

# **Rozborová úloha**

**Spracovanie podrobnej analýzy základných  
ustanovení pre navrhovanie vozoviek**

## **Základné údaje**

*Názov úlohy:*           *Spracovanie podrobnej analýzy základných ustanovení pre navrhovanie vozoviek*

*Zhotoviteľ:*           *VUIS-CESTY spol. s r. o*  
                              *Lamačská 8*  
                              *811 04 Bratislava*

*Riešitelia:*            *Ing. Vladimír Říkovský, CSc.*  
                              *Ing. Jiří Fiedler*

## Obsah

|     |                                                                                                                          |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | ANALÝZA ZÁSAD NAVRHOVANIA, NAVRHOVANIE NOVÝCH VOZOVIEK, NAVRHOVANIE OPRÁV A REKONŠTRUKCIÍ A NAVRHOVANIE STAVEBNEJ ÚDRŽBY | 7  |
| 1.1 | Poznatky zo zahraničia                                                                                                   | 7  |
| 1.2 | Záver                                                                                                                    | 15 |
| 1.3 | Literatúra                                                                                                               | 15 |
| 2.  | ANALÝZA KONŠTRUKČNÝCH A TECHNICKÝCH POŽIADAVIEK                                                                          | 17 |
| 2.1 | Všeobecne                                                                                                                | 17 |
| 2.2 | Konštrukčné požiadavky                                                                                                   | 17 |
| 2.3 | Technické požiadavky                                                                                                     | 17 |
| 2.4 | Literatúra                                                                                                               | 18 |
| 3.  | DOPRAVNÉ ZAŤAŽENIE                                                                                                       | 19 |
| 3.1 | Poznatky zo zahraničia                                                                                                   | 19 |
| 3.2 | Zhrnutie a záver                                                                                                         | 21 |
| 3.3 | Literatúra                                                                                                               | 22 |
| 4.  | NÁVRHOVÉ METÓDY                                                                                                          | 23 |
| 4.1 | Mechanic-Empirical Pavement Design Guide MEPDG                                                                           | 23 |
| 4.2 | Rakúska návrhová metóda                                                                                                  | 30 |
| 4.3 | Nemecká návrhová metóda                                                                                                  | 32 |
| 4.4 | Záver                                                                                                                    | 33 |
| 4.5 | Literatúra                                                                                                               | 33 |
| 5.  | POSUDZOVANIE NESTMELENÝCH VRSTIEV A PODLOŽIA VOZOVKY                                                                     | 35 |
| 5.1 | Poznatky zo zahraničia                                                                                                   | 35 |
| 5.2 | Literatúra                                                                                                               | 38 |
| 6.  | VPLYV MATERIÁLOV ASFALTOVÝCH ZMESÍ NA SPOĽAHLIVOSŤ VRSTIEV VOZOVKY – PROJEKT APVV                                        | 39 |
| 6.1 | Úvod                                                                                                                     | 39 |
| 6.2 | Všeobecne                                                                                                                | 39 |
| 6.3 | Receptúry z asfaltového betónu rôzneho zloženia a z hľadiska kameniva a spojiva                                          | 39 |
| 6.4 | Funkčné vlastnosti asfaltového betónu pre rôzne druhy kameniva, odlišujúce sa čiarou zrnitosti a zložením                | 40 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                    |           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.4.1       | Modul tuhosti                                                                                                                                                                                                                      | 40        |
| 6.4.2       | Únavové charakteristiky                                                                                                                                                                                                            | 43        |
| <b>6.5</b>  | <b>Funkčné vlastnosti asfaltového betónu pre rôzne druhy asfaltu</b>                                                                                                                                                               | <b>45</b> |
| 6.5.1       | Všeobecne                                                                                                                                                                                                                          | 45        |
| 6.5.2       | Stanovenie modulu tuhosti pre rôzne druhy asfaltu                                                                                                                                                                                  | 45        |
| 6.5.3       | Únavové charakteristiky asfaltových zmesí pre rôzne druhy asfaltu                                                                                                                                                                  | 46        |
| <b>6.6</b>  | <b>Spôľahlivosť vrstiev z asfaltového betónu v konštrukciách vozoviek s využitím funkčných vlastností (modul pružnosti, únava materiálov)</b>                                                                                      | <b>48</b> |
| 6.6.1       | Modul tuhosti                                                                                                                                                                                                                      | 48        |
| 6.6.2       | Únava materiálov                                                                                                                                                                                                                   | 52        |
| <b>6.7</b>  | <b>Prevádzková výkonnosť asfaltových vrstiev vo vozovke a návrh optimálnej konštrukcie vozoviek pre rôzne druhy zaťaženia, v ktorých boli použité asfaltové vrstvy charakterizované funkčnými vlastnosťami na základe projektu</b> | <b>53</b> |
| 6.7.1       | Model vozovky                                                                                                                                                                                                                      | 53        |
| 6.7.2       | Vstupné údaje asfaltových zmesí na základe funkčných vlastností                                                                                                                                                                    | 55        |
| 6.7.3       | Posudzovacie kritériá                                                                                                                                                                                                              | 55        |
| <b>6.8</b>  | <b>Vybrané konštrukcie vozoviek a ich posúdenie podľa návrhu</b>                                                                                                                                                                   | <b>56</b> |
| 6.8.1       | Konštrukcia vozovky pre $N_c = 10\,000\,000$ návrhových náprav                                                                                                                                                                     | 56        |
| 6.8.2       | Návrh a posúdenie vozovky pre $N_c = 5\,000\,000$                                                                                                                                                                                  | 57        |
| 6.8.3       | Návrh a posúdenie vozovky pre $N_c = 500\,000$                                                                                                                                                                                     | 58        |
| <b>6.9</b>  | <b>Závery z riešenia projektu</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>58</b> |
| <b>6.10</b> | <b>Literatúra</b>                                                                                                                                                                                                                  | <b>60</b> |
| <b>7.</b>   | <b>ZÁVERY PRE NAVRHOVANIE NETUHÝCH VOZOVIEK</b>                                                                                                                                                                                    | <b>61</b> |
| <b>7.1</b>  | <b>Nevýhody súčasne platnej návrhovej metódy polotuhých a netuhých vozoviek</b>                                                                                                                                                    | <b>61</b> |
| 7.1.1       | Materiálové charakteristiky                                                                                                                                                                                                        | 61        |
| 7.1.2       | Kritériá                                                                                                                                                                                                                           | 61        |
| <b>7.2</b>  | <b>Odporúčania pre novú návrhovú metódu</b>                                                                                                                                                                                        | <b>61</b> |
| <b>8.</b>   | <b>ODPORÚČANIA PRE REVÍZIU NORMY STN 73 6114</b>                                                                                                                                                                                   | <b>63</b> |
| <b>8.1</b>  | <b>Predmet normy</b>                                                                                                                                                                                                               | <b>63</b> |
| <b>8.2</b>  | <b>Termíny a definície</b>                                                                                                                                                                                                         | <b>63</b> |
| 8.2.1       | Všeobecné termíny                                                                                                                                                                                                                  | 63        |
| 8.2.2       | Výpočet                                                                                                                                                                                                                            | 63        |
| 8.2.3       | Defektológia                                                                                                                                                                                                                       | 63        |
|             | Premenné parametre vozovky                                                                                                                                                                                                         | 63        |
| 8.2.4       | Spôľahlivosť                                                                                                                                                                                                                       | 63        |
| 8.2.5       | Medzné stavy                                                                                                                                                                                                                       | 63        |

|                  |                                                                  |           |
|------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.2.6            | Návrhové situácie                                                | 63        |
| 8.2.7            | Životnosť                                                        | 63        |
| 8.2.8            | Podložie a materiál                                              | 63        |
| 8.2.9            | Zaťaženie                                                        | 63        |
| 8.2.10           | Účinky zaťaženia                                                 | 63        |
| 8.2.11           | Rehabilitácia vozovky                                            | 64        |
| <b>8.3</b>       | <b>Zásady navrhovania</b>                                        | <b>64</b> |
| 8.3.1            | Navrhovanie nových vozoviek                                      | 64        |
| 8.3.2            | Navrhovanie rehabilitácie vozovky                                | 64        |
| 8.3.3            | Konštrukčné a technologické požiadavky                           | 64        |
| 8.3.4            | Návrhové obdobie                                                 | 65        |
| 8.3.5            | Optimalizácia návrhu                                             | 65        |
| <b>8.4</b>       | <b>Charakteristiky prostredia</b>                                | <b>65</b> |
| <b>8.5</b>       | <b>Dopravné zaťaženie</b>                                        | <b>66</b> |
| 8.5.1            | Dopravné zaťaženie                                               | 66        |
| 8.5.2            | Klimatické zaťaženie                                             | 66        |
| 8.5.3            | Iné zaťaženie                                                    | 66        |
| <b>8.6</b>       | <b>Konštrukčné vrstvy vozoviek</b>                               | <b>66</b> |
| 8.6.1            | Konštrukčné vrstvy vozoviek                                      | 66        |
| 8.6.2            | Jednotlivé konštrukčné vrstvy a podložie sa pri návrhu definujú: | 66        |
| <b>8.7</b>       | <b>Výpočet a posúdenie vozoviek</b>                              | <b>67</b> |
| 8.7.1            | Výpočet konštrukcie vozovky                                      | 67        |
| 8.7.2            | Parametre návrhového obdobia                                     | 67        |
| 8.7.3            | Výpočtový model                                                  | 67        |
| 8.7.4            | Odchýlky výpočtového modelu                                      | 67        |
| 8.7.5            | Návrh výpočtového modelu                                         | 67        |
| 8.7.6            | Odozva konštrukcie vozovky                                       | 67        |
| <b>Príloha A</b> |                                                                  | <b>67</b> |
| <b>Príloha B</b> |                                                                  | <b>67</b> |
| <b>Príloha C</b> |                                                                  | <b>67</b> |
| <b>Príloha D</b> |                                                                  | <b>67</b> |
| <b>Príloha E</b> |                                                                  | <b>67</b> |
| <b>9.</b>        | <b>ZÁVER</b>                                                     | <b>68</b> |
| 9.1              | Úvod                                                             | 68        |
| 9.2              | Poznatky zo zahraničia                                           | 68        |
| 9.3              | Výskumný projekt                                                 | 68        |
| 9.4              | Odporúčania pre revíziu normy STN 73 6114                        | 68        |

|            |                                                                                                                                                            |           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 9.4.1      | Analýza zásad navrhovania, navrhovanie nových vozoviek, navrhovanie opráv a rekonštrukcií a navrhovanie stavebnej údržby                                   | 68        |
| 9.4.2      | Analýza konštrukčných a technických požiadaviek                                                                                                            | 69        |
| 9.4.3      | Charakteristiky prostredia, vodný režim podložia, index mrazu, analýzy vodnotepelného režimu vozoviek a kritériá na zamedzenie premrzania zeminy v podloží | 70        |
| 9.4.4      | Zaťaženie vo vzťahu k sčítaniu dopravy realizovaného SSC                                                                                                   | 70        |
| <b>9.5</b> | <b>Nová návrhová metóda pre asfaltové vozovky</b>                                                                                                          | <b>70</b> |

## Úvod

Cieľom tejto RÚ bolo vytvoriť technické podklady pre revíziu normy STN 73 6114 „Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie“ z roku 1997 na základe súčasných domácich a zahraničných poznatkov.

Norma opisuje základné ustanovenia pre navrhovanie netuhých polotuhých a cemento–betónových vozoviek cestných komunikácií.

Po revízii normy STN 73 6114 by sa mala navrhnúť nová návrhová metóda pre netuhé a polotuhé vozovky cestných komunikácií.

V súčasnosti prebieha revízia predpisu technická smernica TS 0803 z roku 2003 s názvom „NAVRHOVANIE CEMENTOBETÓNOVÝCH VOZOVIEK NA POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÁCH“.

V rešeršnej časti sme sa zaoberali len vozovkami netuhými a polotuhými nakoľko prebieha vyššie citovaná revízia navrhovania cemento-betónových vozoviek.

V kapitole 6 sú uvedené výsledky projektu, ktorý mal za cieľ vytvoriť podklady pre možnosť navrhovať netuhé a polotuhé vozovky s vyššou spoľahlivosťou na základe meraní overených hodnôt modulov tuhosti a únavových charakteristík (cca 30 asfaltových zmesí). Záverom kapitoly je uvedený návrh postupu pri posudzovaní asfaltových vozoviek na základe výsledkov funkčných skúšok asfaltových zmesí.

## **1. Analýza zásad navrhovania, navrhovanie nových vozoviek, navrhovanie opráv a rekonštrukcií a navrhovanie stavebnej údržby**

### **1.1 Poznatky zo zahraničia**

Pre návrh vozovky sa účinky zaťaženia dopravou zvyčajne vyjadrujú ako rovnomerné zaťaženie na 2 kruhových plochách. Pre výpočet napätí a pretvorení vrstiev vozovky sa používajú väčšinou programy pre lineárne pružný vrstevnatý polo priestor.

Vďaka pokrokom v meracej technike je dnes možné spoľahlivo merať pomerné deformácie vo vrstvách vozovky a napätia v podloží a nestmelených vrstvách. Z experimentov na skúšobných (únavových) dráhach alebo na skúšobných úsekoch vozoviek, kde boli osadené snímače pretvorení a napätí sa ukázalo, že správanie vozoviek od zaťaženia dopravou je zložitejšie, ako sa predtým predpokladalo. Záleží na počte náprav a ich usporiadaní, či sú na spodnej strane asfaltových vrstiev väčšie pomerné pretvorenia pozdĺžne alebo priečne.

Pre správne vystihnutie nameraných hodnôt pretvorenia výpočtovým modelom nestačilo použiť obvyklý predpoklad lineárnej pružnosti. Bolo potrebné uvažovať s väzko-pružným prípadne väzko-pružno-plastickým správaním asfaltových zmesí. Boli vytvorené programy pre navrhovanie vozoviek, ktoré tieto vlastnosti zohľadňujú. Zatiaľ síce neboli zavedené do žiadnej publikovanej návrhovej metódy, ale je možné, že k tomu niekedy v budúcnosti dôjde.

Zložitejšie výpočty použité v spomínaných výskumoch umožňujú získať predstavu o tom, aký rozdiel vo výsledkoch môže vzniknúť pri použití štandardného a sofistikovanejšieho postupu. V návrhovej metóde založenej na lineárnej pružnosti by to bolo možné zohľadniť primeranou voľbou rôznych opravných koeficientov, ktoré sa užívajú, aby teoreticky vypočítané hodnoty pokiaľ možno zodpovedali skutočnému správaniu konštrukcií.

Jedným z prvých programov, ktorý zohľadnil väzko-elastické správanie sa asfaltových zmesí na účinok pohybujúceho sa zaťaženia, bol holandský program VEROAD. Pre modelovanie väzko-elastického správania bol použitý BURGISOV model s 5 materiálovými charakteristikami (2 pružiny, 2 lineárne tlmiče a objemový modul). Modelom sa vystihla asymetria priebehu pretvorenia na báze asfaltových vrstiev v pozdĺžnom a priečnom smere pri prejazde jedného kolesa, ktorá bola pozorovaná pri meraniach na únavových dráhach. Uvedené je opísané napríklad v literatúre [1.2]. V programe VEROAD bol dobre vystihnúť priebeh zmien pretvorenia, ktorý bol sledovaný na skúšobnej (únavovej) dráhe v rámci výskumného programu AMADEUS literatúra [1.3].

Neskôr boli vyvinuté ešte sofistikovanejšie programy ako VEROAD, ktoré však vyžadujú pre použitý model viac vstupných parametrov.

Vo Francúzsku bol vypracovaný program VISCOROUTE literatúra [1.2], ktorý zohľadňuje účinky pohybujúceho sa zaťaženia.

Pre asfaltové zmesi používa reologický model HUET-SAYEGH, ktorý má 5 väzko-elastických koeficientov  $E_0$ ,  $E_\infty$ ,  $k$ ,  $h$ ,  $d$  a 3 teplotné koeficienty  $A_0$ ,  $A_1$  a  $A_2$ . Reologický model je tvorený 2 pružinami a 2 parabolickými tlmičmi.

Ďalším, ešte zložitejším väzko-elastickým modelom, ktorý bol použitý pre modelovanie správania vozoviek pohyblivým zaťažením je tzv. generalizovaný model KELVIN-VOIGT. Ten je použitý napríklad v dizertačnej práci Ambasa literatúra [1.2] a v programe založenom na princípe metódy konečných prvkov CAST3M.

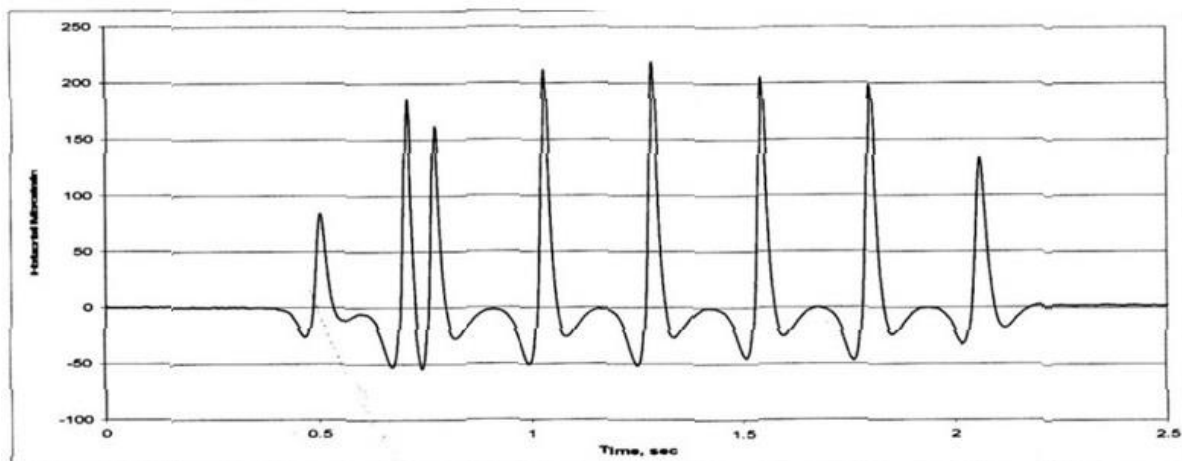
Účinok pohyblivého zaťaženia na vozovku je modelovaný napríklad aj americkým programom 3D MOVE, ktorý je uvedený v literatúre [1.5]. Reologické modely aj programy zohľadňujúce pohybujúce sa zaťaženie, vychádzajú zo zložitých matematických vzťahov, v ktorých sa orientujú len odborní špecialisti. V posledných niekoľkých rokoch však boli vytvorené užívateľsky prijateľné programy. Tieto majú potenciál v budúcnosti umožniť širšie využitie týchto sofistikovaných metód, a to nielen vo výskumných prácach či pri vyhodnocovaní experimentov na únavových dráhach.

V súčasnej dobe je štúdium publikovaných experimentov na únavových dráhach a ich modelovanie spomínanými zložitými metódami užitočné aj pre odborníkov z praxe, pretože im umožní lepšie pochopiť rozdiely v správaní asfaltových vozoviek pri zaťažovaní rôznymi druhmi nákladných vozidiel, najmä u nových typov vozidiel s viacerými nápravami a širokými pneumatikami. Veľmi inštruktívna je napríklad prezentácia Rabeho, literatúra [1.17] o výsled-

koch skúšok na skúšobnej dráhe nemeckého výskumného ústavu BAST. V ďalšom sú stručne popísané výsledky niekoľkých experimentov vo Francúzsku a v USA.

Veľmi rozsiahle experimenty prebiehajú už vyše 10 rokov na únavovej dráhe NCAT v štáte Alabama, literatúra [1.6]. Podrobné správy o výsledkoch jednotlivých experimentov sú uvedené v literatúre [1.7]. Inštruktívne výsledky boli získané vyhodnotením dvoch asfaltových vozoviek s hrúbkou krytu cca 12 cm, ktoré boli po dobu dvoch rokov zaťažované až do porušenia, pričom bol vývoj trhlin vo vozovke starostlivo monitorovaný Timmom, literatúra [1.19]. Snímačmi sa merala teplota vozovky, napätia, priečne a pozdĺžne pretvorenie v asfaltových vrstvách. Jediný rozdiel v skladbe oboch vozoviek bol v tom, že na jednom úseku bola v podkladovej vrstve zmes s cestným asfaltom (PG 67-22) a v druhom rovnaká zmes s modifikovaným asfaltom (PG 76-22). Tento experiment je zaujímavý aj preto, že na základe jeho výsledkov bola navrhnutá úprava empirického vzorca pre posudzovanie únavy v americkej návrhovej metóde. To je opísané v kapitole 4 tejto správy o rôznych návrhových metódach. Tu sa ďalej zaoberali nameranými pretvoreniami na spodnej strane asfaltových vrstiev od špeciálneho zaťažovacieho vozidla. Vozidlo malo na ťahači pod kabínou vodiča nápravu zaťaženú 50 kN s jedným kolesom a tandem zaťažený 200 kN s dvojmontážami. Na prívesoch bolo 5 samostatných náprav s dvojmontážami zaťažených 100 kN. Po 2 rokoch prevádzky na únavovej dráhe bolo dopravné zaťaženie po prepočte na ESALA (10 tonovú nápravu) cca 10 miliónov.

Charakteristické pozdĺžne pomerné deformácie na báze asfaltových vrstiev sú na obrázku 1.1 (obrázok 4.6 zo správy [1.19]). Priebeh je podobný ako pri iných experimentoch na únavových dráhach či vozovkách. Ako sa náprava približuje k miestu merania, dochádza k vodorovnému stlačeniu. Keď je náprava tesne pri meranom bode dôjde k predĺženiu vo vrstve. Ako sa náprava vzdďaľuje, dôjde opäť k stlačeniu, ktoré potom pomaly doznieva.



