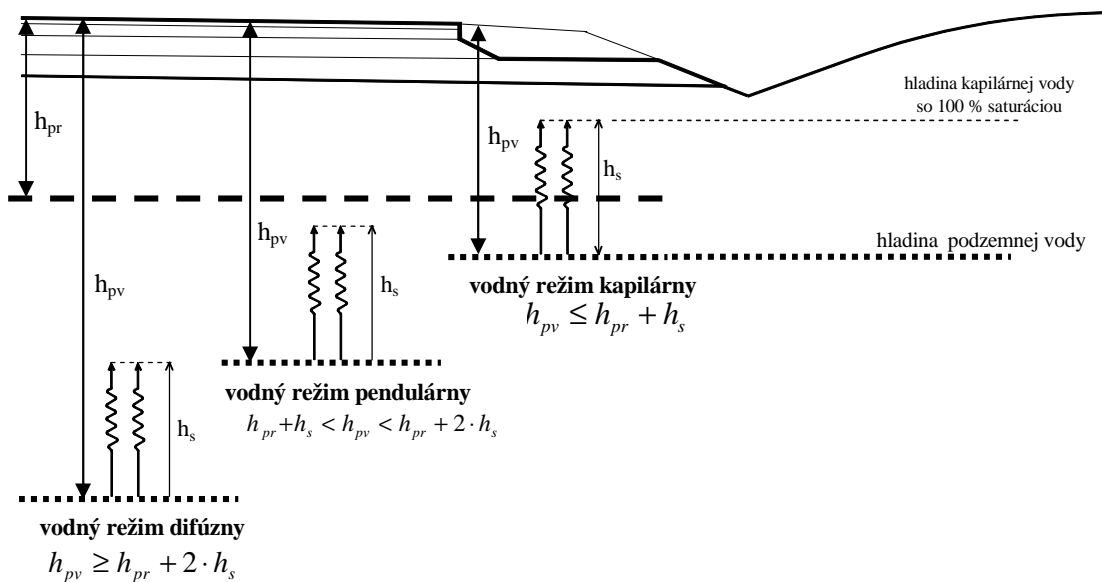
4.2.3. Namrzavosť zeminy

Ako už bolo uvedené, prevládajúcimi zeminami v podloží sú ílovité zeminy. Na základe Scheibleho kritéria uzvedeného v STN 73 6133 [11] možno vo všeobecnosti tieto zeminy charakterizovať ako vysoko namrzavé resp. nebezpečne namrzavé. Z dôvodu, že **podložie** z hľadiska únosnosti bude potrebné zlepšiť pridaním hydraulického spojiva resp. nahradením



Obr.4.3. Určenie kapilárnej vztlínivosti zeminy z granulometrického zloženia

ílovitých zemín štrkopieskom resp. štrkodrvinou, bude zemina v podloží uvažovaná ako **mierne namrzavá**.



Obr.4.4. Druhy vodného režimu pre posudzovanie cestných vozoviek

4.2.4. Výpočet potrebného tepelného odporu

Pre uvedené vstupné údaje možno podľa TP 3/2009 minimálnu hodnotu **potrebného tepelného odporu** $R_{v,p} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ určiť nasledujúcim vzťahom.

$$R_{v,p} = \frac{0,178 \cdot I_{m,n}^{0,3}}{I_o} - \frac{h_{z,dov}}{I_z} \quad (4.8)$$

kde: $h_{z,dov}$ - dovoľená hrúbka premrznutej zeminy v podloží [m]
 I_o - súčiniteľ tepelnej vodivosti vzťažného materiálu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 I_z - súčiniteľ tepelnej vodivosti zamrznutej zeminy [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

Dovoľenú hodnotu premrznutia $h_{z,dov}$ určíme podľa STN 73 6196, kde je pre určenie tejto charakteristiky uvedená tab.4.3 a ktorej hodnoty boli prevzaté do TP 3/2009 [4].

Tab.4.3. Dovoľená hrúbka vrstvy premrznutej zeminy v podloží $h_{z,dov}$

Vodný režim podložia	Hodnotenie namrzavosti zeminy v podloží					
	zemina mierne namrzavá a namrzavá			zemina nebezpečne namrzavá		
	Skupina dopravného zaťaženia vozovky					
	A,B	C,D	E,F	A,B	C,D	E,F
difúzny	0,75	0,80	0,90	0,70	0,75	0,85
pendulárny	0,70	0,75	0,85	0,60	0,65	0,75
kapilárny	0,60	0,65	0,75	0,50	0,55	0,70

Prevod tried dopravného zaťaženia (TDZ) na skupiny dopravného zaťaženia (SDZ) v zmysle STN 73 6114 je uvedený v tab.4.4.