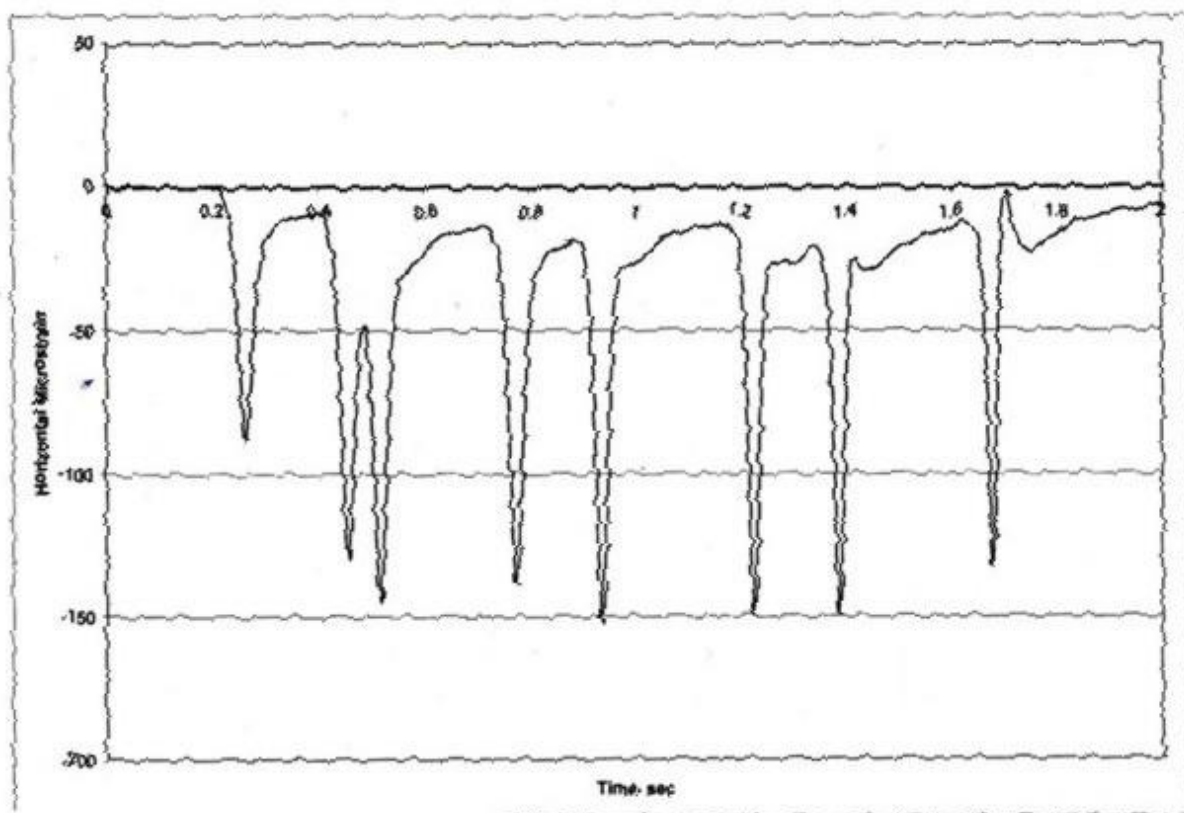
Obrázok 1.1 Pozdĺžne pretvorenie na báze asfaltových vrstiev  
 (obrázok 4.6 správy Timma [1.19])

Legenda k obrázku 1.1  
 - vodorovná os  
 - zvislá os

čas v sekundách (Time, sec);  
 vodorovné pomerné pretvorenie v Mirostrainoch  $\mu S - 10^{-6} m/m$  (Horizontal Microstrain).

Medzi nápravami na príviesoch bol čas medzi zaťažovacími cyklami cca 0,2 sekundy, čo stačilo na relaxáciu a vrátenie predĺženia do počiatočnej polohy. Pri tandeme bol interval medzi zaťažzeniami príliš krátky, takže k relaxácii pretvorenie nemohlo dôjsť. Teoreticky by malo byť maximálne pretvorenie pod nápravami všetkých príviesov rovnaké. Rozdiely sú dané tým, že pneumatiky neboli rovnako vzdialené v priečnom smere od meradla (vplyv "traffic wander"). Postup, ako boli rôzne rušivé vplyvy pri meraní eliminované, je podrobne popísaný v správe Timma [1.19].

V priečnom smere dochádzalo na spodnej ploche asfaltových vrstiev len k pomernému predĺženiu, ako je vidieť na obrázku charakteristických deformácií obrázok 1.2 citovaný zo správy [1.19].



Obrázok 1.2 Pozdĺžne pomerné pretvorenie na spodnej strane asfaltových vrstiev

Legenda k obrázku 1.2

- vodorovná os  
- zvislá os

čas v sekundách (Time, sec);

vodorovné pomerné pretvorenie v Mikrostrainoch  $\mu S - 10^{-6} m/m$  (Horizontal Microstrain).

Relaxácia, pretvorenie potom, čo náprava prejde nad meraným bodom, je pomalšia, než v pozdĺžnom smere. Za 0,2 sekundy nedošlo k úplnému vymiznutiu priečného stlačenia. Tento rozdiel v správaní je spôsobený pohybom vozidla a väzko-pružnými vlastnosťami asfaltových zmesí. Pri statickom zaťažení na kruhovej ploche, ktoré sa uvažuje v návrhových metódach, sú pretvorenia v oboch smeroch podobné. Programy uvažujúce s väzko-pružnými

správaním vozovky pri pohybe vozidla umožňujú modelovať pomerné deformácie, ako je ukázané ďalej v texte.

Pomerné pretvorenie na spodnej strane asfaltových vrstiev sa počas experimentu výrazne menilo, ale väčšinou bolo priečne pretvorenie menšie než pozdĺžne, najmä pri väčších deformáciách (ku ktorým dochádzalo hlavne pri vyšších teplotách vo vozovke). Preto bolo pri oprave vzorca americkej návrhovej metódy použité pozdĺžne pomerné predĺženie. Trhliny vznikali najprv v priečnom smere, čo zodpovedá tomu, že pozdĺžne pomerné predĺženie bolo väčšie.

Obdobné správanie bolo pozorované už skôr pri experimentoch na únavovej dráhe v NANTES. Je to popísané v správe Horny, literatúra [1.11]. Zaťažovanie bolo vyvodzované jednou nápravou zaťaženou 65 kN s dvojmontážami (čo zodpovedá tomu, že návrhová náprava vo Francúzsku je 130 kN). Pri vozovkách s hrúbkou asfaltových vrstiev (6 – 12) cm boli trhliny priečne, pretože pozdĺžne pretvorenie na spodnej strane asfaltových vrstiev bolo väčšie.

Pri vozovkách pre malé dopravné zaťaženie s hrúbkou asfaltového krytu menšej ako 6 cm sa vytvorili najprv veľké priečne nerovnosti vplyvom nadmerných deformácií nestmelenej vrstvy pod AC. Až potom vznikali pozdĺžne trhliny. To korešpondovalo s tým, že priečne pretvorenie bolo 1,2 x až 1,4 x väčšie ako pozdĺžne. Avšak mnoho týchto trhlín končilo len niekoľko milimetrov pod povrchom, takže sa jednalo o tzv. Top-down cracking, čo je odlišný jav ako porušovanie únavou trhlinami šíriacimi sa zdola nahor. Podrobný popis experimentov v Nantes je aj v literatúre [1.15].

Veľmi odlišné správanie však bolo pozorované pri experimentoch v NANTES v roku 2009, pri ktorých sa kontrolovalo správanie dvoch vozoviek pri rôznych zaťažovacích zostavách (tandemom, tridem, široká pneumatika, dvojmontáž na samostatnej náprave). Je to popísané v správe Kerzeho [1.13], kde je analyzovaný aj vplyv na navrhovanie vozoviek.

Vozovky mali asfaltový kryt hrúbky 160 mm a 260 mm. Vzhľadom k pomerne veľkej hrúbke asfaltových vrstiev nebolo možné vozovky zaťažovať až do porušenia. Vykonané experimenty však umožnili veľmi dobre dokumentovať pretvorenie na spodnej strane asfaltových vrstiev pri rôznych teplotách a porovnať ich s výpočtami pri použití štandardného modelu lineárnej pružnosti pri statickom zaťažení (program ALIZE) a modelu väzko-pružného HU-ET-SAYEGH pri pohyblivom zaťažení.

Ukázalo sa, že u tridemu sú priečne pretvorenia výrazne vyššie ako vypočítané v programe ALIZE pre lineárne pružný vrstevnatý polopriestor. Na základe vypočítaných deformácií boli stanovené koeficienty agresivity rôznych zaťažovacích zostáv. Napríklad pre tridem z výpočtu ALIZE vyšiel koeficient agresivity 2,14 a z meraných hodnôt by bol 3,03. Autori konštatovali, že zatiaľ nie je možné z vykonaných experimentov vyvodiť definitívne

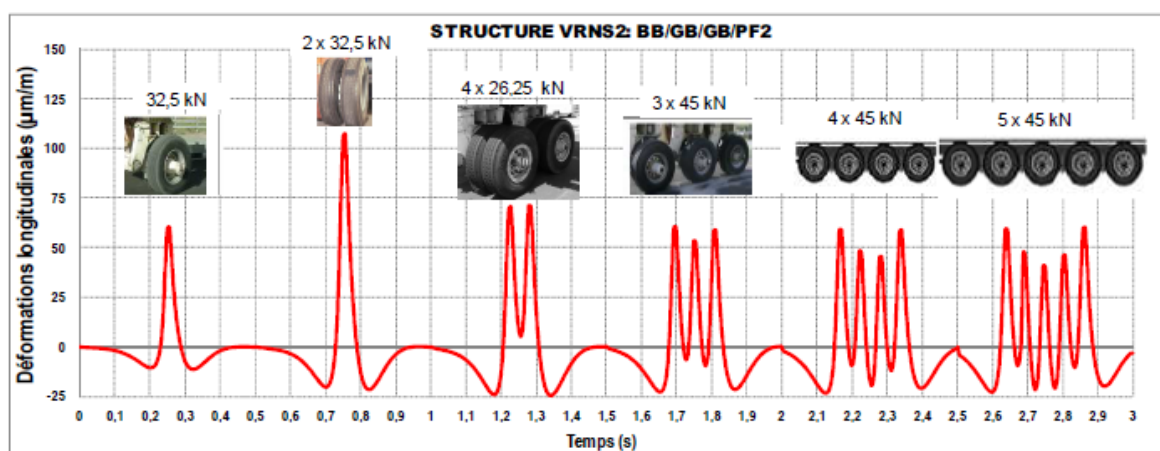
závery. Bolo by potrebné otestovať na únavových dráhach aj ďalšie kombinácie zaťažovacích zostáv a najmä vykonať experimenty až do úplného porušenia únavou.

V tejto kapitole ešte uvedieme pre ilustráciu niektoré výsledky výpočtov pretvorenia na báze asfaltových vrstiev pomocou väzko-pružných metód v práci Ambassa literatúra [1.1].

Pri štandardnom výpočte programom ALIZE sú priečne deformácie symetrické. U väzko-pružného modelu je pod tretím kolom už výrazne väčšie maximálne predĺženie.

Pri menšej rýchlosti sú pretvorenia väčšie a výraznejší je aj vplyv väzkeho správania sa asfaltovej zmesi. Obdobne je tomu pri vyššej teplote.

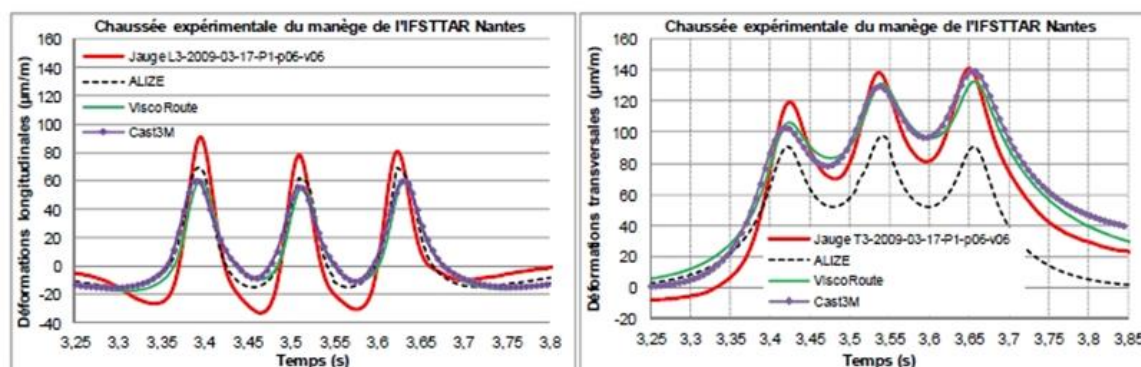
Priebehy pomerných deformácií pri prejazde vozidlom boli prevzaté z [1.1] a sú zobrazené na obrázkoch 1.3 až 1.5.



Obrázok 1.3 Syntéza pozdĺžnych deformácií pre rôzne zaťažovacie zostavy

Legenda k obrázku 1.3

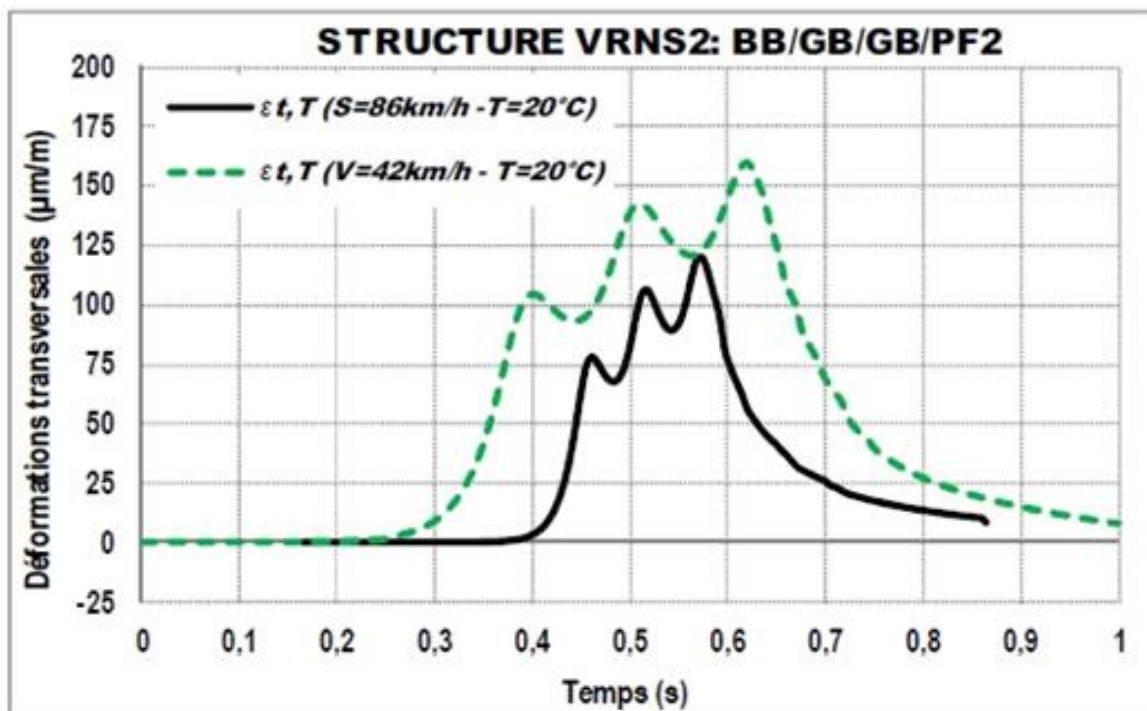
- vodorovná os čas v sekundách (Temps, sec);
- zvislá os vodorovné pomerné pretvorenie v Mirostrainoch  $\mu S - 10^{-6} m/m$  (Deformations longitudinales m/m);
- Structure skladby zaťažovacej zostavy.



Obrázok 1.4 Pozdĺžne a priečne deformácie pri prejazde tridemu namerané a vypočítané

Legenda k obrázku 1.4

- vodorovná os čas v sekundách (Temps, sec);
- Zvislá os vodorovné pomerné pretvorenie v Mirostrainoch  $\mu S - 10^{-6} m/m$  (Deformations longitudinales m/m);
- Chaussee..... Vozovky kruhovej skúšobnej dráhy v NANTES;
- Červená farba deformácie namerané;
- Ostatné farby deformácie vypočítané uvedenými programami.



Obrázok 1.5 Vplyv rýchlosti prejazdu na pomernú deformáciu u tridemu

Legenda k obrázku 1.5

- vodorovná os
- Zvislá os
- Structure

čas v sekundách (Temps, sec);

kolmé pomerné pretvorenie v Mirostrainoch  $\mu S - 10^{-6}m/m$  (Deformations transfer sales  $\mu m/m$ );  
skladby zaťažovacej zostavy.

V tabuľke na str. 127 správy [1.1], v tejto rozborovej úlohe (RÚ) je to tabuľka 1.1, je súhrnné porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt pozdĺžnych a priečných pomerných pretvorení na spodnej strane asfaltových vrstiev programom ALIZE, VISCOROUTE a nelineárnym programom metódou konečných prvkov CAST3M. Program CAST3M sa najviac priblížil nameraným hodnotám. Najmenší percentuálny rozdiel týmto programom bol u tridemu. Program je však časovo veľmi náročný a je vhodný len na výskumné účely.

To, že pri prejazde tridemu sú väčšie deformácie, než pri jednoduchej náprave, nemusí ešte znamenať, že dôjde skôr k porušeniu vozovky. Dokladajú to výsledky nedávnych výskumných prác, ktoré sa snažili zohľadniť vplyv celého priebehu pretvorenia na spodnej strane asfaltovej vrstvy pri prejazde vozidla pomocou tzv. "Dissipated energy" (Odovzdaná strata energie) – napríklad literatúra [1.1].

Tabuľka 1.1 Pozdĺžne a priečne pretvorenie pre rôzne modely  
**TABLEAU 2.8.** Comparaison des amplitudes de déformations ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) mesurées et calculées à la base de la couche de GB3 de la structure de chaussée expérimentale (6BBSG/20GB3/20GNT/PF2) de l'IFSTTAR Nantes

| Type de configuration | Signaux manèges                                            |                  | ALIZE-LCPC       |                  | ViscoRoute       |                  | Cast3M           |                  |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                       | $\epsilon_{t,L}$                                           | $\epsilon_{t,T}$ | $\epsilon_{t,L}$ | $\epsilon_{t,T}$ | $\epsilon_{t,L}$ | $\epsilon_{t,T}$ | $\epsilon_{t,L}$ | $\epsilon_{t,T}$ |
| Roue isolée           | 90,24                                                      | 110,64           | 81,62            | 81,62            | 74,04            | 93,09            | 79,94            | 98,12            |
|                       | $(\epsilon_{t,exp} - \epsilon_{t,cal}) / \epsilon_{t,exp}$ |                  | 9,55%            | 26,23%           | 17,95%           | 15,86%           | 11,41%           | 11,32%           |
| Jumelage              | 113,76                                                     | 75,36            | 103,92           | 73,92            | 98,47            | 81,10            | 98,24            | 79,62            |
|                       | $(\epsilon_{t,exp} - \epsilon_{t,cal}) / \epsilon_{t,exp}$ |                  | 8,65%            | 1,91%            | 13,44%           | -7,62%           | 13,64%           | -5,65%           |
| Tandem à roue isolée  | 84,24                                                      | 127,20           | 71,72            | 89,51            | 64,87            | 119,98           | 69,00            | 124,70           |
|                       | $(\epsilon_{t,exp} - \epsilon_{t,cal}) / \epsilon_{t,exp}$ |                  | 14,86%           | 29,63%           | 22,99%           | 5,68%            | 18,09%           | 1,97%            |
| Tridem                | 90,96                                                      | 140,88           | 68,77            | 97,39            | 60,20            | 132,05           | 60,10            | 139,40           |
|                       | $(\epsilon_{t,exp} - \epsilon_{t,cal}) / \epsilon_{t,exp}$ |                  | 24,40%           | 30,87%           | 33,82%           | 6,27%            | 33,93%           | 1,05%            |

Legenda k tabuľke 1.1

- $\epsilon_{t,L}$  pomerná deformácia pozdĺžny smer;
- $\epsilon_{t,R}$  pomerná deformácia priečny smer;
- $\epsilon_{t,exp}$  pomerná deformácia z experimentu- kruhovej dráhy;
- Signaux manège kruhová dráha v NANTES – experiment;
- ALIZE-LCPC program na výpočet deformácií vozovky;
- Visco route program na výpočet deformácií vozovky;
- Cast 3M program na výpočet deformácií vozovky;
- Rue isolée jednomontáž;
- Jumelage dvojmontáž;
- Tandem a Rue isolée dve nápravy osadené jedným kolesom;
- Tridem trojnáprava osadená balónovými pneumatikami

Termín rozptylu energie sa užíva pre nevratnú premenu energie z jednej formy na inú. Disipovaná energia pri skúškach asfaltových spojív alebo zmesí je energia prenášaná pri zaťažovaní telesa medzi častice hmoty. Už sa nemôže premeniť na energiu, z ktorej vznikla.

V práci [1.8] a v norme STN EN 12697-24, príloha D bol pre disipovanú energiu použitý termín "odovzdaná energia". V STN EN 12697-24 pre skúšky únavy sa označuje symbolom W alebo DDE (density of dissipated energy).

Namiesto klasickej rovnice únavy bol nedávno zavedený tzv. multi-lineárny model únavy Homs, literatúra [1.10]. Autori uvádzajú, že použitím multi lineárneho modelu únavy sa podarilo preukázať, že vozidlá s viacerými nápravami nemusia vyvolávať väčšie poškodenie ako bežné nákladné vozidlá, aj keď je maximálne pretvorenie na spodnej strane asfaltových vrstiev väčšie. Spôľahlivé overenie by však bolo možné len pri vykonaní porovnávacích skúšok na únavovej dráhe až do úplného porušenia. Takýto experiment by však bol veľmi nákladný.

Celkovo možno zhrnúť, že v zohľadnení účinkov dopravného zaťaženia na vozovky zostáva ešte mnoho nejasností, hoci je riešeniu tejto problematiky venovaná veľká pozornosť.

Bude zaujímavé sledovať, ako zareaguje francúzska štátna správa na výsledky nedávnych experimentov na únavovej dráhe v NANTES, na hodnotenie Kerzreho uvedené v [1.13] a na výsledky najnovších výskumných prác. Francúzska norma NF P 98-082 pre výpočet dopravného zaťaženia platí už 20 rokov. Je preto možné, že dôjde k jej novelizácii a úprave niektorých koeficientov. Rovnako bude zaujímavé, ako bude stanovené dopravné zaťaženie pre navrhovanie vozoviek riešené v novej nemeckej návrhovej metóde, ktorá má byť vypracovaná v roku 2015 tímom, ktorý vedie profesor Markus Oeser.

## 1.2 Záver

Na základe vyššie uvedeného navrhujeme ako model netuhej a polotuhej vozovky používať viacvrstvový pružný systém na pružnom pol priestore. Preukázalo sa, že väzké a plastické vlastnosti asfaltových zmesí sa veľmi ťažko charakterizujú v celej oblasti podmienok zaťažovania vozovky. Tiež chceme v rámci možností, aby sa namáhanie jednotlivých materiálov realizovalo v rámci pružnej oblasti. Nechceme na vozovke žiadne trvalé deformácie jednotlivých vrstiev vozovky ani v podloží.

## 1.3 Literatúra

- [1.1] Ambassa Zoa, Vers la modelisation du comportement a la fatigue des chaussées bitumineuses routieres sous chargement reel, 2013
- [1.2] Błażejowski K., et al, Visco-elastic analysis of typical Polish flexible Pavements using Veroad, 1996
- [1.3] Advanced Models for Analytical Design of European Pavement Structures, publikované <http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200310/amadeus.pdf>
- [1.4] Evensen R., Axle loads □ Equivalent Axles or Load Spectrum, Baltic Symposium 2008,
- [1.5] 3D MOVE, program dostupný na <http://www.arc.unr.edu/Software.html>
- [1.6] [www.pavetrack.com](http://www.pavetrack.com)
- [1.7] [www.ncat.us](http://www.ncat.us).
- [1.8] Fiedler J., et al, Optimalizácia návrhu vozoviek pozemných komunikácií, Čiastková výskumná správa projektu CIDEAS za rok 2010, 1.3.1.2-2
- [1.9] Grošek J., Navrhovanie konštrukcií vozoviek pomocou dimenzačného programu Alize, VUT Brno, 2012
- [1.10] Homs F., Balay J., Bodin D., yotta S., Breysse D., Application d'un modèle de fatigue de fatigue multilinéaire au calcul de l'agressivité du trafic routier, 2012

- [1.11] Horny P., J.P. Kerzreho, A. Chabot, D. Bodin, JM Balay & L.Deloffre, The LCPC 's ALT facility contribution to pavement cracking knowledge
- [1.12] Chabot A., Chupin O., Deloffre L., Duhamel D., Viscoroute 2.0: a tool for the simulation of moving load effects on asphalt pavement, 2009
- [1.13] Kerzreho JP, Horny P., Chabot A., Trichet S., Gouy T., Coirier G., Deloffre L., Evaluation of the Aggressiveness of Different Multi-Axle Loads using APT Tests, 2012
- [1.14] Kokot D., Gašpar L., Recommendation for traffic Equivalency factors, Spens, 2009
- [1.15] La Roche Ch., Odeon H., Simoncelli JP, Spagnol A., Study of Fatigue of Asphalt Mixes Using the Circular Tests Track of the LCPC in Nantes France,
- [1.16] Marchart B., Ein neuer Ansatz zur Berücksichtigung der massgeblichen Verkehrsbelastung, 2013
- [1.17] Rabe, R. : Pavements under permanent stress, 2008
- [1.18] Smith B., Diefenderfer EFENDERFER B., Development of Truck Equivalent Single-Axle Load (Esala) Factors Based on Weigh-in-Motion Data for Pavement Design in Virginia, 2009
- [1.19] Timm D. Priest A., METHODOLOGY AND CALIBRATION OF FATIGUE TRANSFER FUNCTIONS FOR MECHANISTIC-EMPIRICAL FLEXIBLE Pavement DESIGN, 2006
- [1.20] Wang H., Al-QUAD I, Huft D., Pavement-Dependent Load Limits: Case Study in South Dakota for Different Tire Configurations, 2014
- [1.21] Yusoff N., Modelling the Linear Viscoelastic Rheological Properties of Bituminous Binders, 2012
- [1.22] NCAT. Kruhová skúšobná dráha v štáte Alabama dostupné [www.pavetrack.com](http://www.pavetrack.com)

## **2. Analýza konštrukčných a technických požiadaviek**

### **2.1 Všeobecne**

Vozovky rozdeľujeme na:

- tuhé vozovky;
- polotuhé vozovky;
- netuhé vozovky.

Konštrukciu netuhej a polotuhej vozovky tvoria vrstvy vozovky a podložie.

Funkčné zoradenie vrstiev netuhej vozovky je:

- vrstva (-y) krytu vozovky;
- nosná vrstva (-y) vozovky;
- ochranná vrstva vozovky;
- podložie.

Kryt sa rozdeľuje na:

- obrusnú vrstvu krytu;
- ložnú vrstvu krytu.

Nosné vrstvy možno rozdeliť na:

- hornú podkladovú vrstvu;
- spodnú podkladovú vrstvu.
- 

### **2.2 Konštrukčné požiadavky**

Je účelné navrhovať skladbu vozovky tak, aby sa tuhosť vrstiev postupne od podložia zväčšovala, pričom pomer modulov pružnosti susediacich vrstiev pri netuhej a polotuhej vozovke by nemal byť väčší ako 1:10. Toto je vhodné z hľadiska mechaniky vozoviek a využitia jednotlivých vrstiev mechanickej účinnosti vrstiev. Tento pomer nemusí byť dodržaný, ale v tom prípade nebude vozovka optimálne navrhnutá. Hrúbky vrstiev konštrukcie vozovky sú obmedzené použitou technológiou pri pokládke.

Hutnené a liate asfaltové zmesi na vrstvy asfaltových vozoviek sa vyberajú s ohľadom na triedu dopravného zaťaženia vozovky. Odporúčané kombinácie zmesí podľa ich kvality a vlastností a hrúbky vrstiev v súlade so súborom noriem STN EN a Katalógových listov asfaltových zmesí (KLAZ 1/2010 a Dodatok č. 1/2015 ku KLAZ 1/2010).

### **2.3 Technické požiadavky**

V skladbe konštrukcií asfaltových vozoviek sa štandardne uplatňujú materiály s postupom výroby a vlastnosťami podľa harmonizovaných technických noriem STN, TP, TKP a KL.

Všetky použité materiály musia byť stavebnými výrobkami a musia mať vyhlásenie o parametroch v zmysle nariadenia EP a Rady EÚ č. 305/2011 a zákona č. 133/2013 Z. z.

Na vyhlásení o parametroch výrobca deklaruje podstatné vlastnosti výrobku (asfaltovej zmesi), z ktorej sa postaví vrstva vozovky. Bolo by vhodné, aby sa zvýšila spoľahlivosť vozovky. Cesta k tomuto cieľu vedie využitím konkrétnych hodnôt parametrov, deformačných, pevnostných, únavových atď., ktoré výrobca stavebného výrobku s vysokou pravdepodobnosťou zaručuje vo svojom vyhlásení o parametroch.

Konkrétne pri asfaltových zmesiach je to modul tuhosti, únavové charakteristiky a tepelná vodivosť.

Predpokladá sa, že všetky materiály majú fyzikálne vlastnosti požadované a definované v technických normách.

Charakteristiky prostredia, vodný režim podložia, index mrazu, analýzy vodnotepelného režimu vozoviek a kritériá na zamedzenie premrzania zeminy v podloží sa stanovujú zvyčajne z inžiniersko – geologického prieskumu.

Nemecko má rozdelenú krajinu na tri zóny namrzavosť. Stanovenie najmenej požadovanej hrúbky vozovky je možné na základe týchto údajov:

- skupiny zeminy z hľadiska namrzavosť;
- zóny vplyvu mrazu, v ktorej sa vozovka nachádza;
- nepriaznivé klimatické podmienky;
- nepriaznivý vodný režim v podloží;
- vozovka v záreze alebo v násype;
- odvodnenie prostredníctvom krajnice a spádových pomerov.

V Nemecku majú stanovený index mrazu od 100 °C.deň do 580 °C.deň a rozdelenie zemín podľa namrzavosť je uvedené v tabuľke 2.1, literatúra [2.1].

Tabuľka 2.1 Rozdelenie zemín podľa namrzavosť

| Skupina | Druh zeminy                                | Označenie zeminy podľa normy       |
|---------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| F1      | Málo citlivé zeminy na mráz (mrazuvzdorné) | GW, GI, GE SW, SI, SE              |
| F2      | Stredne citlivé zeminy na mráz             | TA, OT, OH, OK, ST, GT, SU, GU     |
| F3      | Veľmi citlivé zeminy na mráz               | TL, TM, UL, UM, OU, ST, GT, SU, GU |

## 2.4 Literatúra

- [2.1] Thomas Plehm Frostsicherung und Tragfähigkeit, In: Einführungskolloquium RStO 12, 25. april 2013 in Köln

### 3. Dopravné zaťaženie

#### 3.1 Poznatky zo zahraničia

Dopravné zaťaženie sa tradične vyjadrovalo tak, že sa počet ťažkých nákladných vozidiel prevádzal na počet prejazdov návrhovej nápravy ESALA (Equivalent Single Axle Load) pomocou rôznych prevodných koeficientov, pozri napríklad [3.1].

V anglickej literatúre sa pre koeficient prevodu zaťaženie nápravy na návrhovú nápravu často používa označenie LEF (Load Equivalency Factor). Rôzne vzorce pre prepočet približne zodpovedajú prevodu štvrtou mocninou pomeru síl pôsobiacich na nápravu. Štvrtá mocnina sa používa aj v anglickom predpise [3.2].

Naproti tomu v slovenskej a francúzskej návrhovej metóde sa používa pre prepočet síl piata mocnina. To penalizuje vyššie zaťaženie na nápravu.

Súčtom LEF pre jednotlivé nápravy sa môže stanoviť koeficient účinnosti vozidla, označovaný ako TF (Truck Factor) alebo "vehicle Esala Factor". Je to obdoba súčiniteľa C5 v slovenskej návrhovej metóde TP 3/2009 [3.3] pre rôzne typy vozidiel.

Vo Francúzsku sa pre prevod celkového počtu vozidiel v návrhovom období na počet návrhových náprav používa koeficient označený CAM ("coefficient d'agressivité moyenne"). Jeho hodnoty sú uvedené v prílohe C normy NF P98-086 [3.4]. Sú odlišné pre diaľnice, ostatné komunikácie v extraviláne a pre vozovky v mestskom prostredí. Jeho hodnoty boli stanovené na základe vyhodnotenia sčítania a váženia vozidiel na rôznych komunikáciách. Koeficient zahŕňa v sebe skladbu vozidiel v dopravnom prúde, aj to, že vozidlá sú rôzne zaťažené. Hodnoty CAM pre asfaltové vozovky stanovené v norme sú od 0,1 do 0,8. Prepočítacie koeficienty sú teda menšie ako koeficienty používané pri prepočte v českej alebo slovenskej návrhovej metóde. Je to dané hlavne tým, že sa vzťahujú k návrhovej náprave používanej vo Francúzsku a tým, že vo Francúzsku sa prepočítavajú nápravy piatou mocninou. Prípustná náprava je vo Francúzsku 130 kN.

Pre prevádzku diaľničného charakteru (diaľnice a hlavné komunikácie, kde je podiel nákladnej dopravy väčší ako 10 %) je vo Francúzsku normová hodnota CAM = 0,8. Po prevode na nápravu 100 kN je to:

$$CAM_{100} = (130/100)^5 \times CAM_{130} = 3,71 \times 0,8 = 2,97 \quad (3.1)$$

Pri prevode len štvrtou mocninou by bol prepočtový koeficient  $0,8 \times 2,85 = 2,28$ . Aj tak by to bolo vyššie ako v slovenskej metóde, kde je odporúčaný koeficient vyťaženia vozidiel pre diaľnice C3 = 0,65 a C5 = 2,0 takže  $C3 \times C5 = 1,3$ .

Porovnávanie priemerných hodnôt v predpisoch sa však môže líšiť od porovnania pre konkrétne dopravné zaťaženie na určitom úseku. Koeficient CAM možno stanoviť z váženia vozidiel postupom podľa normy NF P 98-082 z roku 1994 [3.5].

Pri prepočte zaťaženia na návrhovú nápravu sa pre asfaltové vozovky používa vzťah:

$$A = K (P_i/P_{ref})^4 \quad (3.2)$$

kde:

$P_{ref}$  je zaťaženie na referenčnú nápravu;

$K$  koeficient druhu nápravy. Pre jednoduchú nápravu je 1,0 pre tandem 0,75 a pre tridem 1,1.

Ilustratívny porovnávaci výpočet počtu návrhových náprav českou a francúzskou metódou je v diplomovej práci [3.6], kde je aj podrobné vysvetlenie hlavných rozdielov predpokladov oboch návrhových metód. Pre údaje zo sčítania dopravy podľa údajov v databáze ŘSD a jednoduchého váženia cca 2 000 ťažkých nákladných vozidiel na úseku R1 pri Brne bol v [3.6] vypočítaný CAM130 len 0,31 (miesto 0,8 podľa francúzskej normy). Z toho bolo CAM100 = 1,16.

V niektorých krajinách sa používa podrobnejšie členenie vozidiel do skupín. Americká agentúra FHWA klasifikuje vozidlá do 13 skupín. Pre návrh vozovky sa ale používajú len triedy 4 až 13.

V poslednom desaťročí sa používajú pre váženie vozidiel systémy WIM (weight in motion), ktorými možno získať podrobné štatistické údaje o rozdelení zaťaženia na nápravách rôznych typov nákladných vozidiel. Z nich možno potom spoľahlivejšie stanoviť reprezentatívne hodnoty zaťaženia, ktoré môžu byť uvedené v manuáloch pre navrhovanie vozoviek. Pretože sa počas rokov menil vozový park a zaťaženie vozidiel, boli upravované aj prevodné koeficienty. Napríklad v [3.7] je popísané, ako v štáte Virginia boli na základe meraní WIM na 15 lokalitách upravené priemerné koeficienty stanovené začiatkom deväťdesiatych rokov minulého storočia. Napríklad pre diaľničnú dopravu sa namiesto pôvodných  $TF = 0,37$  pre samostatné vozidlo a  $TF = 1,28$  pre vozidlá s návesmi, hodnoty zmenili na  $TF = 0,46$  a  $TF = 1,05$ . Iné koeficienty sú pre ostatné komunikácie.

Aj v Rakúsku došlo nedávno k úprave koeficientov vyjadrujúcich vplyv rôznych typov vozidiel. Podrobne je to popísané v doktorandskej práci [3.8]. Následne to bolo v roku 2014 zavedené do návrhu novej rakúskej návrhovej metódy.

V Európe sa problematike účinkov dopravného zaťaženia venoval v minulosti rad výskumných prác - napríklad v európskom projekte SPENS [3.9]. Pri ňom sa na základe výsledkov meraní účinkov švédskeho simulátora dopravy HVS-Nordic (Heavy Vehicle Simulator) na 4 skúšobných úsekoch stanovili prepočítacie koeficienty pre výpočet ESALA pre jednu nápravu. Pohybovali sa od 1,95 do 3,62.

V rozsiahlej práci [Perret et al, 2004] sa na základe výsledkov meraní na skúšobnej dráhe zistilo, že zvýšenie zaťaženia z 80 kN na 118 kN (t. j. o 44 %) zodpovedalo pri jednej náprave zvýšeniu vodorovného pretvorenia na spodnej strane asfaltových vrstiev:

- o 5 % pri vozovke s hrúbkou asfaltových vrstiev 100 mm;
- o 20 % pri vozovke s hrúbkou asfaltových vrstiev 170 mm.

Pri prepočte podľa vzorca pre výpočet medzného počtu pojazdov podľa českého TP 170 by zvýšenie pretvorenia o 20 % zodpovedalo zvýšeniu počtu pojazdov o/na 2,49 násobok.

Americká návrhová metóda MEPDG z roku 2004 zaviedla používanie tzv. Spektra zaťaženia. Ide o rozdelenie početnosti zaťaženia na nápravy pri jednotlivých typoch vozidiel. Tie možno potom použiť na výpočet účinkov dopravného zaťaženia bez prevodu na Esala tak, že sa stanoví účinok od jednotlivých zaťažení a tie sa potom spočítajú. Podrobnosti o určení dopravného zaťaženia pre návrh vozovky možno nájsť v manuáli metódy MEPDG na stránke [3.10].

Porovnanie výhod a nevýhod využívania ESALA a spektra zaťaženia je uvedené napríklad v prezentácii [3.11].

V posledných rokoch sa problematike účinkov dopravného zaťaženia venuje zvýšená pozornosť. Súvisí to so zavedením nových typov nákladných vozidiel a pneumatík s iným dotykovým tlakom až 0,950 kPa. Výrobcovia vozidiel a dopravcov vyvíjajú tlak na štátnu správu na zvýšenie povolených zaťažení na nápravu. To by dopravcom umožnilo prepraviť viac tovaru a znížiť náklady na prevádzku, vďaka menšej spotrebe paliva. Argumentuje sa aj znížením emisií a ochranou životného prostredia. Je to popísané napríklad v [3.12] alebo [3.13]. Preto je dôležité, aby účinky rôznych ťažkých vozidiel na vozovku sa správne hodnotili.

### 3.2 Zhrnutie a záver

V zahraničí aj u nás sa všetky nápravy nákladných vozidiel, ktoré zaťažujú vozovku, prepočítavajú na návrhovú nápravu v zahraničí ESALA (Equivalent Single Axle Load).

Vo väčšine krajín sa jedná o nápravu s ťažou 100 kN. Táto náprava sa používa aj v krajinách, kde už prípustná náprava má ťaž 130 kN u nás je to 115 kN.

Na prepočet účinku vozidiel na návrhovú nápravu sa podoba ako u nás používajú koeficienty. U nás je to C1 až C5, samozrejme v každej krajine majú rozdielne označenie. Ako nové možno považovať faktor vplyvu druhu pneumatiky a faktor skupiny náprav.

Z hľadiska zásad navrhovania sa nemenia tieto základné princípy:

- 100 kN návrhová náprava;

- 115 kN prípustná tiaž na nápravu (navrhujeme na jedno rázové zaťaženie počítat aj s tiažou 130 kN);
- návrhové obdobie, i keď sa nedefinuje v norme ale v našej návrhovej metóde, je 20 rokov pre netuhú vozovku. Túto hodnotu považujeme za nízku.

### 3.3 Literatúra

- [3.1] <http://www.pavementinteractive.org/article/equivalent-single-axle-load>
- [3.2] HD 24/06 TRAFFIC ASSESSMENT
- [3.3] TP 3/2009 – Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek, MDPT SR: 2009
- [3.4] NF P98-086 Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves, Octobre 2011
- [3.5] NF P 98-082 Dimensionnement des chaussées routières
- [3.6] Grošek J., Navrhování konstrukcí vozovek pomocí dimenzačního programu Alize, VUT Brno, 2012
- [3.7] Smith B., Diefenderfer EFENDERFER B., Development of Truck Equivalent Single-Axle Load (ESAL) Factors Based on Weigh-in-Motion Data for Pavement Design in Virginia, 2009
- [3.8] Marchart B., Ein neuer Ansatz zur Berücksichtigung der massgeblichen Verkehrsbelastung, 2013
- [3.9] Gaspár L., Recommendation for traffic equivalency factors, SPENS, 2009
- [3.10] <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/home.htm>.
- [3.11] Evensen R., Axle loads; Equivalent Axles or Load Spectrum, Baltic Symposium 2008
- [3.12] Kerzreho J.P., Hornych P., Chabot A., Trichet S., Gouy T., Coirier G., Deloffre L., Evaluation of the Aggressiveness of Different Multi-Axle Loads using APT Tests, 2012
- [3.13] Wang H., Al-Quadi I, Huft D., Pavement-Dependent Load Limits: Case Study in South Dakota for Different Tire Configurations, 2014

## 4. Návrhové metódy

### 4.1 Mechanic-Empirical Pavement Design Guide MEPDG

Americká metóda MEPDG z roku 2004 pri posudzovaní vozovky na únavu asfaltových vrstiev nepoužíva parametre z laboratórnych skúšok únavy, ale vychádza z tzv. prenosovej funkcie, odvodennej zo skúšok na únavových dráhach a z pozorovania správania sa vozoviek. Väčšina štátov v USA však metódu MEPDG doteraz neprijala, hoci pre ňu existuje výpočtový softvér "AASHTOWare Pavement", ktorý je propagovaný na webovej stránke AASHTO. Štáty stále používajú rôzne vlastné, väčšinou empirické metódy, s ktorými majú dlhoročné skúsenosti. Najviac sa doteraz používa metodika AASHTO z roku 1993 založená na štruktúrnych číslach.

Dôvodom je pravdepodobne to, že MEPDG je zbytočne zložitý a tým vzbudzuje u projektantov nedôveru. Navyše sú v ňom niektoré veci sporné. Zhrnutie súčasnej situácie v zavádzaní MEPDG a používanie návrhových metód v USA je v správe [4.1].

Pre posúdenie vozovky na únavu sa v MEPDG používa empirický vzorec závislosti počtu cyklov do porušenia na pretvorenie asfaltovej vrstvy a na jej tuhosti.

V manuáli MEPDG je vzorec pre posúdenie vozovky na únavové trhliny šíriace sa zdola v kapitole 3 literatúry [4.2]:

$$N_f = k_1 \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{k_2} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{k_3} \quad (4.1)$$

Pre koeficient  $k_1$  je v manuáli uvedený vzorec. Hodnoty parametrov  $k_2$  a  $k_3$  sú:

- $k_2 = 3,949$ ;
- $k_3 = 1,281$ .

Z počtu cyklov do porušenia za uvažovaných podmienok sa potom pomocou MINE-ROVEJ hypotézy vypočítava pomerné porušenie

$$D = \sum_i^T \frac{n_i}{N_i} \quad (4.2)$$

kde:

- D je pomerné porušenie (poškodenie) – damage;
- T celkový počet skúmaných období;
- $n_i$  predpokladaný počet cyklov v období i;
- $N_i$  prípustný počet cyklov v období i.