Tab.4.4. Prevod tried dopravného zaťaženia na skupiny dopravného zaťaženia

TDZ	Zodpovedajúca SDZ	TDZ	Zodpovedajúca SDZ
I	A, B ₁	IV	D ₂ , E
II	B ₂ , C ₁	V	F
III	C ₂ , D ₁	VI	G

Dosadením prezentovaných hodnôt do vzťahu 4.8 dostávame nasledujúcu hodnotu potrebného tepelného odporu

$$R_{v,p} = \frac{0,178 \cdot 270^{0,3}}{1,75} - \frac{0,60}{2,3}$$

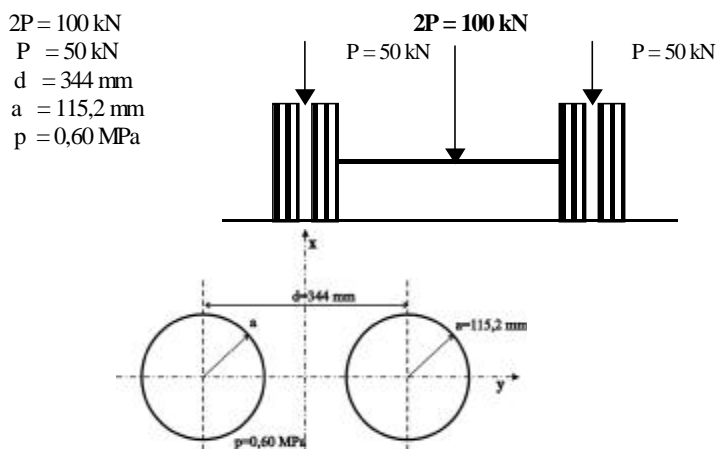
$$R_{v,p} \approx 0,285 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

5. Výpočet napätí asfaltovej vozovky

Výpočtové hodnoty napätí v konštrukčných vrstvách vozovky boli získané programom LAYMED a to pre tri návrhové klimatické obdobia s referenčnými teplotami 0, +11 a +27°C. Moduly pružnosti E a Poissonove konštanty m jednotlivých konštrukčných vrstiev vozoviek potrebné pre výpočet napätí v príslušných klimatických obdobiach boli použité v zmysle TP 3/2009.

Pre posúdenie návrhu konštrukcie polotuhej vozovky, pre hodnoty dopravného zaťaženia v rozsahu $1 \cdot 10^5$ - $25 \cdot 10^6$, v zmysle TP 3/2009 potrebujeme poznať hodnoty radiálnych napätí σ_r na spodnej úrovni vrstiev asfaltom a cementom stmelených materiálov zistené pre štandardnú nápravu $2P=100$ kN s parametrami $p=0,60$ MPa, $a=115,2$ mm a $d=344$ mm – obr.5.1.

Konkrétne hodnoty napätí boli vypočítané pre vstupné charakteristiky podľa tab.5.1 a pri uvažovaní dokonalého spojenia jednotlivých konštrukčných vrstiev.



Obr.5.1. Výpočtové parametre návrhovej nápravy s hmotnosťou 10t [4]

Tab.5.1. Vstupné mechanické charakteristiky konštrukčných vrstiev polotuhej vozovky

Vrstva		Modul pružnosti [MPa]			Poissonovo číslo			Pevnosť v ťahu pri ohybe [MPa]		
Označenie	Hrúbka	0 °C	11 °C	27 °C	0 °C	11 °C	27 °C	0 °C	11 °C	27 °C
SMA 11 O, I	4 cm	7 500	6 000	3 750	0,21	0,30	0,40			
AC 22 L, I, PMB	6 cm	5 700	4 600	2 800	0,21	0,30	0,40			
AC 16 P, I	9 cm	4 500	3 050	1 250	0,21	0,33	0,44	3,2	2,40	0,95
CBGM C _{5/6}	19 cm	1 200	1 200	1 200	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50
ŠD 0/32	20 cm	350	350	350	0,30	0,30	0,30			
Návrhová hodnota modulu pružnosti podložia $E_{p,n} = 90$ MPa										

Pre stredné ročné podmienky (teplota 11 °C) bolo uvažované s redukovanou (zmenšenou) návrhovou hodnotou modulu pružnosti podložia, z dôvodu zvýšenej saturácie v období jarného odmäku $E_{p,n,j}$. Túto hodnotu stanovíme prenásobením návrhovej hodnoty modulu pružnosti $E_{p,n}$ redukčným súčiniteľom u podľa vzťahu

$$E_{p,n,j} = u \cdot E_{p,n} \quad (5.1)$$

Hodnota redukčného súčiniteľa u je funkciou vodného režimu vozovky, namrzavosti zeminy podložia a pomeru hrúbky vozovky a hĺbky premrzania vozovky a podložia H_v/h_{pr} podľa tab.5.2.

Tab.5.2. Redukčný súčiniteľ u podľa TP 3/2009

Vodný režim podložia	Namrzavosť zeminy podľa STN 72 1002	Pomer hrúbky vozovky a hĺbky premrzania H_v/h_{pr}				
		> 0,8	0,7 - 0,8	0,6 - 0,7	0,5 - 0,6	0,5
Difúzny	mierne namrzavá	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84
	nebezpečne namrzavá	0,93	0,90	0,87	0,84	0,80
Pendulárny	mierne namrzavá	0,90	0,86	0,82	0,78	0,74
	nebezpečne namrzavá	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
Kapilárny	mierne namrzavá	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
	nebezpečne namrzavá	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55

$$\frac{H_v}{h_{pr}} = \frac{0,58m}{0,82m} = 0,71 \Rightarrow u = 0,80$$

potom

$$E_{p,n,j} = u \cdot E_{p,n} = 90 \text{ MPa} \cdot 0,80 = 72 \text{ MPa}$$

Pre vstupné údaje podľa tab.5.1 a návrhové charakteristiky podložia $E_{p,n}$ boli zistené hodnoty záujmových hodnôt radiálnych napätí podľa tab.5.3.

Tab.5.3. Vypočítané hodnoty napätí pre posúdenie návrhu vozovky

Vrstva	Hĺbka z [cm]	Referenčná teplota [°C]	s_r MPa od 2P=100 kN pre $E_{p,n} = 90 \text{ MPa}$
AC 16 P, I	19	0	0,271
		11	0,189
		27	-0,015
CBGM C _{5/6}	38	0	0,103
		11	0,116
		27	0,125

6. Posúdenie predbežného návrhu konštrukcie asfaltovej vozovky

V Technických podmienkach TP 3/2009 [4], ako relevantnom predpise navrhovania a posudzovania asfaltových (netuhých a polotuhých) vozoviek v podmienkach SR, je prezentované systémové riešenie podľa obr.6.1.