Minerova hypotéza sa používa vo všetkých tu opísaných návrhových metódach pre jej jednoduchosť. Ako pre iné materiály, tak pre asfaltové zmesi bolo však dokázané, že poradie zaťažovacích stavov má vplyv na veľkosť kumulovaného poškodenia.

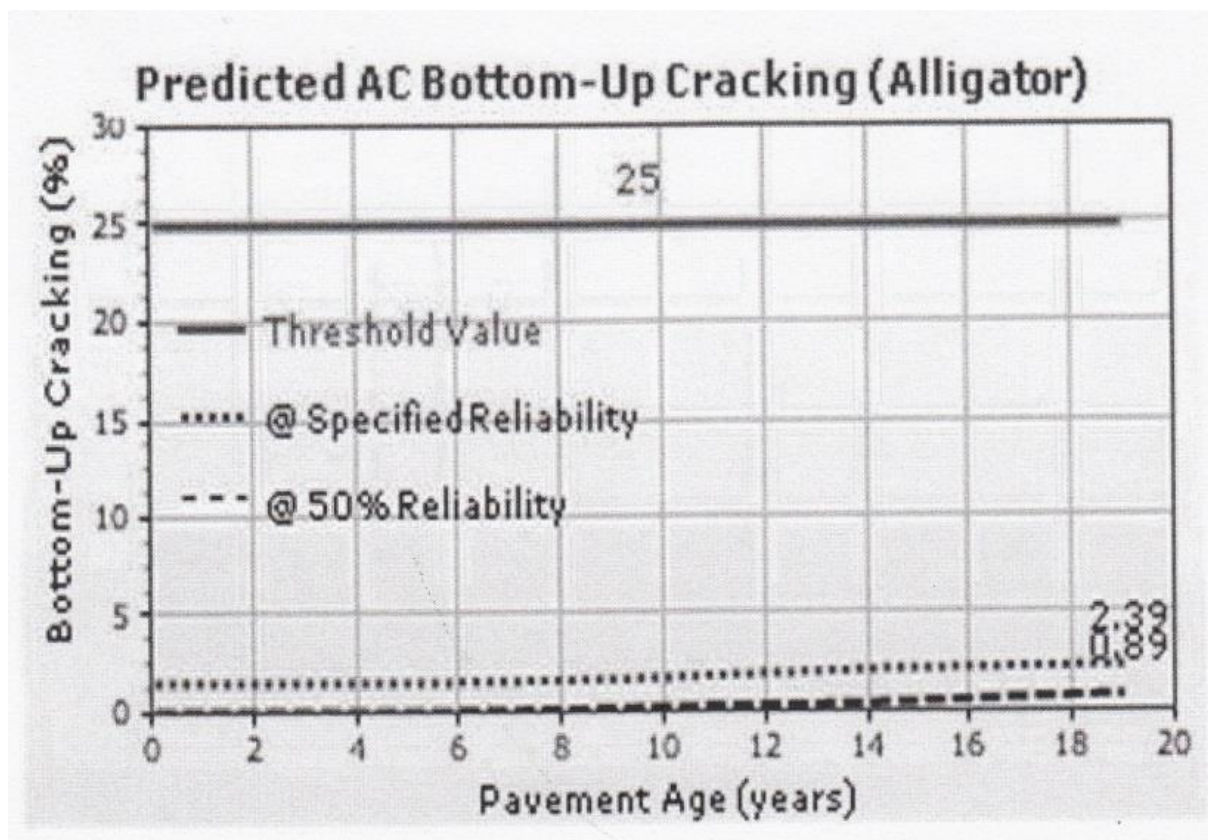
Napríklad v [4.3] je to ilustrované na obrázku 9 citovanej práce. Keďže skutočné rozdelenie rôznych zaťažovacích stavov vo vozovke, rovnako ako prestávky medzi nimi nie je možné vopred stanoviť, je nutné tieto vplyvy zohľadniť vo veľkosti opravného koeficientu medzi laboratórnymi výsledkami a správaním vozovky.

Vypočítané poškodenia  $D$  sa potom podľa vzorca v časti 3.3.68 Manuálu MEPDG [4.2] prevádzajú na percento porušenej plochy. Výstupom z počítača je závislosť percentuálneho rastu porušenej plochy (fatigue cracking) trhlinami šíriacimi sa zdola nahor  $FC_{bottom}$  v celom uvažovanom návrhovom období pre zvolenú pravdepodobnosť porušenia.

Okrem porušenia únavou sa posudzuje aj vývoj trvalých deformácií povrchu vozovky, nerovnosti vozovky (index IRI) atď. Podrobnosti možno nájsť v Manuáli MEPDG [4.2].

Príklad výstupu z počítača v metóde MEPDG prevzatý z práce [4.1] je na obrázkoch 4.1 a 4.2. Na obrázku 4.1 je vývoj únavových trhlín. Vozovka má veľkú bezpečnosť proti porušeniu únavou, pretože po 19 rokoch má byť pri spoľahlivosti 50 % porušené len 0,89 % plochy. Pre projektantom špecifikovanú väčšiu spoľahlivosť potom 2,4 % plochy. Inak je tomu u trvalých deformácií. Pri 50 % spoľahlivosti má byť prípustná limitná hodnota 0,75 inčov dosiahnutá až po 19 rokoch, ale pri väčšej požadovanej spoľahlivosti prognózy vychádza, že limitná hodnota môže byť dosiahnutá už po 12 rokoch. Ak by to bolo považované za neprijateľne krátku dobu, musel by byť návrh vozovky upravený tak, aby sa limitná hodnota dosiahla s predpísanou spoľahlivosťou až napríklad po 20 rokoch.

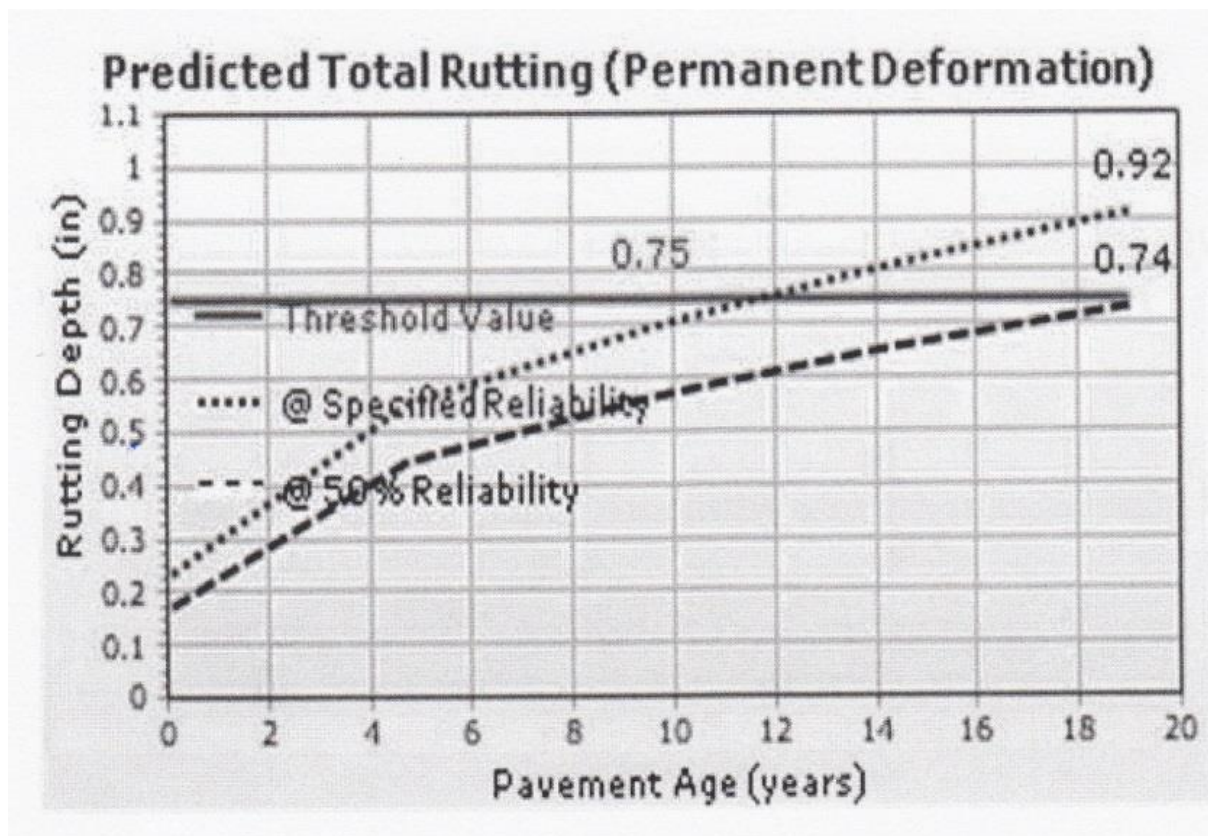
V Manuáli MEPDG sa odporúča pre diaľnice úroveň spoľahlivosti 95 %, pre hlavné komunikácie 90 % a pre miestne komunikácie 75 %.



Obrázok 4.1 Príklad výstupu MEPDG - posúdenie na únavu [4.1]. Predpokladaná tvorba sieťových trhlín vo vrstve AC

*Legenda k obrázku 4.1*

- |                            |                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| - Pavement Age             | vek vozovky (roky);                                               |
| - Bottom-Up Craking        | sieťové trhlíny v % plochy na spodnej a vrchnej strane vrstvy AC; |
| - Threshold Value          | hraničná hodnota;                                                 |
| - @ Speciefied Reliability | špecifická spoľahlivosť;                                          |
| - @ 50% Reliability        | 50% spoľahlivosť.                                                 |



Obrázok 4.2 Príklad výstupu MEPDG - vývoj trvalých deformácií povrchu vozovky [4.1]

Legenda k obrázku 4.2

- |                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| - Pavement Age            | vek vozovky (roky);           |
| - Rutting Depth           | hlbka kolají v palcoch (inch) |
| - Threshold Value         | hraničná hodnota;             |
| - @ Specified Reliability | špecifická spoľahlivosť;      |
| - @ 50% Reliability       | 50% spoľahlivosť.             |

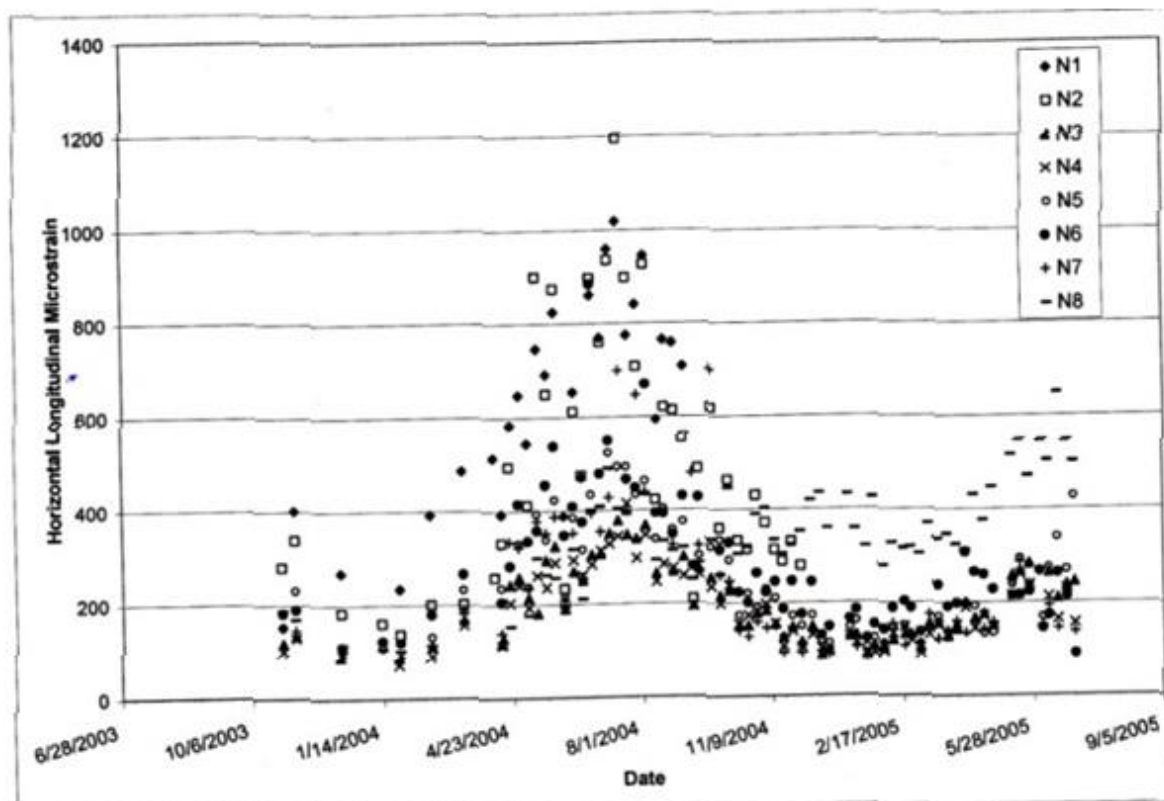
Pri experimentoch na únavovej dráhe NCAT popísaných v [4.4] bolo hodnotených správanie sa 8 rôznych sekcií. Sekcia N1 a N2 mala hrúbku asfaltových vrstiev 12 cm. Pri týchto vozovkách došlo k porušeniu únavovým trhlinami. Ostatné vozovky mali väčšiu hrúbku asfaltových vrstiev, takže v sledovanom období k ich porušeniu únavou nedošlo. Jediný rozdiel v skladbe vozoviek v sekciách N1 a N2 bol v tom, že v N1 bola v podkladovej vrstve zmes s cestným asfaltom (PG 67-22) a v N2 rovnaká zmes s modifikovaným asfaltom (PG 76-22).

Najprv bol pre posudzovanie únavy použitý upravený vzorec amerického ASPHALT INSITUTE:

$$N_f = 0,0795 \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{3,29} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{0,854} \quad (4.3)$$

Na základe analýzy vývoja trhlín a merania deformácií na báze asfaltových vrstiev v sekciách N1 a N2 bol vzorec upravený. Závislosť meraných predĺžení na teplote je na ob-

rázku 4.3. Je vidieť, že v letnom období roku 2004 bolo predĺženie niekoľko násobne väčšie ako v zime 2004 a 2005.



**Figure 5.10 Seasonal Trends in Longitudinal Strain Data.**

Obrázok 4.3 Sezónne zmeny pozdĺžnych pretvorení počas experimentu [4.4].

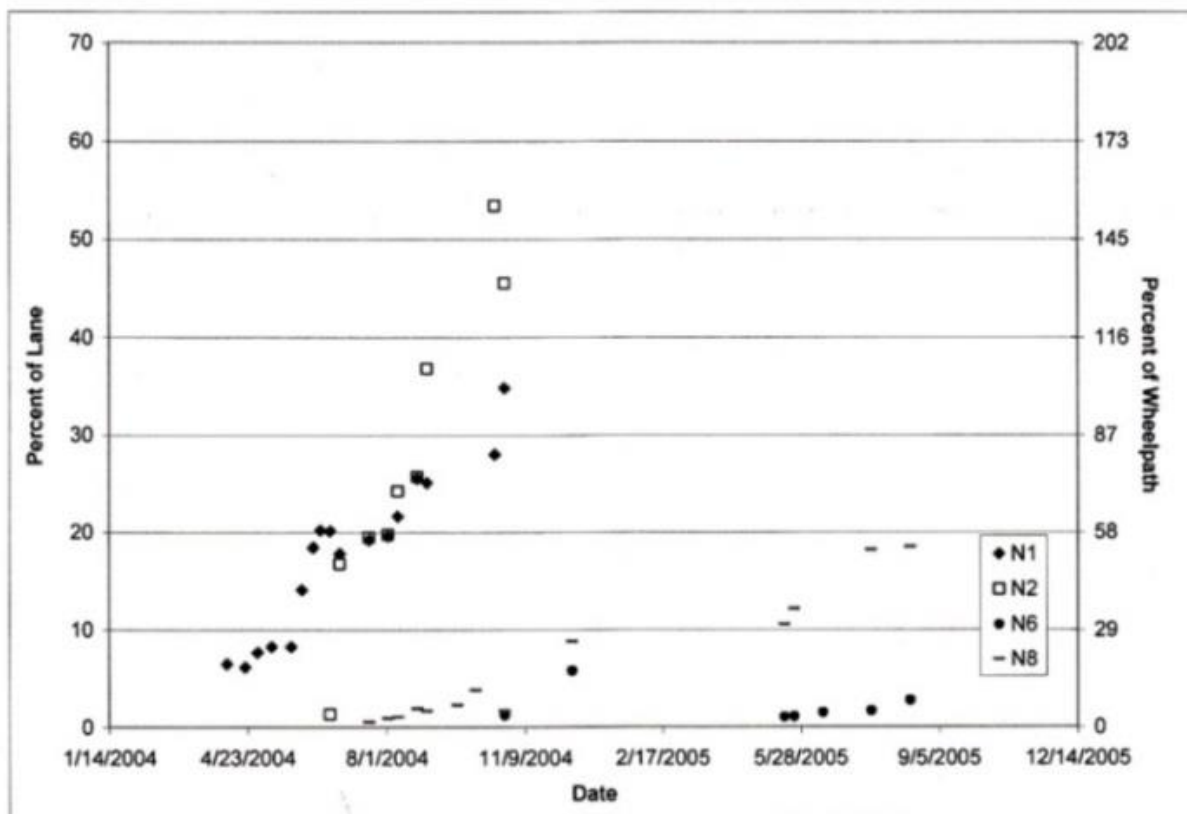
Legenda k obrázku 4.3

- Date dátum;  
- Horizontal longitudinal... vodorovné pozdĺžne pomerné pretvorenie v Mirostrainoch  $\square S - 10^{-6} \text{m/m}$ .

Z fotografií a záznamov o trhlinách na strane 70 až 73 citovanej správy je vidieť, že sa jednalo o priečne trhliny, čo zodpovedalo tomu, že pozdĺžne pretvorenie na spodnej strane asfaltových vrstiev bolo väčšie ako priečne.

Starostlivé sledovanie vývoja trhlín umožnilo spracovať graf závislosti percentuálneho porušenia plochy zaťažovaných úsekov v závislosti na čase. Za porušenie vozovky sa považoval okamih, kedy boli trhliny na 20 % celej plochy. Porušenie len v jazdnej ploche bolo cca 58 %. Ak by sa použil pre počet cyklov do porušenia empirický vzorec amerického ASPHALT INSTITUTE (v ktorom je  $k_2 = 3,29$  a  $k_3 = 0,854$ ), malo by k porušeniu vozovky N1 dôjsť už v marci 2003 a vozovky N2 v apríli 2004. Pritom vozovka N1 sa porušila až v júni 2004 a vozovka N2 v auguste 2004.

Ďalej boli spracované grafy závislostí modulov tuhosti asfaltových zmesí na teplote.



**Figure 5.25 Percent Fatigue Cracking by Date.**

Obrázok 4.4 Vývoj únavových trhlin v percentách plochy úsekov [4.4]

Legenda k obrázku 4.4

- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| - Date                 | dátum;                  |
| - Percent of Lane      | percento z dĺžky;       |
| - Percent of Wheelpath | percent z jednej stopy. |

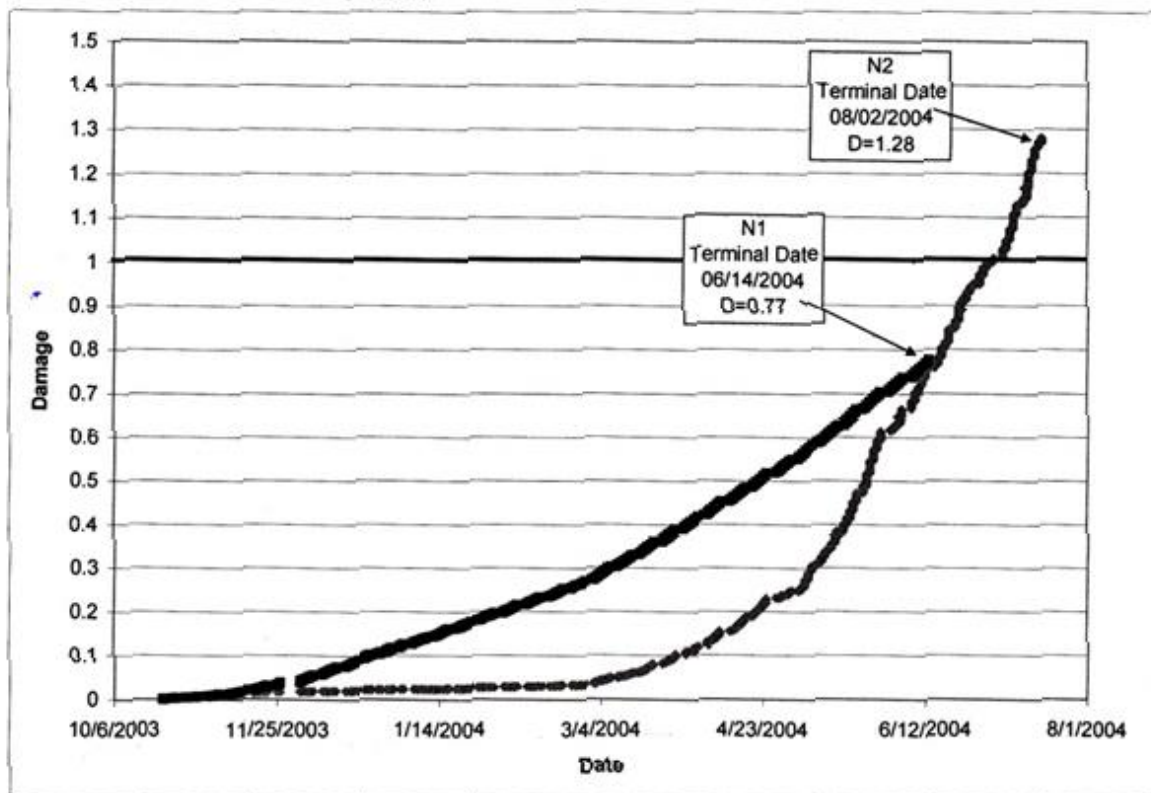
Pri oprave vzorca pre porušenie únavou bol použitý nasledujúci postup.

Pre každú hodinu experimentu počas dvojročného obdobia bola v databáze uvedená zistená teplota vozovky, modul tuhosti asfaltových zmesí, namerané pretvorenie na spodnej strane vrstvy a počet pojazdov vozidiel počas tejto hodiny. To umožnilo pre každú hodinu vypočítať pomerné porušenie vozovky podľa pôvodne uvažovaného vzorca. Tieto porušenia sa sčítavali podľa MINEROV-ej hypotézy. Pretože vypočítané pomerné poškodenie (DAMAGE) pri dosiahnutí porušenia na 20 % plochy nebolo rovné jednej, bol vzorec pre porušenie únavou iteratívne upravovaný. Nakoniec sa týmto spôsobom došlo k vzorcu:

$$N_f = 0,4875 \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{3,0312} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{0,6529} \quad (4.4)$$

Napriek tomu sa relatívne poškodenie vypočítané podľa upraveného vzorca pri dosiahnutí 20 % porušenej plochy odlišovalo od hodnoty 1. Priebeh relatívneho poškodenia oboch sekcií je na obrázku 4.5. Podľa vzorca v [4.4] bolo v momente 20 % trhlin vo vozovke pomernej poškodenia v sekcii N1  $D = 0,77$  a v sekcii N2 bolo  $D = 1,28$ . Je vidieť, že k poru-

šovaniu sekcie s PMB začalo podstatne neskôr ako u sekcie N1. Potom však poškodenie rástlo rýchlejšie, takže 50 % porušenej plochy sa dosiahlo o 2 mesiace neskôr než u sekcie N1.



**Figure 6.2 Damage Accumulation for Sections N1 and N2.**

Obrázok 4.5 Priebeh relatívneho poškodenie vozovky [4.4]

Legenda k obrázku 4.5

- Date

- Damage

dátum;

poškodenie – poruchy.

Zaujímavé je, že sa autori nepokúsili spracovať odlišný vzorec pre sekciu N2, kde boli použité modifikované asfalty. Zrejme je to preto, že v metóde MEPDG z roku 2004 sa nerozlišuje medzi zmesami s modifikovanými a nemodifikovanými asfaltmi. Pri tak sofistikovanej metóde, akou je MEPDG, je to dosť zarážajúce. Zmesi s PMB majú o niekoľko rokov dlhšiu únavovú životnosť, toto bolo poukázané na základe hodnotenia vozoviek v programe LTPP v práci [4.5]. Je to komentované aj v našom príspevku na AV 13 [4.6].

V súhrnnej správe o experimentoch na NCAT v rokoch 2009 - 2012 [4.7] je aj porovnanie predpovedaného správania metódou MEPDG so skutočnosťou. Na str. 121 správy sa konštatuje, že celkovo boli predpovede nepresné. V záveroch správy na str. 171 sa uvádza, že u oboch sekcií, ktoré sa mali podľa MEPDG porušiť po 10 miliónoch ESALA sa ani po 30 miliónoch ESALA neobjavili žiadne únavové trhliny. To dokazuje, že ani použitie veľmi sofistikovanej návrhovej metódy, ktorá bola ciachovaná podľa rôznych experimentov a sprá-

vania vozoviek v rámci programu LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE (LTPP) nie je zárukou spoľahlivosti správnej predpovede.

Aktuálne informácie o aplikácii údajov z LTPP pre MEPDG z roku 2013 sú na internete - webová stránka americkej agentúry FHWA [4.8].

## 4.2 Rakúska návrhová metóda

Katalóg vozoviek v RVS 03.08.63 "Oberbaubemessung" bol vypracovaný na základe výpočtov metódou navrhnutou vo výskumnej správe [4.9], ktorá na internete nie je dostupná. Možno však nájsť niekoľko článkov o tejto metóde [4.10], [4.11], [4.12], z ktorých je možné si o jej princípoch urobiť predstavu. Postup výpočtu je dobre viditeľný hlavne z rozsiahleho znaleckého posudku prof. Blaba [4.10] z roku 2006, kde je touto metódou posúdená konkrétna vozovka, vrátane rizika vzniku trhlín za nízkych teplôt.

Kalendárny rok sa podľa rakúskej metódy rozdelí na 6 návrhových období. Každé obdobie začína v polovici mesiaca.

Obdobia sú:

1. december - marec;
2. marec - máj;
3. máj – jún;
4. jún – september,
5. september – október;
6. október – december.

Pre každé návrhové obdobie boli odvodené z meteorologických údajov a z riešenia prestupu tepla vozovkou metódou konečných diferencií [4.13], priemerné denné a nočné teploty vo vrstvách vozovky. Počíta sa teda celkom 12 rôznych teplotných stavov vozovky (vo francúzskej metóde sa uvažuje len jedna priemerná teplota, t. j. 15 °C).

Z hlavných kriviek modulov pružnosti ("master curve") jednotlivých asfaltových vrstiev sú pre každý zvažovaný prípad vypočítané moduly pružnosti. Pre tieto moduly sa vypočítajú programom pre lineárne pružný vrstevnatý polopriestor pre každý prípad, vodorovná pomerná deformácia alebo napätia na spodnej strane asfaltových vrstiev.

Prof. Litzka [4.9] uvádza vzorec pre povolený počet návrhových náprav:

$$N_{zul} = k_1(T) \times \left( \frac{E_{dyn}(T)}{\sigma_v} \right)^{k_2(T)} \quad (4.5)$$

kde:

$E_{dyn}(T)$  je modul pružnosti pre uvažovanú teplotu T;

$\sigma_v$  vodorovné napätie na spodnej strane asfaltových vrstiev.

V posudku prof. Blaba [4.11] sa z laboratórnej skúšky na prístroji 4PB, vykonanej pri 20 °C, stanovili koeficienty  $k_1$  a  $k_2$  vo vzorci pre povolený počet pojazdov pri teplote 20 °C:

$$N_{zul} = k_1 \times \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{k_2} \quad (4.6)$$

Pre inú teplotu sa na stanovenie koeficientov  $k_1$  a  $k_2$  použil vzorec navrhnutý v roku 1975 v správe FHWA v USA. V rovnakom tvare je vzorec v práci [4.12].

Pre nestmelené vrstvy a podložia sa uvažovali hodnoty modulov pružnosti odlišne pre obdobie:

1. december - marec,
2. marec - máj,
3. máj - jún,
4. jún - december

Modul nestmelenej spodnej podkladovej vrstvy sa uvažoval dvojnásobný než modul podložia. Modul hornej nestmelenej podkladovej vrstvy bol vyšší ako spodnej podkladovej vrstvy.

Vypočítal sa priemer relatívnych poškodení asfaltových vrstiev po jednom zaťažení návrhovej nápravy 100 kN v každom období. Z nich sa určilo priemerné poškodenie jedným zaťažením návrhovou nápravou za celé návrhové obdobie (tzv. "Mittlere Schädigung pre Lastwechsel"). Jeho prevrátená hodnota je potom prípustný počet zaťažení návrhovou nápravou tzv. "Zulässige Bemessungsnormlastwechsel" BNLW. Hodnota musí byť väčšia ako počet návrhových náprav stanovených z prognózy dopravného zaťaženia postupom uvedeným RVS 03.08.63. "Oberbaubemessung" [4.14].

Na základe výsledkov výskumného projektu OBESTO bol marci 2014 vypracovaný návrh na úpravu rakúskej návrhovej metódy. Je to podrobne popísané v publikácii prof. Blaba [4.15]. V nej sa uvádza, že návrh úprav bol odovzdaný komisii, ktorá má prepracovať smernicu RVS 03.08.63. Základné princípy metódy zostali rovnaké, ale došlo k významným zmenám. Má byť umožnené použiť únavové vlastnosti zo skúšky 4PB, ale musí sa to redukovať koeficientom bezpečnosti, ktorý závisí na veľkosti nameraného  $\varepsilon_6$  (pozri strana 88 citovanej správy [4.15]).

V porovnaní so slovenskou alebo francúzskou návrhovou metódou, rakúska metóda lepšie vystihuje rozdielne pôsobenie dopravného zaťaženia počas roka. Je však diskutabilné, nakoľko môže empirický vzťah medzi teplotou a únavovými charakteristikami asfaltových zmesí, navrhnutý pred mnohými rokmi v USA, byť platný pre všetky druhy asfaltových zmesí. Možno predpokladať, že vplyv teploty bude iný pri zmesiach s vyššou tuhosťou alebo v prípade zmesí, v ktorých je použité modifikované asfaltové spojivo.

#### 4.3 Nemecká návrhová metóda

V Nemecku bol až do roku 2009 v Manuáli pre navrhovanie vozoviek RStO 01 len katalóg konštrukcií. Nový predpis RDO Asphalt 2009 bol vydaný spoločnosťou FGSV. Na internete nie je dostupný. Základné princípy sú však popísané v rôznych prezentáciách na seminároch v SRN - napríklad [4.16].

Prípustný počet cyklov do porušenia makro - trhlinami sa určí zo vzorca:

$$zul\ N = \frac{SF \times a \times \varepsilon^k}{F} \quad (4.7)$$

kde:

$zul\ N$  je počet dovolených opakovaní návrhovou nápravou;

$a, k$  koeficienty stanovené z únavovej skúšky;

$SF$  opravný koeficient pre rozdiel medzi laboratórnymi výsledkami namáhania a namáhaním vozovky na komunikácií („shift factor“);

$F$  stupeň bezpečnosti, ktorý sa pre asfaltové zmesi uvažuje hodnotou  $F=2,1$ .

Opravný koeficient sa pre parametre z únavovej skúšky v priečnom ťahu uvažuje  $SF = 1500$ .

Výpočet sa vykonáva pre rôzne teploty a zaťažovacie stavy. Celkovo sa má analyzovať 143 zaťažovacích prípadov. Návrhové priebehy teplôt sú v Manuáli metódy uvedené. Moduly pružnosti sa použijú pre príslušnú teplotu. Čiastkové poškodenia sa sčítajú podľa MINEROVEJ hypotézy. Manuál obsahuje aj príklady výpočtov. Informácie o tejto návrhovej metóde sú napríklad v [4.17].

V roku 2012 bol vydaný nový katalóg vozoviek RStO 12. Informácie o ňom sú v prezentácii [4.18]. Rozdiely medzi novým a starým katalógom sú v prezentácii [4.19]. Návrh kompletného textu predpisu "RStO 12" v stave z roku 2011 je na [4.20].

Na seminári o európskych metódach navrhovania netuhých vozoviek v L'ubľane v roku 2012 bola tiež prezentácia o princípoch RDO 09 a RStO 12 [4.21].

V súčasnej dobe sa v Nemecku rieši výskumná úloha, ktorú vedie profesor Oeser z RWTH Aachen, na základe ktorého má byť RDO Asphalt 09 v roku 2015 prepracovaný. Má byť zavedený pravdepodobnostný prístup a zrejme aj možnosť použitia metódy konečných prvkov. Je to uvedené v literatúre [4.22]. Bližšie informácie neboli zatiaľ o tomto projekte publikované.

Vplyv zmeny vlastností asfaltových zmesí na teoretickú životnosť vozovky bol komentovaný v článku [4.10]. Porovnanie hlavných rozdielov medzi francúzskou, nemeckou metódou a MEPDG je napríklad v prezentácii [4.23].

#### 4.4 Záver

Všetky uvedené návrhové metódy vychádzajú pri posudzovaní z pomerných deformácií v asfaltových vrstvách, a z únavových charakteristík asfaltových zmesí a z ďalších kritérií.

#### 4.5 Literatúra

- [4.1] Timm D., Robbins M., Tran N., Rodezno C., Flexible pavement design – state of the practice, 2014
- [4.2] MEDPDG, [http://onlinepubs.trb.org/pubs/archive/mepdg/Part3\\_Chapter3\\_Flexible%20Design.pdf](http://onlinepubs.trb.org/pubs/archive/mepdg/Part3_Chapter3_Flexible%20Design.pdf) online-
- [4.3] Weise Ch., Auswirkungen von Lastpausen und Heilung auf die Ermüdungseigenschaften von Asphaltgemischen, Gestrata, Marz 2012
- [4.4] Timm D., Priest A., Methodology and calibration of fatigue transfer functions for mechanistic-empirical flexible pavement design, 2006
- [4.5] Quintus H.L., Quantification of Effect of Polymer Modified Asphalt on Flexible Pavement Performance],
- [4.6] Mondschein P., Fiedler J., Žák J., Poznámky k únavovým vlastnostem asfaltových směsí a k navrhování vozovek. Sborník konference Asfaltové vozovky 2013.
- [4.7] West R., et al, Phase IV NCAT Pavement Test Track Findings, 2012
- [4.8] <http://www.fhwa.dot.gov/research/tfhrc/programs/infrastructure/pavements/ltppl/>.
- [4.9] Litzka J., et al, Modifikation der Österreichischer Methode zur Dimensionierung des Strassenoberbaues, Heft 465, 1996
- [4.10] Wistuba M., et al, Ableitung von maßgebenden Temperaturverteilungen für die analytische Oberbaubemessung von Asphaltstrassen, Strasse und Autobahn, 2003,
- [4.11] Blab R., et al, Vergleichende Beurteilung des Gebrauchverhaltens von flexiblen Oberbaukonstruktionen, Gutachtliche Stellungnahme, 2006
- [4.12] Hauser E., Asphaltkonstruktionen für hoch belastete Verkehrsflächen, Gestrata, Juli 2008
- [4.13] Wistuba M., Walther A., Mollenhauer K., Unvermeidliche Schwankungen in den Asphalteigenschaften und ihre Auswirkung auf die Lebensdauerprognose der Straße, Strasse und Autobahn 5/2014
- [4.14] RVS 03.08.63. "Oberbaubemessung
- [4.15] Blab R., et al, Implementierung des GVO und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenoberbauten , OBESTO, 2014
- [4.16] Wellner F., Vorstellung der Richtlinie für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt), 2010

- [4.17] Groenniger J., Walther A., Dimensionierung: Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen – Prüfverfahren und Kennwerte zur Dimensionierung, Strasse und Autobahn 11/2011
- [4.18] Schellenberger M., Erfahrung oder Performance – Zukunftsdiskussion über das Technische Regelwerk Asphalt, 2014
- [4.19] Täube A., Die RStO 12 - Änderungen für die Asphaltbauweise, 2013
- [4.20] [http://www.aapaq.org/g/2012st/doc/REF/G03\\_Guidelines\\_for\\_the\\_standardization\\_of\\_the\\_superstructure\\_RStO-Entwurf.pdf](http://www.aapaq.org/g/2012st/doc/REF/G03_Guidelines_for_the_standardization_of_the_superstructure_RStO-Entwurf.pdf)
- [4.21] Jahnig J., Current Practice in Flexible Pavement Design – GERMANY, Flexible Pavement Design Workshop, Ljubljana 2012
- [4.22] <http://www.fgsv.de/1735.html>
- [4.23] Bressi S., Parametres de performance dans les methodes de dimensionnement, 2012

## 5. Posudzovanie nestmelených vrstiev a podložia vozovky

### 5.1 Poznatky zo zahraničia

Vozovky je potrebné navrhnuť tak, aby nedošlo k nadmerným deformáciám nestmelených vrstiev a podložia. K tomu sa používajú rôzne metódy. Ich popis a zhodnotenie je možné nájsť v dvoch príspevkoch z konferencie v Brne v roku 2014 [5.1] a [5.2], kde sú aj odkazy na literatúru. Preto sú v tomto texte informácie obsiahnuté v citovaných článkoch popísané len veľmi stručne. Tie sú doplnené aj niektorými ďalšími údajmi k problematike.

Pri posudzovaní trvalých deformácií podložia sa často postupuje zjednodušene tak, že sa vychádza z vertikálneho pružného stlačenia na povrchu podložia  $\varepsilon_z$ . Tak je to napríklad vo francúzskej, českej alebo austrálskej metóde. Kritériá uvádzané v literatúre vedú k značne odlišným výsledkom. Podrobnosti sú v citovaných článkoch z konferencie v Brne.

Pomerné pružné stlačenie podložia je najväčšie na jeho povrchu. Potom plynule klesá. Preto bolo niektorými autormi navrhnuté posudzovanie trvalej deformácie vozovky zo vzťahu pre sumu pomerného pružného pretvorenia podložia do určitej hĺbky, alebo z priehybu na podložie. Tým sa zohľadní vplyv pretvorenia vo všetkých vrstvách podložia.

V českej a francúzskej metóde sa neprihliada na to, že stlačenie podložia sa počas roka mení. V slovenskej metóde sa posudzuje stav počas jarného odmäku. Zmeny sú spôsobené ako vplyvom zmeny modulu pružnosti podložia, tak aj tým, že sa mení zvislé napätie pôsobiace na podložie. V lete, keď je tuhosť asfaltových vrstiev menšia, sa napätie od zaťaženia dopravou menej roznáša, takže napätie na podloží rastie. V rakúskej metóde sa uvažuje so zmenami modulu pružnosti podložia počas roka.

V nemeckej metóde sa vypočíta dovolené namáhanie na povrchu podložia zo vzorca, v ktorom je modul deformácie (pretvárnosti) z druhého zaťažovacieho cyklu statickej zaťažovacej skúšky  $E_{def2}$ , predpokladaný počet prejazdov návrhovej nápravy a redukčný koeficient  $\gamma$  (Sicherheitsfaktor).

V americkej návrhovej metóde MEPDG sa postupuje tak, že sa trvalá deformácia jednotlivých vrstiev vozovky určí zo vzťahu medzi pružným pretvorením a počtom cyklov.

Vzorec pre nestmelené vrstvy a podložie má všeobecný tvar:

$$\delta_a = \beta_1 \varepsilon_v h (\varepsilon_0 / \varepsilon_r) e^{-(\rho/N)^\beta} \quad (5.1)$$

kde:

$\delta_a$  je stlačenie vrstvy (podvrstvy) po N cykloch zaťaženia;

|                              |                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta_1$                    | korelačný koeficient charakterizujúci zmenu namáhania a správania sa medzi laboratórnymi výsledkami a namáhaním a správaním sa materiálov vrstiev vo vozovke komunikácie; |
| $\varepsilon_v$              | relatívna pomerná zvislá deformácia - stlačenie v posudzovanej vrstve vozovky od zaťaženia návrhovej nápravy;                                                             |
| $\varepsilon_r$              | relatívna pomerná zvislá deformácia - stlačenie pri laboratórnej skúške;                                                                                                  |
| $\varepsilon_0, \beta, \rho$ | koeficienty stanovené z laboratórnych skúšok opakovaným zaťažovaním;                                                                                                      |
| $h$                          | hrúbka vrstvy.                                                                                                                                                            |

Celková trvalá deformácia povrchu vozovky je súčet trvalých deformácií všetkých vrstiev v čiastkových návrhových obdobiach. Program počíta deformácie po jednotlivých mesiacoch a vynáša celkovú deformáciu v závislosti na čase. Celková deformácia za návrhové obdobie sa porovná s prípustnou deformáciou vozovky stanovenou projektantom.

Veľký rozptyl pri výpočtoch deformácie pre podložia vedie k otázke, či je komplikovaný postup uvedený v MEPDG pre praktické použitie opodstatnený. Koeficient  $\beta$  by mal byť upresňovaný na základe ďalších meraní na vozovkách či experimentoch na únavových dráhach. Stanovenie koeficientov pre MEPDG pre AC, nestmelené vrstvy a podložie z rozsiahlych experimentov na únavovej dráhe je napríklad v [5.3]. Pri overovaní metódy MEPDG v rôznych amerických štátoch boli zistené významné rozdiely medzi predpokladom a skutočnosťou.

Zhrnutie metód a vzorcov pre stanovenie modulov pružnosti podložia a nestmelených vrstiev používaných v USA je napríklad v správe [5.4] z roku 2008. Je však zjavné, že postupy vyžadujúce pre posúdenie podložia z nestmelených vrstiev, nákladné laboratórne skúšky a zložité výpočty, nie sú zatiaľ v bežnej praxi použiteľné. Nezostáva teda než naďalej používať silne zjednodušené empirické metódy zavedené už pred desiatkami rokov. Zaujímavé budú výsledky prebiehajúceho 3 ročného výskumného programu financovaného FHWA [Sivaneswaran]. Ten má na základe predchádzajúcich amerických experimentov navrhnúť nové kritérium pre predpoveď trvalých deformácií podložia pre návrh vozovky. Záverečná správa úlohy FHWA bola publikovaná v decembri 2014.

Nestmelené materiály sa pri navrhovaní vozoviek zvyčajne charakterizujú iba konštantnou hodnotou návrhového modulu pružnosti (a koeficientom priečneho roztiahnutia). V skutočnosti sú deformačné vlastnosti nestmelených materiálov podstatne zložitejšie. Deformácie vznikajú nelineárne na napätí. Modul pružnosti a nárast plastických deformácií pri opakovanom zaťažovaní preto závisí nielen na uľahlosti a vlhkosti, ale aj na stave napätosti. Opakovaným zaťažovaním dochádza ku kumulácii trvalých deformácií. Laboratórnymi skúškami bolo zistené, že trvalé deformácie najprv pribúdajú pomerne rýchlo s počtom cyklov,

potom sa ich nárast spomalí a ďalej prebiehajú zväčša konštantnou rýchlosťou. Až po veľkom počte cyklov sa rast trvalých deformácií začne znova zrýchľovať.

Pri vozovkách pre veľké dopravné zaťaženie s hrubými asfaltovými vrstvami nie je posudzovanie deformácií nestmelených vrstiev potrebné, pretože napätia v nich sú už príliš malé na to, aby viedli k významnejším trvalým deformáciám. Trvalé deformácie sú len malou časťou pružných deformácií. Môže dôjsť aj k tomu, že po určitom počte cyklov už trvalé deformácie ďalej nerastú.

Pri vozovkách s malou hrúbkou asfaltového krytu sú v nestmelených vrstvách pomerne veľké napätia (najmä v letnom období, keď je tuhosť asfaltového krytu menšia a zvislé napätie od dopravy sa menej roznáša). V niektorých prípadoch potom môžu byť trvalé deformácie nestmelených vrstiev významné.