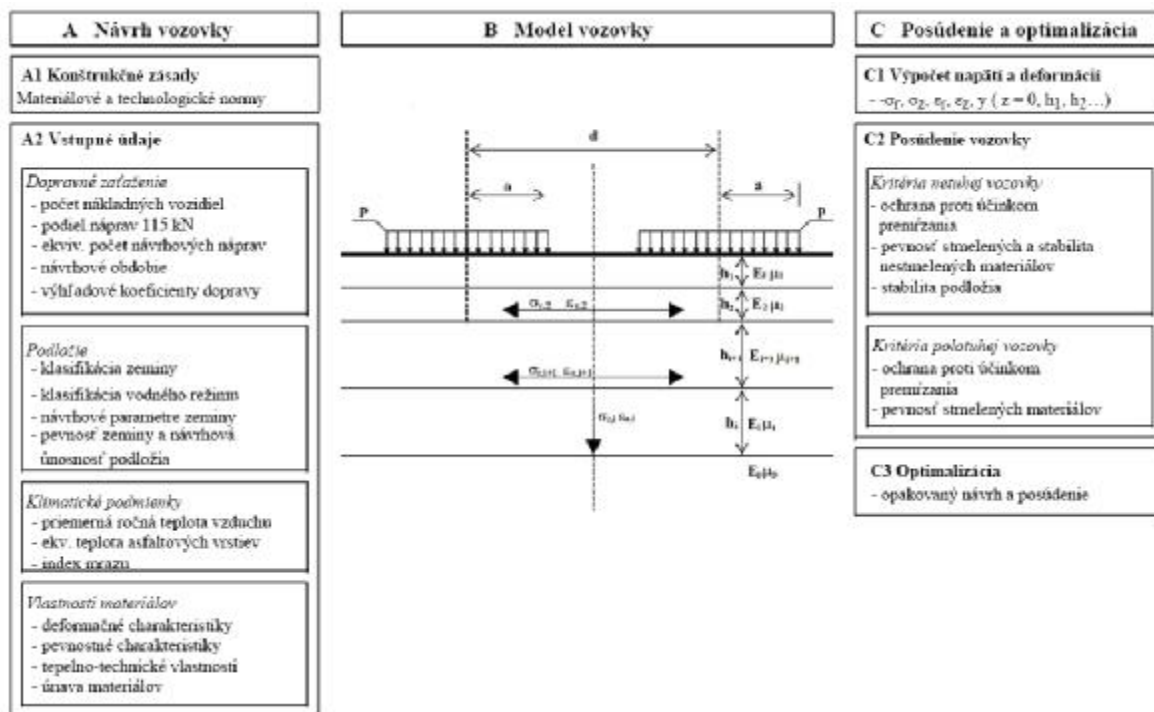
6.1. Základné kritériá

Základnými kritériami, pomocou ktorých sa posudzuje návrh konštrukcie asfaltovej polotuhej vozovky sú:

- § Ochrana vozovky proti účinkom premrzania
- § Pevnosť a únava stmelených materiálov

Návrh konštrukcie musí spĺňať základné kritériá pre posudzovanie účinkov opakovaného zaťaženia prejazdmi nákladných vozidiel, ktoré sú vyjadrené účinkami návrhovej nápravy s hmotnosťou 10 ton ($2P = 100 \text{ kN}$).

Vzhľadom na rôzne dĺžky návrhového obdobia vozoviek (ako aj počet klimatických cyklov) treba pri posudzovaní netuhých a polotuhých vozoviek rozlišovať **kritériá pre štandardné** zaťaženie s veľkosťou $N_e < 1.10^5$ a v **rozsahu** 1.10^5 až 25.10^6 a pre neštandardné zaťaženie $N_e > 25.10^6$.



Obr.6.1. Princíp navrhovania a posudzovania asfaltových vozoviek podľa TP 3/2009

6.2. Ochrana vozovky proti účinkom premrzania

Návrh vozovky z hľadiska ochrany pred nepriaznivými účinkami mrazu vyhovuje, keď je splnená nerovnica (6.1).

$$R_{v,sk} \geq R_{v,p} \quad (6.1)$$

Skutočný tepelný odpor navrhutej vozovky $R_{v,sk} [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$ pozostávajúcej z vrstiev hrúbok $h_i [\text{m}]$ so súčiniteľom tepelnej vodivosti $I_i [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ získame pomocou rovnice (6.2).

$$R_{v,sk} = \sum_{i=1}^{n=5} \frac{h_i}{I_i} \quad (6.2)$$

$$R_{v,skD} = \sum \frac{h_i}{I_i} = \frac{0,04}{1,50} + \frac{0,06}{1,40} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,17}{1,75} + \frac{0,20}{2,0} \approx 0,358$$

$$0,356 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} > 0,285 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Návrh konštrukcie polotuhej vozovky z aspektu ochrany proti nepriaznivým účinkom mrazu **vyhovuje**.

6.3. Pevnosť a únava stmelených materiálov

Pevnosť stmelených materiálov v jednotlivých vrstvách polotuhej vozovky sa posudzuje porovnaním napätia v ťahu pri ohybe a redukovanej pevnosti materiálu v ťahu pri ohybe. V prípade, kedy je návrhové dopravné zaťaženie $N_c = 1.10^5$ až 25.10^6 posudzuje sa pevnosť stmelených materiálov na spodnej úrovni asfaltom a cementom stmelených materiálov tak, že vplyvom únavy redukovaná pevnosť v ťahu pri ohybe sa porovnáva s napätím v ťahu pri ohybe na spodku vrstvy (pri osovom symetrickom zaťažení je to radiálne napätie). Kritérium bude splnené vtedy, keď v kritickej vrstve je splnená podmienka vyjadrená nerovnosťou