Vlastnosťami nestmelených materiálov sa podrobne zaoberala napríklad doktorandská práca [5.5]. V nej sa na str. 137 uvádza, že pri vozovkách triedy zaťaženia Bauklasse V, ktoré majú hrúbku asfaltových vrstiev 120 mm až 140 mm, môže dochádzať k trvalým deformáciám nestmelených vrstiev už pri teplote cca 25 °C.

Vo Francúzsku sa pre posudzovanie nestmelených vrstiev používa empirický vzorec uvedený v NF P 98-086 [5.6]:

$$\varepsilon_{z,adm} = 0,012 \times (NE)^{-0,222} \quad (5.2)$$

kde:

$\varepsilon_{z,adm}$  je dovoľená zvislá pomerná deformácia na povrchu nestmelenej vrstvy;

$NE$  počet návrhových náprav 130 kN.

Správanie podložia a nestmelených vrstiev je ovplyvnené tiež pri premfzaní a následkom odmäku. To ilustrujú napríklad výsledky meraní napätí a pretvorení vrstiev vozovky a podložia experimentálnych vozoviek v [5.7]. Posudzovania premfzania podložia v návrhových metódach sa líšia. V českej návrhovej metóde je len zjednodušený postup stanovovania minimálnej hrúbky nenamfzavých vrstiev z mrazového indexu, vodného režimu a návrhovej úrovne porušenia. Vo francúzskej metóde je pomerne zložitý spôsob výpočtu, ktorý je však uľahčený programom ALIZE. Porovnávací výpočet medzi oboma metódami je v diplomovej práci [5.8].

## 5.2 Literatúra

- [5.1] Fiedler J., Bureš P., Posuzování podloží při navrhování vozovek analytickými metodami, Konference Podkladní vrstvy a podloží vozovek, Brno, listopad 2014
- [5.2] Fiedler J., Posuzování vlastností nestmelených vrstev v návrhových metodách, Konference Podkladní vrstvy a podloží vozovek, Brno, listopad 2014
- [5.3] Henry K., et al, Structural Improvements of Flexible Pavements using Geosynthetics for Base Course Reinforcement, ERDC/CRREL TR-09-11, 2009
- [5.4] Estimating Stiffness of Subgrade and Unbound Materials for Pavement Design, NCHRP synthesis 382, 2008
- [5.5] Numrich R., Modellierung des nichtlinear-elastischen Verformungsverhaltens von Tragschichten ohne Bindemittel, Dissertation, 2003
- [5.6] NF P98-086 Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves, Octobre 2011
- [5.7] Yi J., Doré G., Bilodeau J., Prophete F., Monitoring the structural behaviour variation of a flexible pavement structure during freeze and thaw, 2014
- [5.8] Grošek J., Navrhování konstrukcí vozovek pomocí dimenzačního programu Alize, VUT Brno, 2012

## 6. Vplyv materiálov asfaltových zmesí na spoľahlivosť vrstiev vozovky – projekt APVV

### 6.1 Úvod

Vplyv materiálov asfaltových zmesí na spoľahlivosť vrstiev vozovky je názov projektu, ktorý bol riešený za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja pod evidenčným číslom projektu APVV-067-10. Zodpovedný riešiteľ projektu bol Ing. Vladimír Říkovský, CSc., a organizácia VUIS-CESTY spol. s r. o., Lamačská cesta 8, 811 04 Bratislava. Začiatok riešenia projektu bol máj 2011, koniec riešenia projektu júl 2014.

### 6.2 Všeobecne

V rámci riešenia sa skúšali funkčné vlastnosti asfaltového betónu, označované ako **AC**, ktorý spĺňal požiadavky STN EN 13108-1 a asfaltový betón typ **AC VMT**, ktorý spĺňal požiadavky predpisu MDVRR SR - TKP časť 38 *Asfaltové zmesi s vysokým modulom tuhosti*.

Modul tuhosti bol skúšaný podľa metódy B normy STN EN 12697-26 štvorbodová skúška ohybom na skúšobných vzorkách tvaru hranola. Podmienky skúšania (frekvenciu a teplotu) pre asfaltový betón stanovuje norma STN EN 13108-20 v tabuľke D3, frekvencia  $f=8$  Hz, pomerná deformácia  $\varepsilon = 50 \mu S$  a teplota podľa  $\Theta = 20^\circ C$ . Norma používa pre pomernú deformáciu symbol  $\mu S$  Mikrostrain ( $\mu strain$ ), čo zodpovedá  $10^{-6}$ .

Únavové charakteristiky sme skúšali podľa metódy D normy STN EN 12697-24 štvorbodová skúška ohybom na skúšobných vzorkách tvaru hranola pri podmienkach stanovených normou STN EN 13108-20, frekvencia bola  $f = 30$  Hz, a teplota  $\Theta = 20^\circ C$  pre zadanú pomernú deformáciu  $\varepsilon$ .

### 6.3 Receptúry z asfaltového betónu rôzneho zloženia a z hľadiska kameniva a spojiva

Celkove boli navrhnuté a odskúšané na funkčné vlastnosti tieto asfaltové zmesi:

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| AS-001 | AC 11 O 50/70             |
| AS-002 | AC 11 O 50/70             |
| AS-004 | AC 11 O PMB 65/105-65     |
| AS-006 | AC 11 O PMB 45/80-75      |
| AS-008 | AC 11 O 50/70; II         |
| AS-009 | AC 8 O 50/70, II          |
| AS-010 | AC 11 O 50/70; II         |
| AS-011 | AC 11 O 50/70, II         |
| AS-012 | AC 11 O 50/70+T           |
| AS-013 | AC 11 obrus 50/70, II, Ru |
| AS-014 | AC 16 L PMB 65/105-55     |
| AS-015 | AC 16 L PMB 45/80-75, I   |

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| AS-018 | AC 11 O 70/100            |
| AS-019 | AC 11 O 50/70             |
| AS-020 | AC 11 O 35/50             |
| AS-021 | AC 11 O 20/30             |
| AS-022 | AC 11 O PMB 45/80-65      |
| AS-023 | AC 11 O PMB 10/40-65      |
| AS-024 | AC 11 O PMB 25/55-65      |
| AS-027 | AC 22 L PMB 10/40-65; VMT |
| AS-028 | AC 22 L PMB10/40-65;VMT   |
| AS-031 | AC 11 O 50/70             |
| AS-032 | AC 8 O 50/70              |
| AS-033 | AC 16 O 50/70             |

V tabuľke 6.1 uvádzame 3 vybrané receptúry asfaltových zmesí s modifikovaným spojivom PMB pre obrusnú, ložnú aj podkladovú vrstvu a jednu receptúru s najviac používaným cestným asfaltom 50/70 pre obrusnú vrstvu.

Okrem receptúr sa uvádzajú v tabuľke 6.1 aj výsledky funkčných skúšok uvedených asfaltových zmesí, zaručený modul tuhosti  $S_{min}$  a charakteristiky únavy: pomernú deformáciu pri životnosti 1 milión namáhání  $\epsilon_6$  a sklon únavovej čiary  $p$ .

## 6.4 Funkčné vlastnosti asfaltového betónu pre rôzne druhy kameniva, odlišujúce sa čiarou zrnitosti a zložením

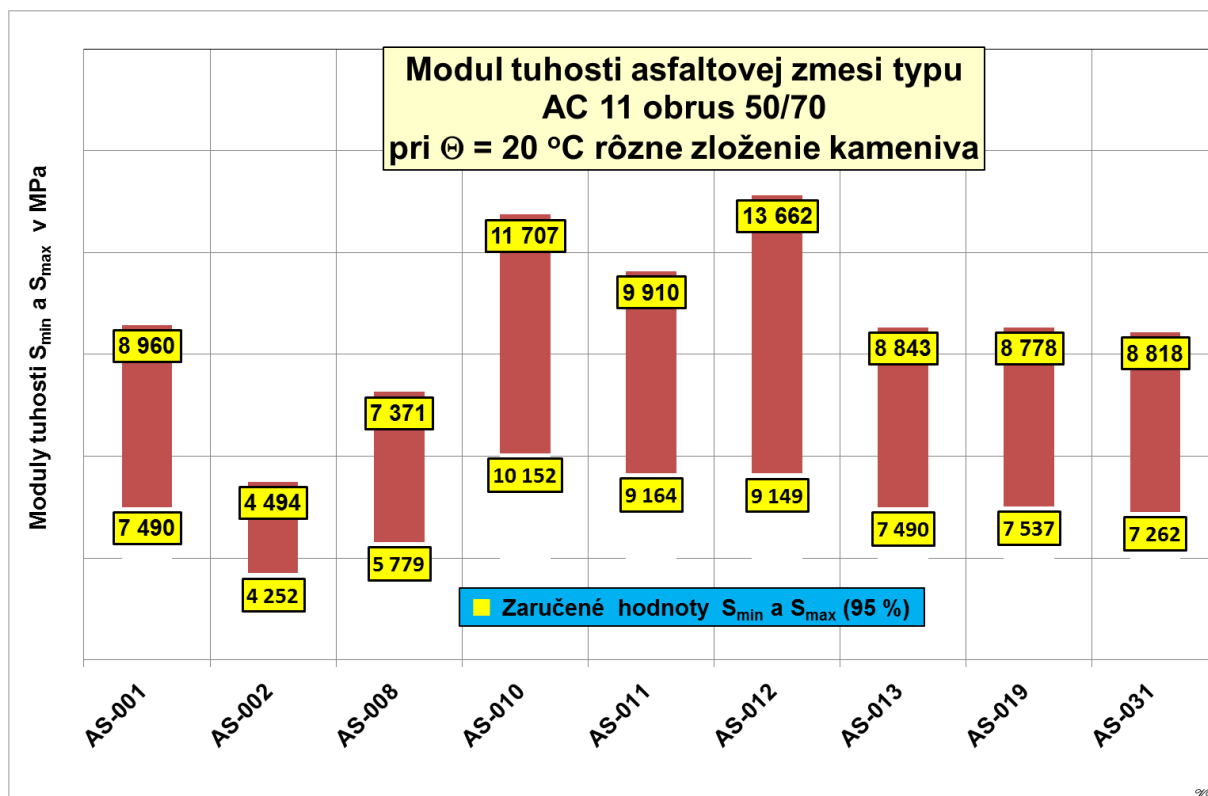
### 6.4.1 Modul tuhosti

Na stanovenie vplyvu čiary zrnitosti na tuhosť asfaltovej zmesi sme si vybrali zmes AC 11 obrus 50/70, odlišujúcu sa len čiarou zrnitosti a zložením kameniva. Odkúšali sme 9 asfaltových zmesí, na ktorých sme stanovili tuhosť  $S_{min}$  a  $S_{max}$  s 95 % pravdepodobnosťou. Výsledky sú zobrazené na obrázku 6.1. Z výsledkov skúšok vyplýva malý vplyv čiary zrnitosti na modul tuhosti. Vplyv najväčšieho použitého zrna „D“ v kamenive do asfaltovej zmesi sme overovali na troch druhoch asfaltovej zmesi s hodnotami  $D = 8, 11$  a  $16$  mm.

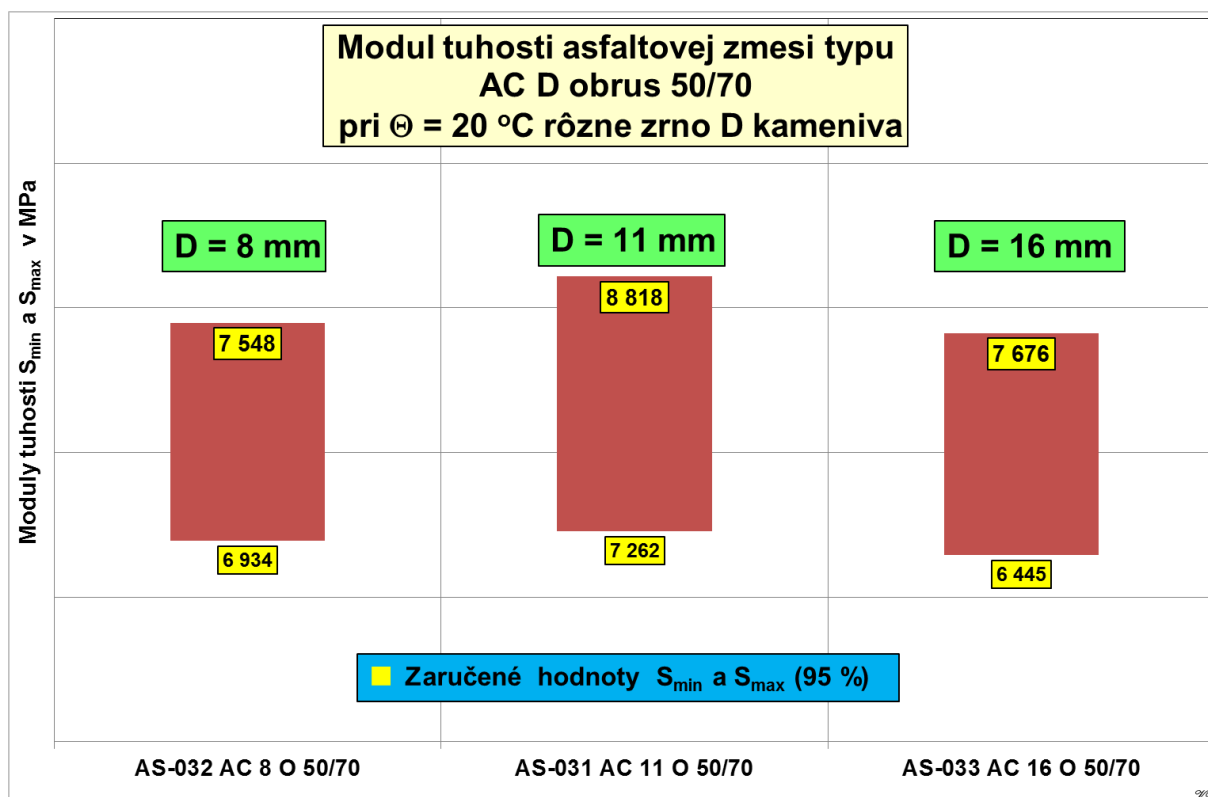
Tabuľka 6.1 Výsledky funkčných skúšok

|                 |              |        |                                |                            |        |     |
|-----------------|--------------|--------|--------------------------------|----------------------------|--------|-----|
| Číslo zmesi     | AS-006       |        | Označenie                      | AC 11 obrusná PMB 45/80-75 |        |     |
| Receptúra       |              |        | Výsledky funkčných vlastností  |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 8/11         | 22,6%  | Tuhosť                         |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 4/8          | 19,0%  | Modul tuhosti pri teplote 20°C | S <sub>min</sub>           | 5 450  | MPa |
| Hrubé kamenivo  | 2/4          | 14,2%  | Únavové charakteristiky        |                            |        |     |
| Drobné kamenivo | 0/2          | 33,2%  | Pomerná deformácia pri 1 mil.  | ε <sub>6</sub>             | 239,81 | μS  |
| Kamenná múčka   |              | 5,6%   | Sklon únavovej čiary           | p                          | -6,11  | -   |
| Obsah asfaltu   | PMB 45/80-75 | 5,4%   |                                |                            |        |     |
| Číslo zmesi     | AS-015       |        | Označenie                      | AC 16 ložná PMB 45/80-75   |        |     |
| Receptúra       |              |        | Výsledky funkčných vlastností  |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 8/16         | 38,3%  | Tuhosť                         |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 4/8          | 10,0%  | Modul tuhosti pri teplote 20°C | S <sub>min</sub>           | 5 779  | MPa |
| Hrubé kamenivo  | 2/4          | 12,5%  | Únavové charakteristiky        |                            |        |     |
| Drobné kamenivo | 0/2          | 30,2%  | Pomerná deformácia pri 1 mil.  | ε <sub>6</sub>             | 200,97 | μS  |
| Kamenná múčka   |              | 4,8%   | Sklon únavovej čiary           | p                          | -5,66  | -   |
| Obsah asfaltu   | PMB 45/80-75 | 4,2%   |                                |                            |        |     |
| Číslo zmesi     | AS-027       |        | Označenie                      | AC 22 podklad PMB 10/40-65 |        |     |
| Receptúra       |              |        | Výsledky funkčných vlastností  |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 11/22        | 13,0%  | Tuhosť                         |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 8/16         | 27,0%  | Modul tuhosti                  | S <sub>min</sub>           | 10 153 | MPa |
| Hrubé kamenivo  | 4/8          | 23,0%  | Únavové charakteristiky        |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 2/4          | 11,0%  | Pomerná deformácia pri 1 mil.  | ε <sub>6</sub>             | 185,61 | μS  |
| Drobné kamenivo | 0/2          | 16,2%  | Sklon únavovej čiary           | p                          | -4,46  | -   |
| Kamenná múčka   |              | 5,0%   |                                |                            |        |     |
| Obsah asfaltu   | PMB 10/40-65 | 4,8%   |                                |                            |        |     |
| Číslo zmesi     | AS-001       |        | Označenie                      | AC 11 obrusná 50/70        |        |     |
| Receptúra       |              |        | Výsledky funkčných vlastností  |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 8/11         | 24,90% | Tuhosť                         |                            |        |     |
| Hrubé kamenivo  | 4/8          | 23,00% | Modul tuhosti                  | S <sub>min</sub>           | 7 490  | MPa |
| Hrubé kamenivo  | 2/4          | 12,20% | Únavové charakteristiky        |                            |        |     |
| Drobné kamenivo | 0/2          | 30,00% | Pomerná deformácia pri 1 mil.  | ε <sub>6</sub>             | 113,03 | μS  |
| Kamenná múčka   |              | 4,4%   | Sklon únavovej čiary           | p                          | -5,41  | -   |
| Obsah asfaltu   | 50/70        | 5,5%   |                                |                            |        |     |

Výsledky skúšok modulu tuhosti  $S_{min}$  a  $S_{max}$  boli stanovené s 95 % pravdepodobnosťou sú zobrazené na obrázku 6.2. Vplyv veľkosti najväčšieho zrna „D“ zmesi kameniva na tuhosť asfaltovej zmesi nie je významný, priemerná hodnota variačného koeficienta pre  $S_{min}$  je  $V_c = 5,9 \%$  a pre  $S_{max}$  je  $V_c = 8,7 \%$ .



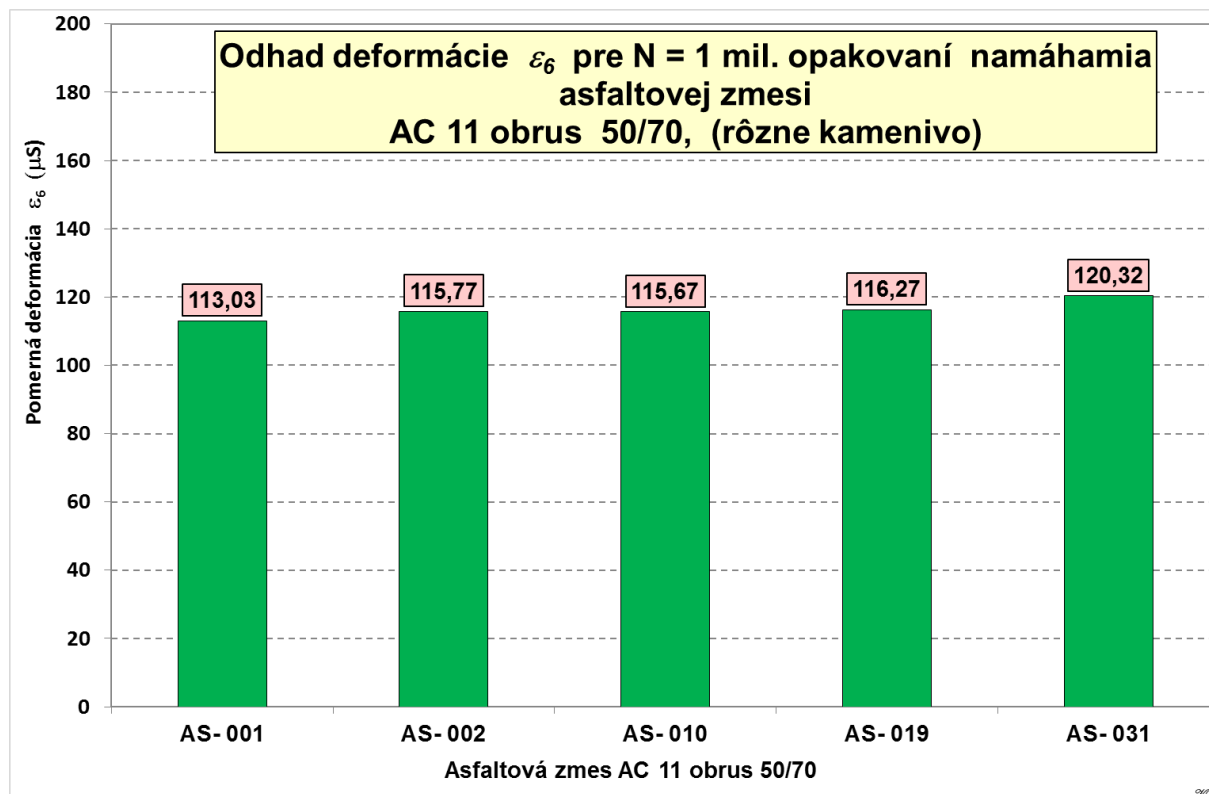
Obrázok 6.1 Modul tuhosti asfaltovej zmesi typu AC 11 obrus 50/70 pri teplote  $\Theta = 20^\circ\text{C}$  pre rôzne druhy zloženia kameniva



Obrázok 6.2 Modul tuhosti asfaltovej zmesi typu AC D obrus 50/70 pri teplote  $\Theta = 20^\circ\text{C}$  pre rôzne druhy zloženia kameniva