$$\sum_j q_j \cdot \frac{S_{r,i,j}}{S_{N,i} \cdot R_{i,j}} \leq SV \quad (6.3)$$

kde q_j je relatívna doba j s podmienkami namáhania konštrukcie, ktorá sa uvažuje 0,2 pre zimné obdobie, 0,3 pre leto a 0,5 pre jar a jeseň so strednými ročnými podmienkami,
 $S_{r,i,j}$ - napätie v ťahu pri ohybe v kritickej vrstve od zaťaženia nápravou s hmotnosťou 10ton (2P = 100 kN) pri podmienkach v jednotlivých obdobiach j , [MPa]
 $S_{N,i}$ - súčiniteľ únavy materiálu pre N opakovaní zaťaženia vrstvy i ,
 $R_{i,j}$ - výpočtová hodnota pevnosti materiálu posudzovanej vrstvy i v obdobiach j ,
 SV - súčiniteľ využitia pevnosti materiálu, ktorý je ako najväčšia prípustná relatívna hodnota rozdielny pre vozovky s rôznou triedou dopravného zaťaženia

V závislosti od triedy dopravného zaťaženia odporúča TP 3/2009 [4] hodnoty súčiniteľu využitia S_v podľa tab.6.1.

Tab.6.1. S_v podľa TP 3/2009 pre návrhové dopravné zaťaženie $N_c = 1.10^5$ až 25.10^6

Trieda dopravného zaťaženia (STN 73 6114)	I	II	III
Súčiniteľ využitia	0,80	0,85	0,90

Rozpísaný tvar základnej rovnice (6.3) pre štandardné klimatické podmienky (j -jar a jeseň, l -leto, z -zima) a odpovedajúcu triedu dopravného zaťaženia II bude :

$$0,2 \cdot \frac{S_{r,i,z}}{S_{N,i} \cdot R_{i,z}} + 0,5 \cdot \frac{S_{r,i,j}}{S_{N,i} \cdot R_{i,j}} + 0,3 \cdot \frac{S_{r,i,l}}{S_{N,i} \cdot R_{i,l}} \leq 0,85 \quad (6.4)$$

6.3.1. Posúdenie asfaltom stmelených materiálov

Súčiniteľ únavy materiálu, ktorým sa redukuje výpočtová pevnosť v závislosti od počtu opakovaní zaťaženia je závislý od druhu stmeleného materiálu (stmelený hydraulickým spojivom, alebo asfaltom) a kvality zmesi, pričom sa predpokladá platnosť rovnice

$$S_{N,i} = a_i - b_i \cdot \log N_c \quad (6.5)$$

Pre kritickú vrstvu obaľovaného kameniva **AC 16 P; I** vychádza nasledujúci súčiniteľ únavy

$$S_{N,AC16-I} = 0,95 - 0,11 \cdot \log 9291136 = 0,184$$

Výpočet súčiniteľu využitia kritickej vrstvy je potom nasledujúci:

$$0,2 \cdot \frac{0,271}{0,184 \cdot 3,2} + 0,5 \cdot \frac{0,189}{0,184 \cdot 2,4} \leq 0,85$$

$$0,31 < 0,85$$

Návrh konštrukcie polotuhej vozovky podľa tohto kritéria **vyhovuje**.

6.3.2. Posúdenie cementom stmelených materiálov

Pre vrstvu cementovej stabilizácie **CBGM C_{5/6}** po dosadení do rovnice 6.5 vychádza nasledujúci súčiniteľ únavy

$$S_{N, \text{CBGM } C_{5/6}} = 1 - 0,095 \cdot \log 9291136 = 0,338$$

Výpočet súčiniteľa využitia kritickej vrstvy je potom nasledujúci:

$$0,2 \cdot \frac{0,103}{0,338 \cdot 0,5} + 0,5 \cdot \frac{0,116}{0,338 \cdot 0,5} + 0,3 \cdot \frac{0,125}{0,338 \cdot 0,5} \leq 0,85$$

$$0,69 < 0,85$$

Návrh konštrukcie polotuhej vozovky podľa tohto kritéria **vyhovuje**.

7. Optimalizácia konštrukčného zloženia asfaltovej vozovky

7.1. Návrh optimalizovaného konštrukčného zloženia asfaltovej vozovky

Z aspektu, že všetky považované kritéria sú splnené so značnou rezervou, bola uskutočnená ekonomická optimalizácia konštrukčného zloženia posudzovanej asfaltovej vozovky.

Na základe odporúčaní relevantného dimenzačného predpisu TP 3/2009 [4] a skúseností autora v predmetnej problematike bola navrhnutá polotuhá asfaltová vozovka v konštrukčnom zložení podľa tab.7.1.

Tab.7.1. Odporúčané a navrhnuté konštrukčné hrúbky vrstiev polotuhej vozovky pre TDZ II

Konštrukčná vrstva	Hrúbky konštrukčných vrstiev v cm	
	Odporúčania TP 3/2009	Návrh vozovky I/75 Šaľa obchvat
Asfaltový koberec mastixový SMA 11 O; I, PmB	3 až 5	4 cm
Asfaltový spojovací postrek PS, A 0,5 kg/m ²		
Asfaltový betón hrubý AC 16 L; I, PmB	5 až 7	5 cm
Asfaltový spojovací postrek PS, A 0,5 kg/m ²		
Asfaltový betón veľmi hrubý AC 22 P; I	5 až 8	7 cm
Infiltračný postrek PI, A 0,8 kg/m ²		
Stabilizácia cementom CBGM C_{5/6}	15 až 20	17 cm
Štrkodrvina ŠD		20 cm
Celková hrúbka vozovky		53 cm

7.2. Výpočet napätí pre optimalizovaný návrh

Pre výpočet napätí v konštrukčných vrstvách optimalizovaného návrhu posudzovanej polotuhej vozovky boli použité vstupné údaje prezentované v kap.6 a tab.7.1.

Tab.7.2. Vstupné mechanické charakteristiky konštrukčných vrstiev polotuhej vozovky

Vrstva		Modul pružnosti [MPa]			Poissonovo číslo			Pevnosť v ťahu pri ohybe [MPa]		
Označenie	Hrúbka	0 °C	11 °C	27 °C	0 °C	11 °C	27 °C	0 °C	11 °C	27 °C
SMA 11 O, I	4 cm	7 500	6 000	3 750	0,21	0,30	0,40			
AC 22 L, I, PMB	5 cm	5 700	4 600	2 800	0,21	0,30	0,40			
AC 16 P, I	7 cm	4 500	3 050	1 250	0,21	0,33	0,44	3,2	2,40	0,95
CBGM C _{5/6}	17 cm	1 200	1 200	1 200	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50
ŠD 0/32	20 cm	350	350	350	0,30	0,30	0,30			
Návrhová hodnota modulu pružnosti podložia $E_{p,n} = 90 \text{ MPa}$										

Z dôvodu, že došlo ku zmene celkovej hrúbky vozovky, je potrebné určiť novú hodnotu redukovanej návrhovej hodnoty modulu pružnosti podložia v období jarného odmäku $E_{p,n,j}$. Túto hodnotu stanovíme pre násobením návrhovej hodnoty modulu pružnosti $E_{p,n}$ redukčným súčiniteľom u podľa vzťahu (5.1)

$$E_{p,n,j} = u \cdot E_{p,n}$$

Hodnota redukčného súčiniteľa u je funkciou vodného režimu vozovky, namrzavosti zeminy podložia a pomeru hrúbky vozovky a hĺbky premrzania vozovky a podložia h_{pr} - H_v/h_{pr} podľa tab.5.2. Pre pomer

$$\frac{H_v}{h_{pr}} = \frac{0,53m}{0,82m} \approx 0,65$$

vychádza podľa tab.5.2 hodnota $u=0,75$. Následne dostávame

$$E_{p,n,j} = u \cdot E_{p,n} = 90 \text{ MPa} \cdot 0,75 = 67,5 \text{ MPa}$$

Pre uvedené vstupné údaje boli vypočítané hodnoty napätí podľa tab.7.3.