## 6.4.2 Únavové charakteristiky

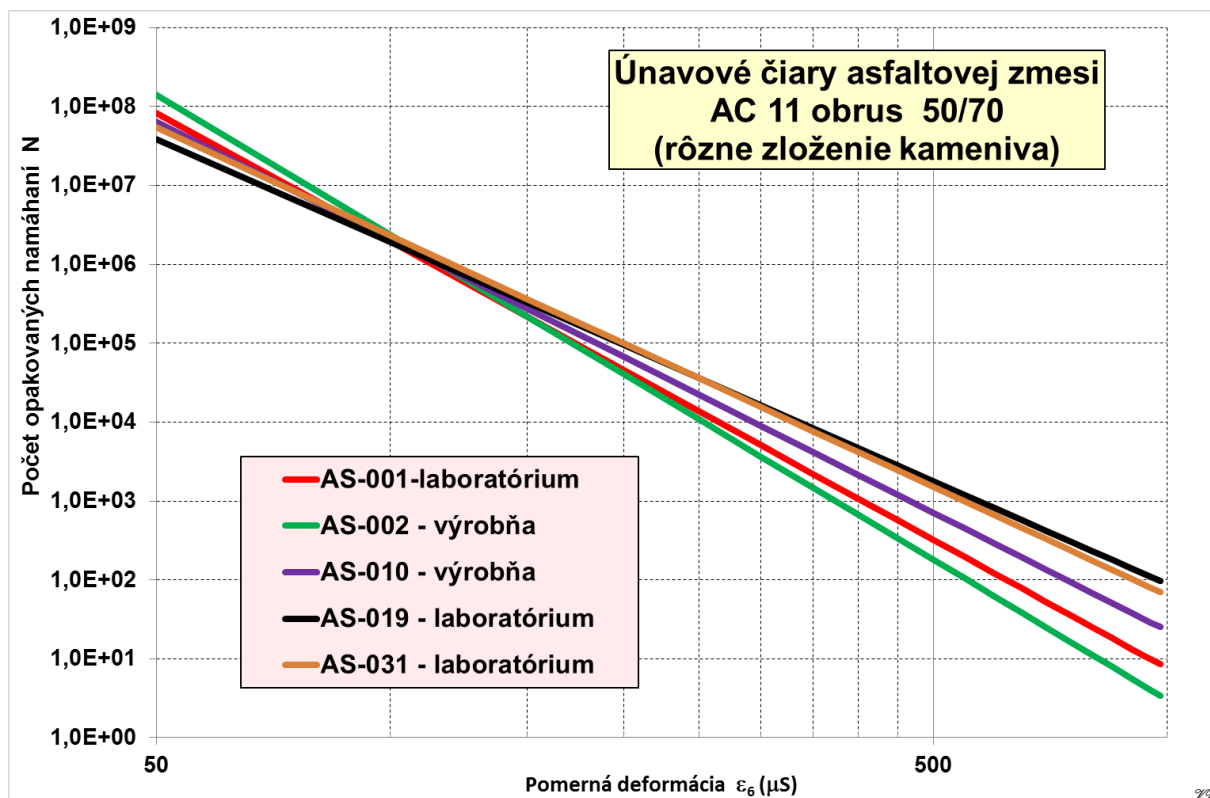
Vplyv kameniva na únavové charakteristiky bol stanovený na zmesiach AC 11 obrus 50/70, s použitím rôznych kamenív, vyrobených v laboratóriu aj vo výrobni. Na obrázku 6.3 je znázornená pomerná deformácia  $\varepsilon_6$  v závislosti na zložení kameniva. Variačný koeficient hodnôt  $\varepsilon_6$  je  $V_c = 2,3 \%$ . Hodnota variačného koeficienta nám charakterizuje, že vplyv kameniva na únavovú charakteristiku je malý.



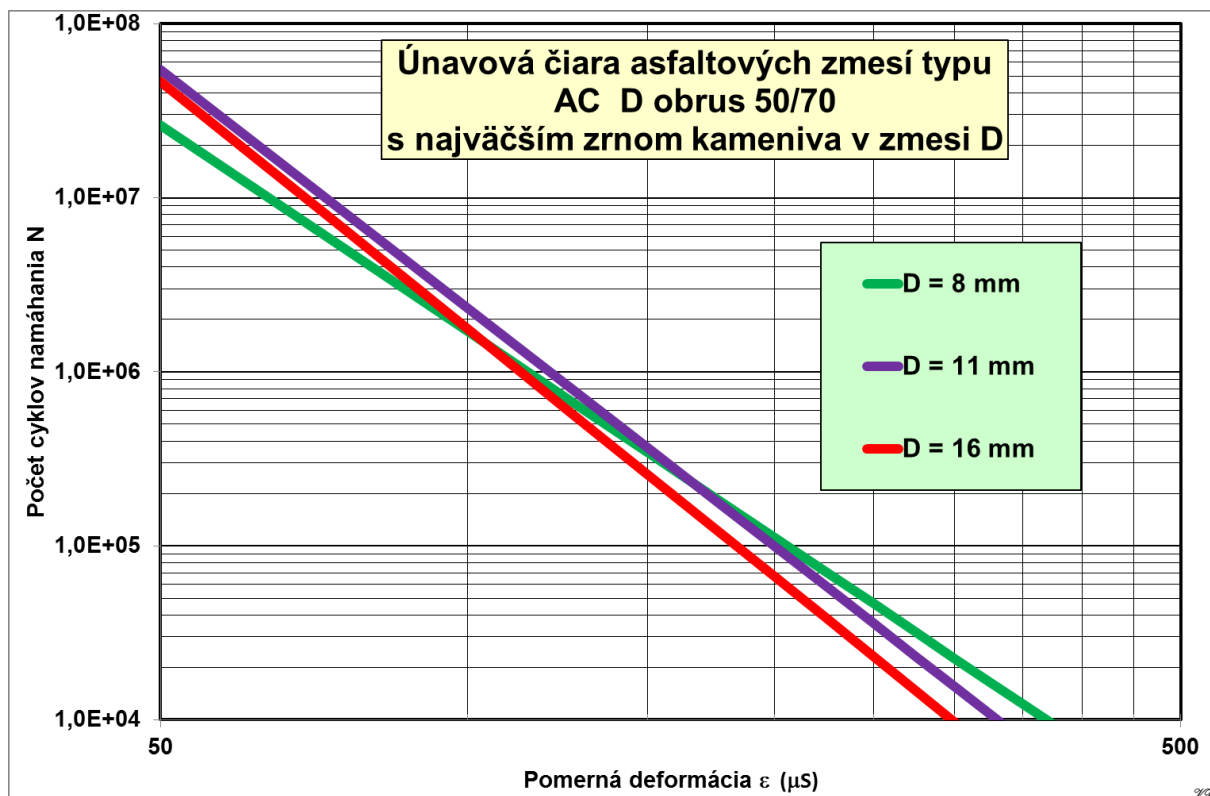
Obrázok 6.3 Odhad deformácie pre  $\varepsilon_6$  pre  $N = 1$  mil. opakovaných namáhání asfaltovej zmesi AC 11 obrus 50/70 (rôzne kamenivo)

Únavové čiary 5-tich rovnakých zmesí, odlišujúcich sa len od zloženia použitého kameniva, sú zobrazené na obrázku 6.4.

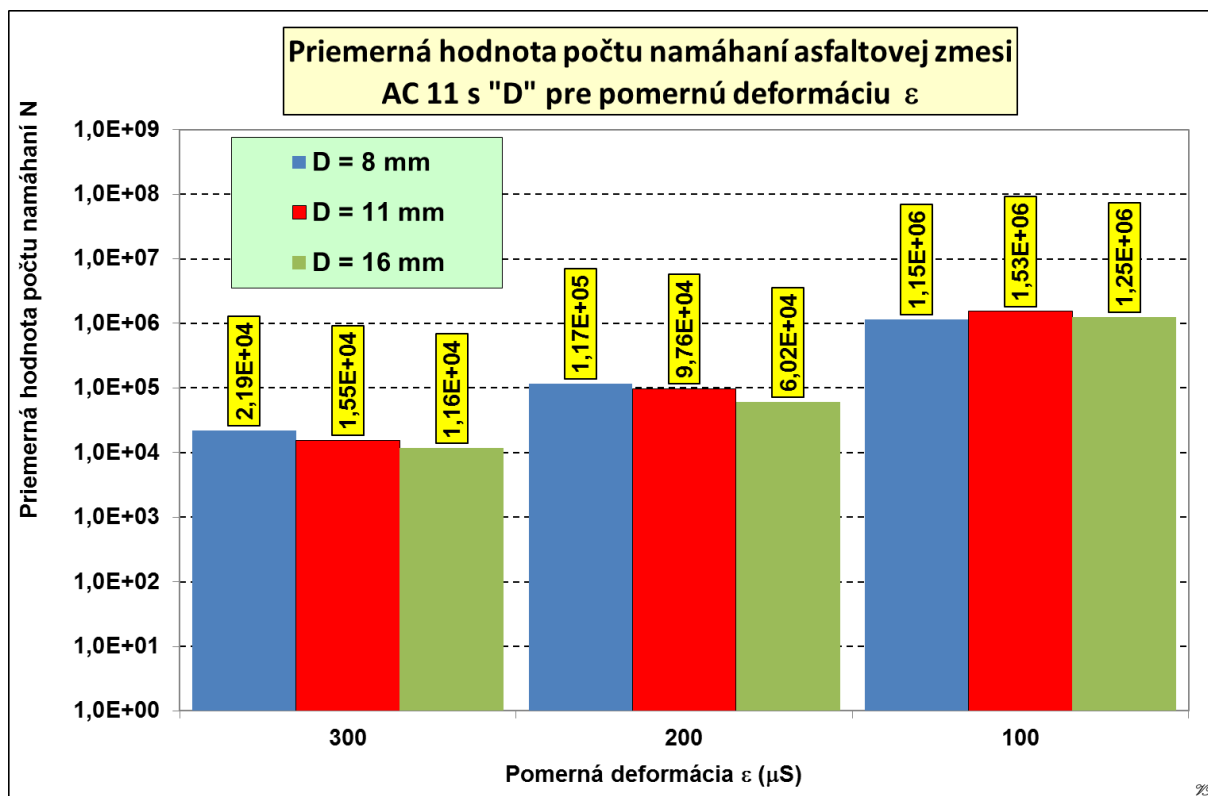
Na obrázku 6.5 sú únavové čiary v závislosti na najväčšom zrne „D“ použitého kameniva v asfaltovej zmesi. Hodnoty počtu namáhání (životnosti) asfaltovej zmesi pre pomernú deformáciu  $\varepsilon = 100, 200$  a  $300 \mu S$  sú zobrazené na obrázku 6.6.



Obrázok 6.4 Únavové čiary asfaltovej zmesi AC 11 obrus 50/70 (rôzne zloženie kameniva)



Obrázok 6.5 Únavové čiary asfaltovej zmesi AC D obrus 50/70 s najväčším zrnom kameniva v zmesi D



Obrázok 6.6 Priemerná hodnota počtu namáhání (životnosti) asphaltovej zmesi pre pomernú deformáciu  $\varepsilon = 100, 200$  a  $300 \mu S$

Variačný koeficient pre hodnoty  $\ln(N)$  pri pretvorení  $\varepsilon = 100 \mu S$  je  $V_c = 1,0 \%$ , pre  $\ln(N)$  pri pretvorení  $\varepsilon = 200 \mu S$  je  $V_c = 3,0 \%$  a pre  $\ln(N)$  pri pretvorení  $\varepsilon = 300 \mu S$  je  $V_c = 3,3 \%$  čo charakterizuje veľmi rovnomerne rozdelené hodnoty.

Z výsledkov skúšok jednoznačne vyplýva, že vplyv zloženia kameniva a veľkosti najväčšieho zrna kameniva na únavové charakteristiky asphaltovej zmesi je nevýznamný.

## 6.5 Funkčné vlastnosti asphaltového betónu pre rôzne druhy asfaltu

### 6.5.1 Všeobecne

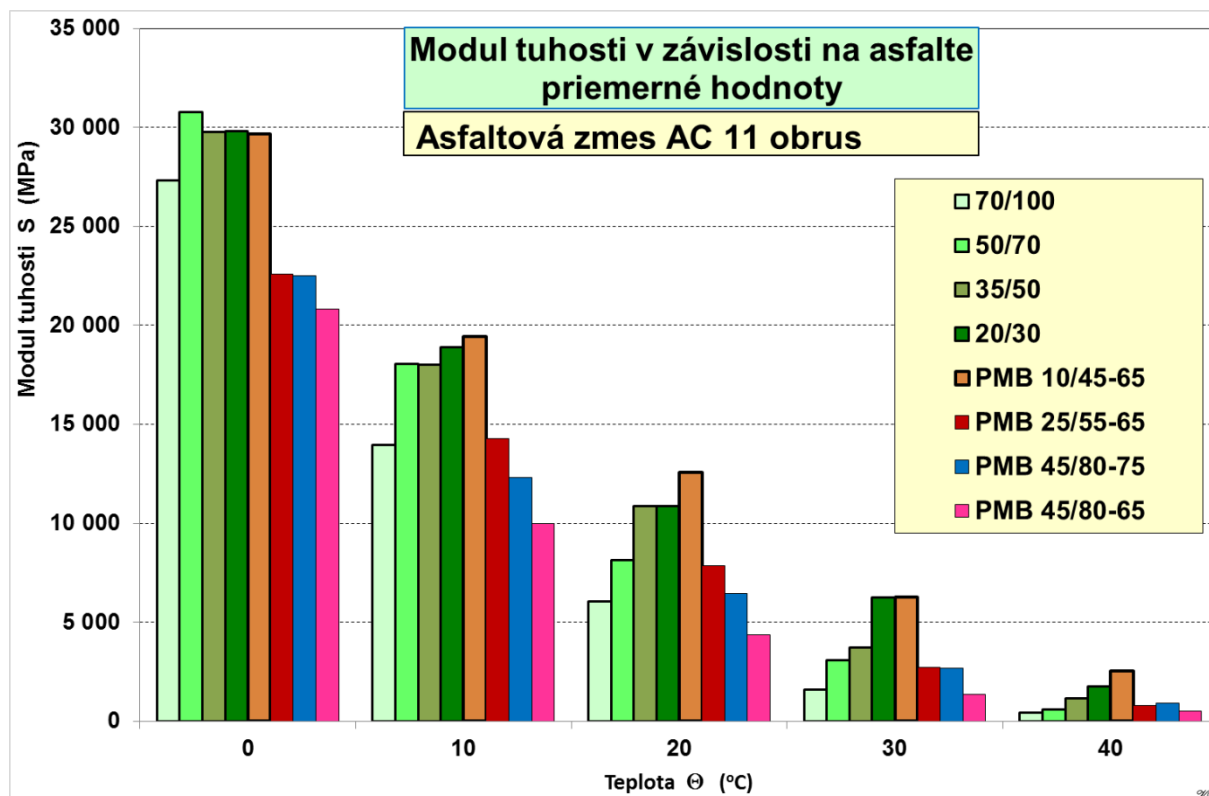
Za účelom stanovenia funkčných vlastností asphaltového betónu boli odskúšané asfaltové zmesi typu AC 11 Obrus:

- s cestnými asfaltmi: 70/100, 50/70, 35/50 a 20/30;
- s modifikovanými asfaltmi: PMB 10/45-65, PMB 25/55-65, PMB 45/80-75, PMB 45/80-65.

### 6.5.2 Stanovenie modulu tuhosti pre rôzne druhy asfaltu

Modul tuhosti sme skúšali na všetkých zmesiach pri 5-tich teplotách  $\Theta = 0^\circ C, 10^\circ C, 20^\circ C, 30^\circ C$  a  $40^\circ C$ . Výsledky sú zobrazené na obrázku 6.7. Na základe výsledkov sa dá konštatovať, že asfaltové zmesi s použitím asfaltov s nižšou penetráciou dosahujú vyššie moduly tuhosti. Asfaltové zmesi, v ktorých boli použité asfalty modifikované PMB, mali nižšie

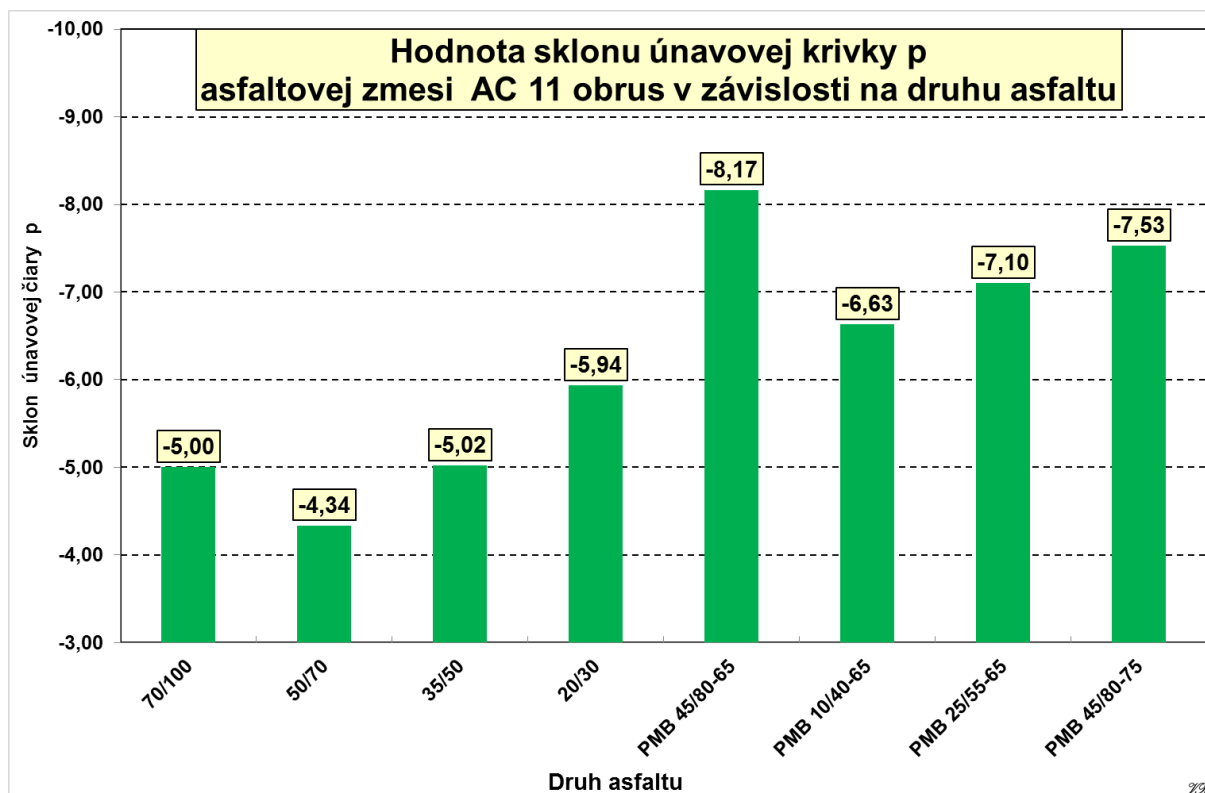
hodnoty, ale hodnoty modulov záviseli od penetrácie použitého asfaltu. Výrazný vplyv na modul tuhosti má skúšobná teplota, a to až 500 MPa/°C. Pri teplote  $\Theta = 20\text{ °C}$  mali asfaltové zmesi s použitím cestných asfaltov hodnoty  $S_{\min} > 6\,000\text{ MPa}$  a asfaltové zmesi s použitím modifikovaných asfaltov PMB hodnoty  $S_{\min} > 5\,500\text{ MPa}$ .



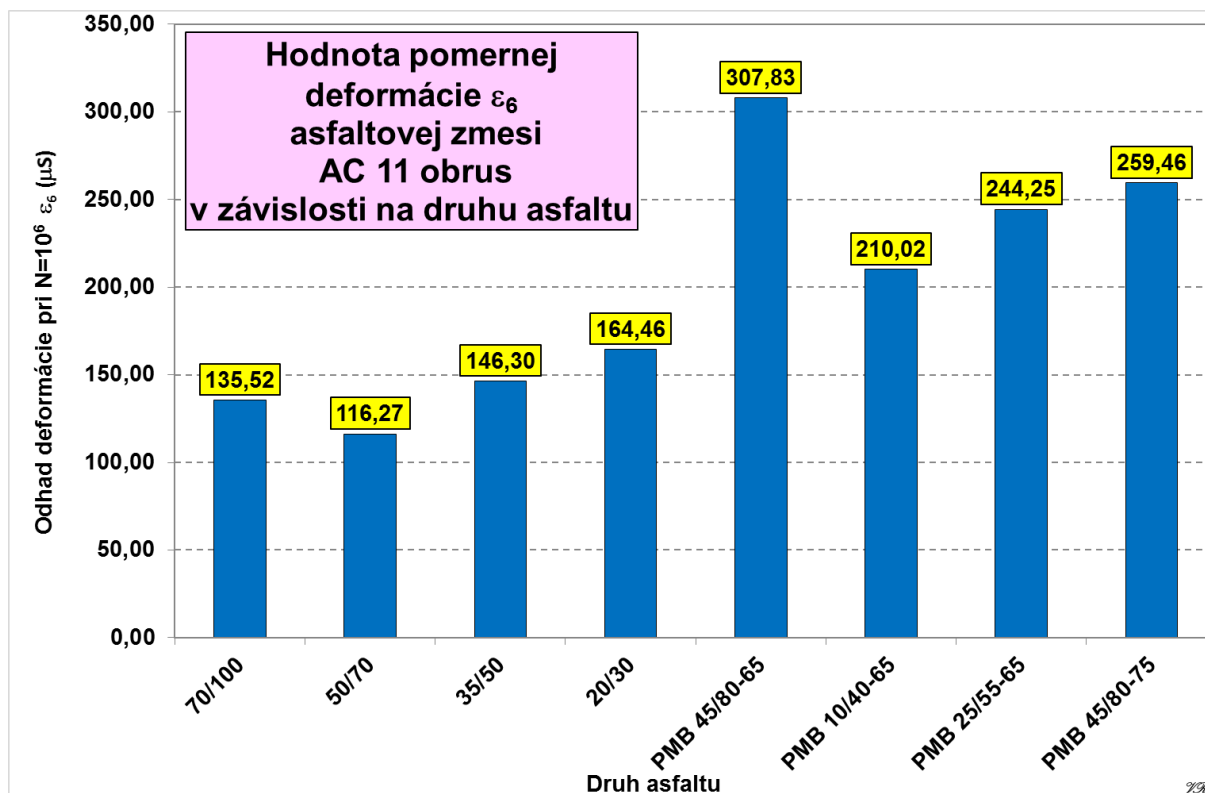
Obrázok 6.7 Priemerné hodnoty modulov pri teplotách  $\Theta = 0\text{ °C}$ ,  $10\text{ °C}$ ,  $20\text{ °C}$ ,  $30\text{ °C}$  a  $40\text{ °C}$  v závislosti na druhu asfaltu

### 6.5.3 Únavové charakteristiky asfaltových zmesí pre rôzne druhy asfaltu

Závislosť únavových charakteristík od použitého asfaltu sme sledovali na 8-mich asfaltových zmesiach, v ktorých boli použité 4 cestné asfalty, vyrobené podľa STN EN 12591 a 4 polymérom modifikované asfalty, vyrobené podľa STN EN 14023. Hodnoty sklonu únavovej čiary „ $p$ “ sú zobrazené na obrázku 6.8 a hodnoty pomernej deformácie pri 1 milión namáhaní „ $\epsilon_6$ “ sú zobrazené na obrázku 6.9. Z výsledkov jednoznačne vyplýva, že sklon únavovej čiary je pri použití asfaltov **PMB** v absolútnej hodnote väčší.