Tab.7.3. Vypočítané hodnoty napätí pre posúdenie optimalizovaného návrhu vozovky cesty I/75 Šaľa - obchvat

Vrstva	Hĺbka z [cm]	Referenčná teplota [°C]	s_r MPa od 2P=100 kN pre $E_{p,n} = 90 \text{ MPa}$
AC 22 P, I	16	0	0,306
		11	0,216
		27	-0,029
CBGM C _{5/6}	33	0	0,124
		11	0,141
		27	0,147

7.3. Posúdenie z hľadiska ochrany pred nepriaznivými účinkami mrazu

Návrh vozovky z hľadiska ochrany pred nepriaznivými účinkami mrazu vyhovuje, keď je splnená nerovnica (6.1).

$$R_{v,sk} \geq R_{v,p}$$

Skutočný tepelný odpor navrhutej vozovky $R_{v,sk}$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] pozostávajúcej z vrstiev hrúbok h_i [m] so súčiniteľom tepelnej vodivosti I_i [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] získame pomocou rovnice (6.2).

$$R_{v,sk} = \sum \frac{h_i}{l_i} = \frac{0,04}{1,50} + \frac{0,05}{1,50} + \frac{0,07}{1,15} + \frac{0,17}{1,75} + \frac{0,20}{2,0} = 0,320$$

$$0,320 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^I > 0,285 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^I$$

Návrh konštrukcie polotuhej vozovky podľa tohto kritéria **vyhovuje**.

7.4. Posúdenie pevnosti a únavy stmelených materiálov

7.4.1. Posúdenie asfaltom stmelených materiálov

Súčiniteľ únavy materiálu, ktorým sa redukuje výpočtová pevnosť v závislosti od počtu opakovaní zaťaženia je závislý od druhu stmeleného materiálu (stmelený hydraulickým spojivom, alebo asfaltom) a kvality zmesi, pričom sa predpokladá platnosť rovnice (6.5)

$$S_{N,i} = a_i - b_i \cdot \log N_c$$

Pre kritickú vrstvu obaľovaného kameniva **AC 16 P; I** vychádza nasledujúci súčiniteľ únavy

$$S_{N,AC_{P16-I}} = 0,95 - 0,11 \cdot \log 9291136 = 0,184$$

Výpočet súčiniteľa využitia kritickej vrstvy je potom nasledujúci:

$$0,2 \cdot \frac{0,306}{0,184 \cdot 3,2} + 0,5 \cdot \frac{0,216}{0,184 \cdot 2,4} \leq 0,85$$

$$0,35 < 0,85$$

Návrh konštrukcie polotuhej vozovky podľa tohto kritéria **vyhovuje**.

7.4.2. Posúdenie cementom stmelených materiálov

Pre vrstvu cementovej stabilizácie **CBGM C_{5/6}** po dosadení do rovnice 6.5 vychádza nasledujúci súčiniteľ únavy

$$S_{N,CBGM_{C_{5/6}}} = 1 - 0,095 \cdot \log 9291136 = 0,338$$

Výpočet súčiniteľa využitia kritickej vrstvy je potom nasledujúci:

$$0,2 \cdot \frac{0,124}{0,338 \cdot 0,5} + 0,5 \cdot \frac{0,141}{0,338 \cdot 0,5} + 0,3 \cdot \frac{0,146}{0,338 \cdot 0,5} \leq 0,85$$

$$0,83 < 0,85$$

Návrh konštrukcie polotuhej vozovky podľa tohto kritéria **vyhovuje**.

8. Záver

Pre projektovo pripravovanú stavbu *Cesta I/75 Šaľa - obchvat*, bol najskôr posúdený pôvodný návrh asphaltovej vozovky poskytnutý objednávateľom. Tento návrh pre poskytnuté dopravné zaťaženie splnil všetky požadované kritéria TP 3/2009 [4] so značnou rezervou.

Z uvedeného dôvodu a na základe vstupných údajov, príslušných ustanovení odpovedajúcich zákonov, noriem, smerníc a predpisov, iteračných výpočtov, objektivizovaných výsledkov výskumu a skúseností autora navrhnutá polotuhá konštrukcia vozovky v nasledujúcom zložení.

Asfaltový koberec mastixový s použitím modifikovaného asfaltu SMA 11 O; I, PMB; STN EN 13108-5	40 mm
Spojovací postrek emulzný modifikovaný 0,5 kg/m ² PSE-M; STN 73 6129	
Asfaltový betón pre ložnú vrstvu s použitím modifikovaného asfaltu AC 16 L; I, PMB; STN EN 13108-1	50 mm
Spojovací postrek emulzný 0,5 kg/m ² PSE; STN 73 6129	
Asfaltový betón pre hornú podkladovú vrstvu AC 22 P; STN EN 13108-1	70 mm
Infiltračný postrek 1,0 kg/m ² PI; STN 73 6129	
Stabilizácia cementom CBGM C_{5/6}; STN 73 6125/Z2/01	170 mm
Štrkodrvina ŠD; STN EN 13285	200 mm
Celková hrúbka vozovky	530 mm

Pre navrhnutú vozovku bolo zistené splnenie všetkých požadovaných kritérií TP 3/2009 v zmysle tab.8.1.

Tab.8.1. Prehľad splnenia posudzovaných kritérií návrhu vozovky cesty I/75 Šaľa obchvat

Návrh vozovky I/75 Šaľa obchvat	Celková hrúbka vozovky	Tepelný odpor [m ² .K.W ⁻¹]		Pevnosť a únava stmelených materiálov			
		požadovaný $R_{v,p}$	skutočný $R_{v,sk}$	asfaltom		cementom	
				$\sum q_j \cdot \frac{S_{r,i,j}}{S_{N,i} \cdot R_{f,j}}$	SV	$\sum q_j \cdot \frac{S_{r,i,j}}{S_{N,i} \cdot R_{f,j}}$	SV
Pôvodný	58 cm	0,285	0,356	0,31	0,85	0,69	0,85
optimálny	53 cm	0,285	0,320	0,35	0,85	0,83	0,85

Dôležitou podmienkou zabezpečenia kvality a životnosti vozovky je dosiahnutie požadovaných návrhových hodnôt pevnostných a deformačných charakteristík konštrukčných vrstiev vozovky v zmysle platných noriem, KLK 1/2005 [12] a KLAZ 01/2010 [13] a pre podložie vozovky – **minimálna hodnota modulu pružnosti 90 MPa**.

9. Literatúra

- [1] Projektová dokumentácie Cesty I/75 Šaľa – obchvat. Geoconsult spol. s r.o., 2012.
- [2] STN 73 6100 Názvoslovie cestných komunikácií.
- [3] STN 73 6114 Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie.
- [4] TP 3/2009 Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek, MDPaT SR, 2009.
- [5] ČOREJ, Ján a kol.: Mechanika vozoviek. Navrhovanie vozoviek a spevnených plôch. 2. prepracované vydanie, EDIS – vydavateľstvo ŽU 2006, 363 s. ISBN 80-8070-571-2.
- [6] Zákon 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (Cestný zákon) v znení neskorších predpisov.

- [7] DECKÝ, M., DRUSA, M. a kol.: Navrhovanie a kontrola kvality zemných konštrukcií inžinierskych stavieb. Vedecká monografia, 2009, BTO print s.r.o, 487 str., ISBN 978-80-970139-1-2, EAN 978-8097013912.
- [8] DECKÝ, M. a kol.: Navrhovanie a kontrola kvality vozoviek. Stavebná fakulta ŽU, 2010, BTO print, s. 223, ISBN 978-80-970248-1-9.
- [9] DECKÝ, M. a kol.: Navrhovanie a rozpočtovanie asfaltových vozoviek. Stavebná fakulta ŽU, 2010, s. 300, ISBN 978-80-970388-0-9.
- [10] DECKÝ, M.: Index mrazu vyhodnotený z meraní teplôt vzduchu v rokoch 1971 až 2006 na území Slovenska. In: Silniční obzor, 2/2010, s. 40-45, ISSN 0322-7154 47 320
- [11] STN 73 6133 Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií, apríl 2010.
- [12] KLIK 1/2005 Katalógové listy kameniva (doplnok k platným TKP). MDPaT SR, apríl 2005.
- [13] KLAZ 1/2010 Katalógové listy asfaltových zmesí. MDPaT SR, september 2010.
- [14] DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K.: Únosnosť ako parameter kvality. In: Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou Nestmelené a hydraulicky stmelené vrstvy vozoviek v kontexte národných predpisov. 9.2. 2011 Podbanské, Vysoké Tatry, s.43-48, ISBN 978-80-232-0310-3.
- [15] DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K., PITOŇÁK, M.: Kontrola kvality zhutnenia zemných konštrukcií dopravných stavieb. In: Silniční obzor, 4/2011, s. 101-108, ISSN 0322-7154.
- [16] LOVEČEK, Z., DECKÝ, M.: Poznaky z používania drvenej gumy v asfaltových zmesiach. In: Silniční obzor, roč. 73, č. 3/2012, s. 70-77, , ISSN 0322-7154.



prof. Dr. Ing. Martin Decký

Žilina 27. 9. 2012