Obrázok 6.8 Hodnota sklonu únavovej krivky p asfaltovej zmesi AC 11 obrus v závislosti na druhu použitého asfaltu



Obrázok 6.9 Odhad hodnoty pomernej deformácie  $\epsilon_6$  asfaltovej zmesi AC 11 obrus v závislosti na druhu použitého asfaltu

Všetky hodnoty „ $p$ “ sú v absolútnej hodnote väčšie ako **6,0** a pomerná deformácia „ $\epsilon_6$ “ je väčšia ako **200  $\mu\text{S}$** . Pri použití nemodifikovaných asfaltov sú 3 hodnoty „ $p$ “ v absolútnej hodnote väčšie ako 4,5 a pomerná deformácia „ $\epsilon_6$ “ je väčšia ako **110  $\mu\text{S}$** . Výsledky skúšok ukázali, že použitím PMB asfaltov sa zvýši odolnosť voči únave asfaltových zmesí a tým aj životnosť vozovky.

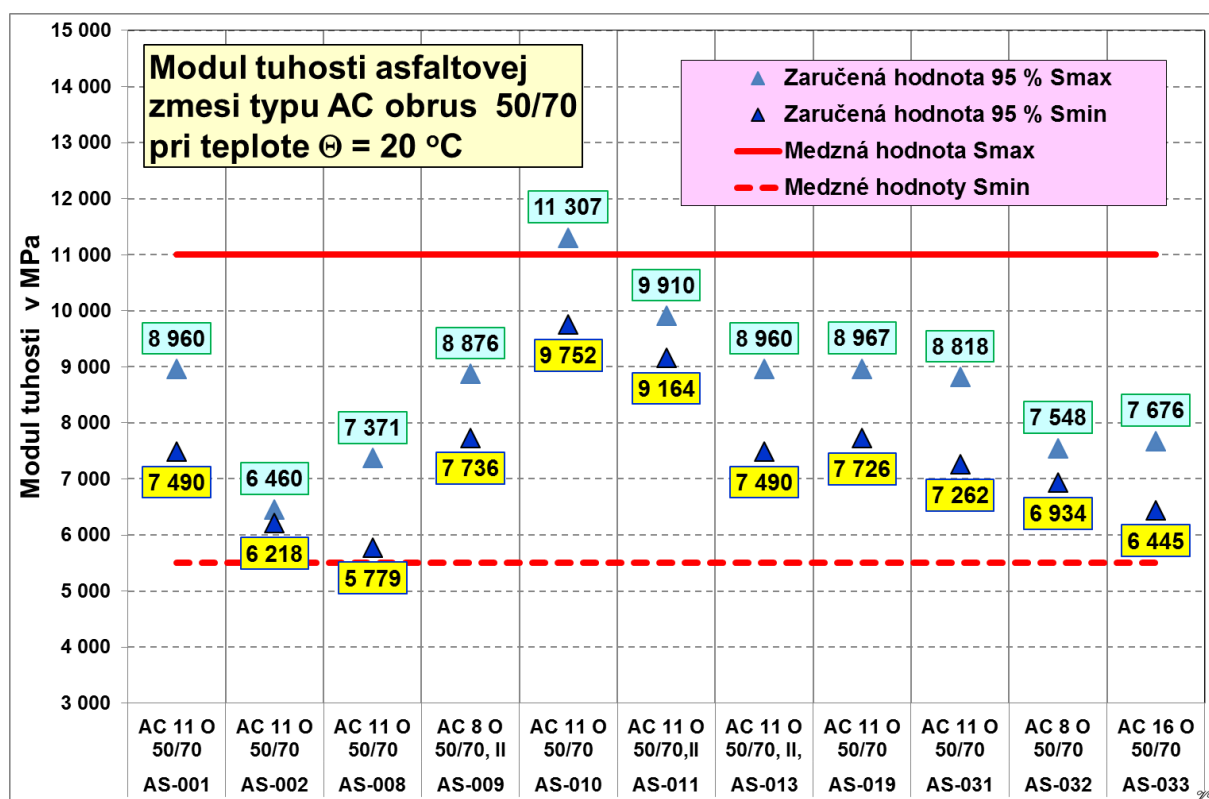
## 6.6 Spôľahlivosť vrstiev z asfaltového betónu v konštrukciách vozoviek s využitím funkčných vlastností (modul pružnosti, únava materiálov)

### 6.6.1 Modul tuhosti

Hodnoty modulu tuhosti boli sledované na 26 asfaltových zmesiach pri skúšobnej teplote  $\Theta = 20^\circ\text{C}$ . Hodnoty modulov boli stanovené s pravdepodobnosťou 95 % a to  $S_{\max}$  a  $S_{\min}$ .

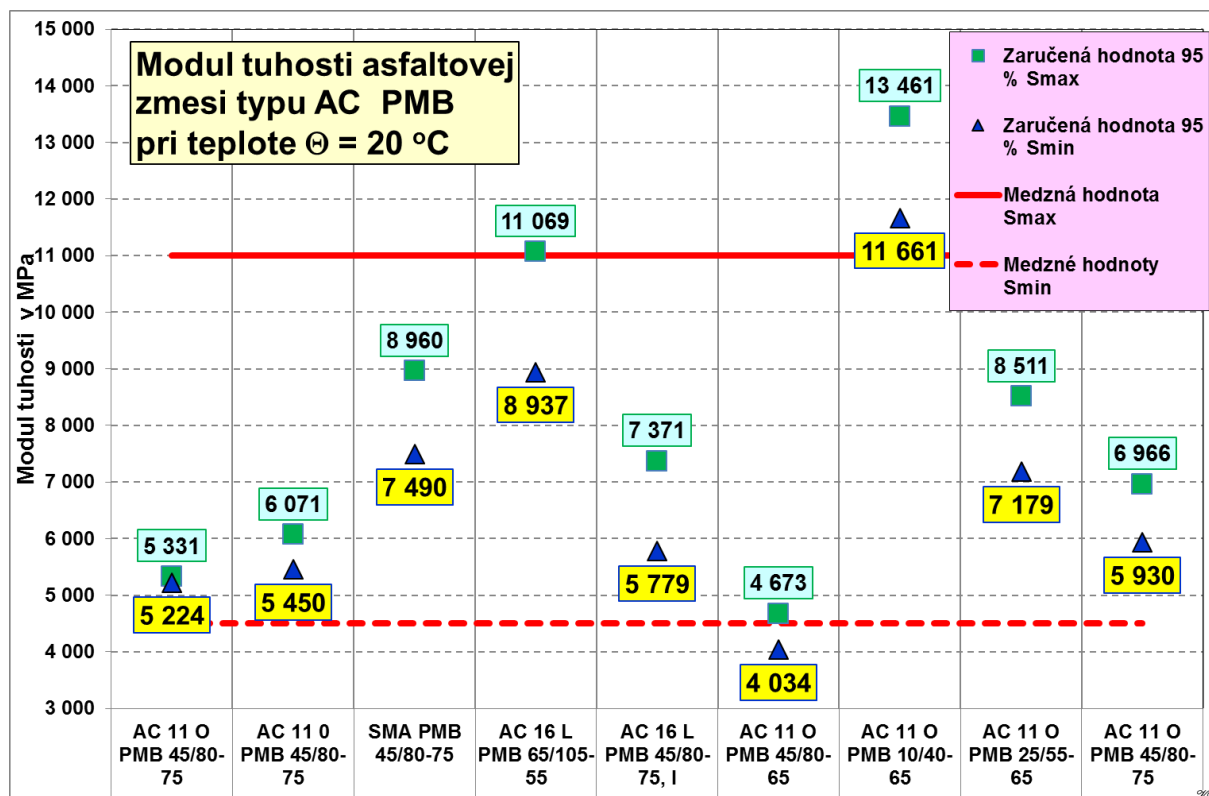
Na obrázku 6.10 sme zobrazili moduly tuhosti asfaltovej zmesi AC obrus 50/70 vrátane zaručených hodnôt  $S_{\max}$  a  $S_{\min}$  pri teplote  $\Theta = 20^\circ\text{C}$ .

Všetky hodnoty, s výnimkou jednej, sa nachádzajú v rozmedzí  $S_{\min} = 5\,500\text{ MPa}$  a  $S_{\max} = 11\,000\text{ MPa}$ .

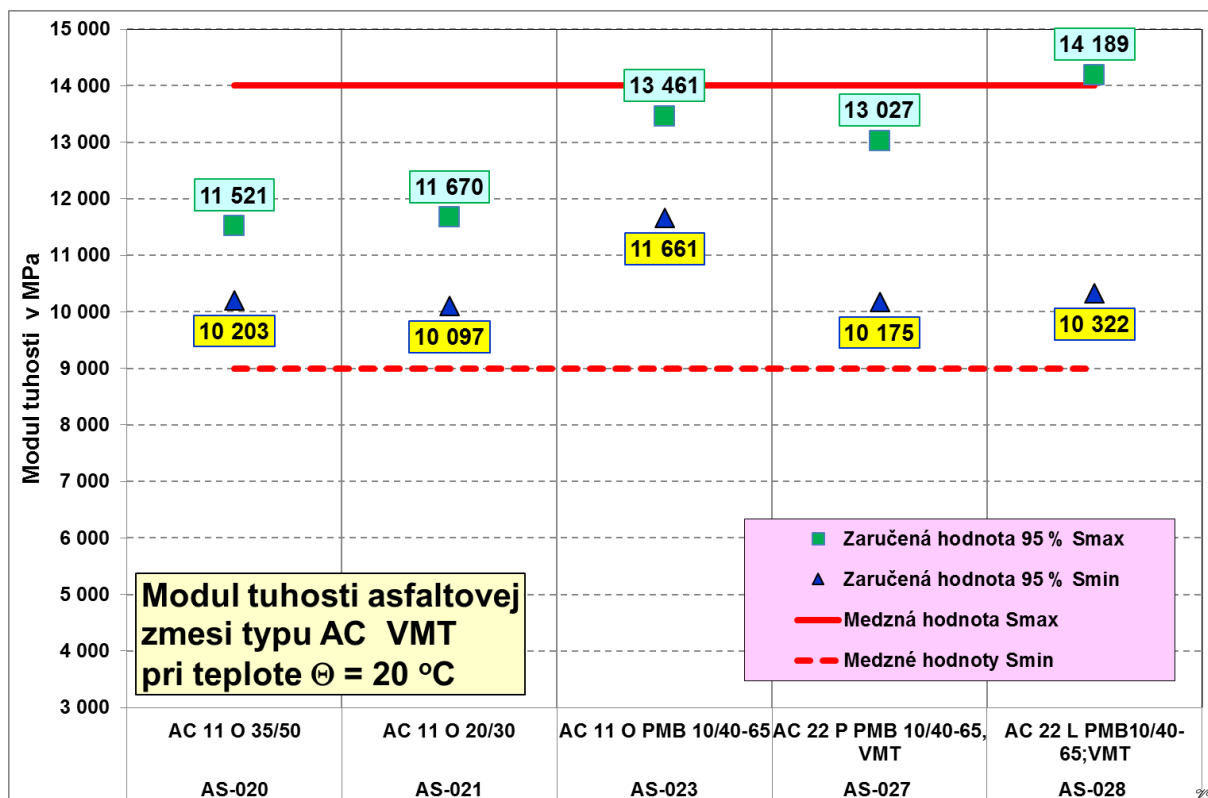


Obrázok 6.10 Zaručené hodnoty modulu tuhosti asfaltovej zmesi typu AC obrus 50/70 pri teplote  $\Theta = 20^\circ\text{C}$

Moduly tuhosti pre asfaltovú zmes, v ktorej bolo použité modifikované spojivo sú zobrazené na obrázku 6.11. Väčšina hodnôt sa nachádza v rozmedzí  $S_{\min} = 4\,500$  MPa až  $S_{\max} = 11\,000$  MPa.



Obrázok 6.11 Zaručené hodnoty modulu tuhosti asfaltovej zmesi typu AC obrus PMB pri teplote  $\Theta = 20\,^{\circ}\text{C}$

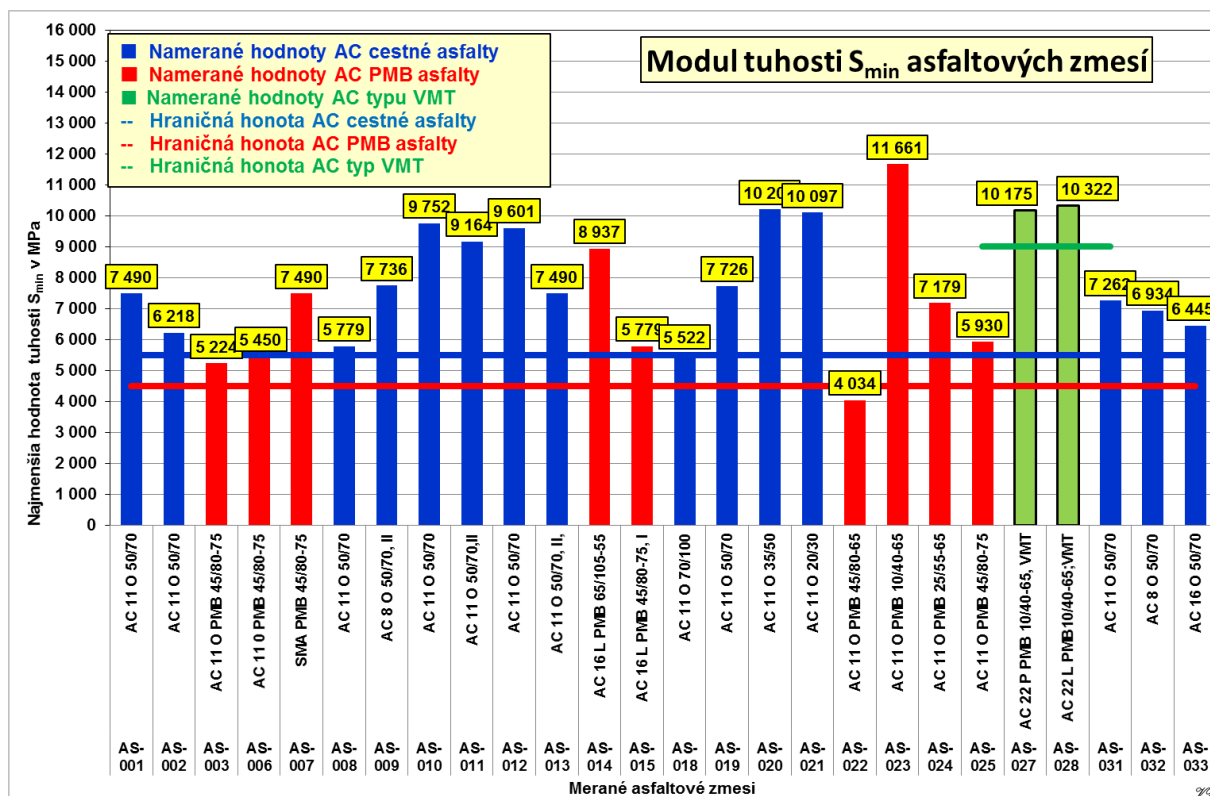


Obrázok 6.12 Zaručené hodnoty modulu tuhosti asfaltovej zmesi typu AC VMT pri teplote  $\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Na obrázku 6.12 sme zobrazili moduly tuhosti asfaltovej zmesi AC obrus s asfaltom 50/70 vrátane zaručených hodnôt  $S_{max}$  a  $S_{min}$  pri teplote  $\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Všetky hodnoty, s výnimkou jednej, sa nachádzajú v rozmedzí  $S_{min} = 5\,500\text{ MPa}$  a  $S_{max} = 11\,000\text{ MPa}$ .

Zaručené moduly tuhosti s pravdepodobnosťou  $S_{min}$  pri teplote  $\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  všetkých asfaltových zmesí sú zobrazené na obrázku 6.13. Na obrázku sú zobrazené odporúčané aj minimálne hodnoty modulu tuhosti  $S_{min}$  pre jednotlivé druhy asfaltových zmesí.



Obrázok 6.13 Namerané moduly tuhosti  $S_{min}$  s pravdepodobnosťou 95 % všetkých merných asfaltových zmesí

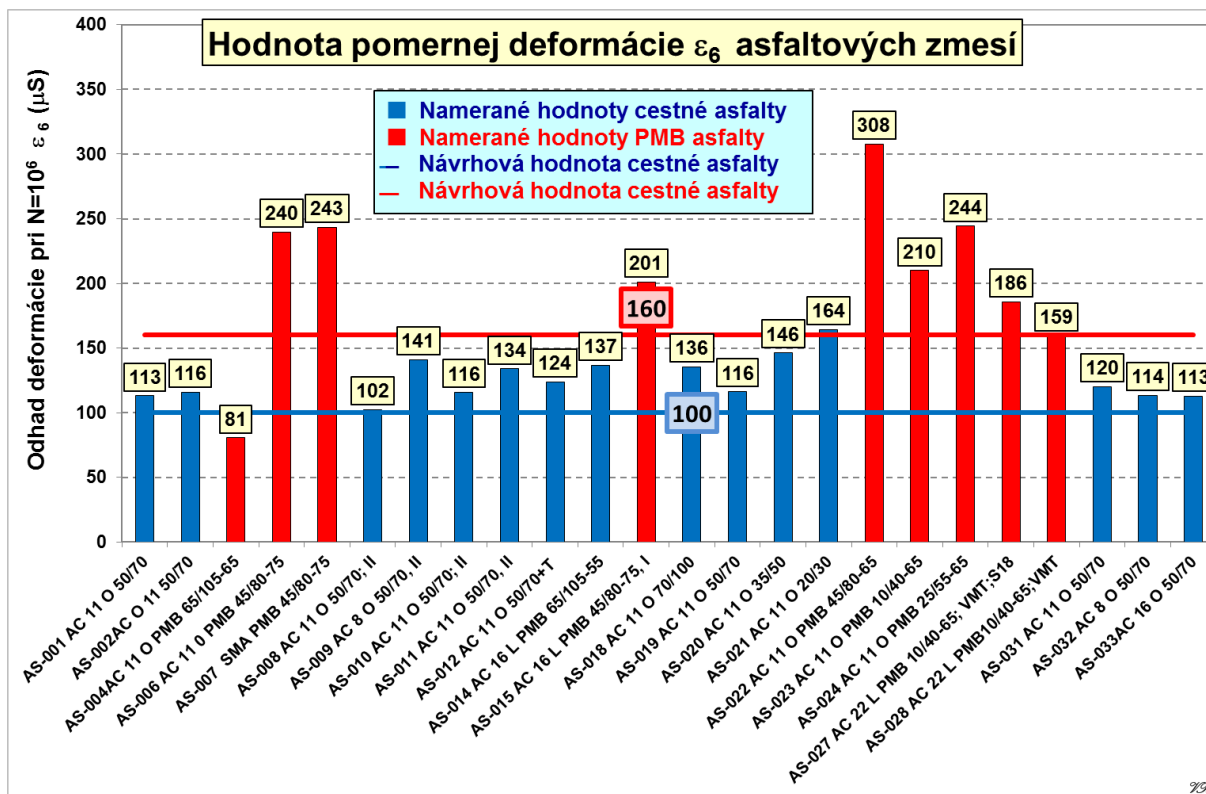
Na základe výsledkov riešenia sú v tabuľke 6.2 navrhované moduly tuhosti asfaltového betónu  $S_{min}$  a  $S_{max}$  pre jednotlivé druhy asfaltového betónu, ktoré bude musieť výrobca asfaltových zmesí dodržať a deklarovať s 95 % pravdepodobnosťou vo vyhlásení o parametroch v zmysle zákona č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch.

Tabuľka 6.2 Moduly tuhosti

| Modul tuhosti zmesí asfaltového betónu pri teplote $\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ |                               |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Asfaltový betón                                                                          | Modul tuhosti $S_{min}$ (MPa) | Modul tuhosti $S_{max}$ (MPa) |
| AC cestné asfalty (STN EN 12591)                                                         | 5 500                         | 11 000                        |
| AC asfalty PMB (STN EN 14023)                                                            | 4 500                         | 11 000                        |
| AC asfalty PMB (STN EN 14023) typ VMT                                                    | 9 000                         | 14 000                        |

## 6.6.2 Únava materiálov

Na únavu bolo odskúšaných 25 asfaltových zmesí, z toho 15 zmesí s cestným asfaltom (STN EN 12591) a 10 zmesí s modifikovaným asfaltom PMB (STN EN 14023), z toho dve zmesi typu VMT. Hodnoty pomerných deformácií  $\varepsilon_6$  na všetkých zmesiach asfaltového betónu sú zobrazené na obrázku 6.14. Hodnoty sklonu únavovej čiary  $p$  na všetkých zmesiach asfaltového betónu sú zobrazené na obrázku 6.15.



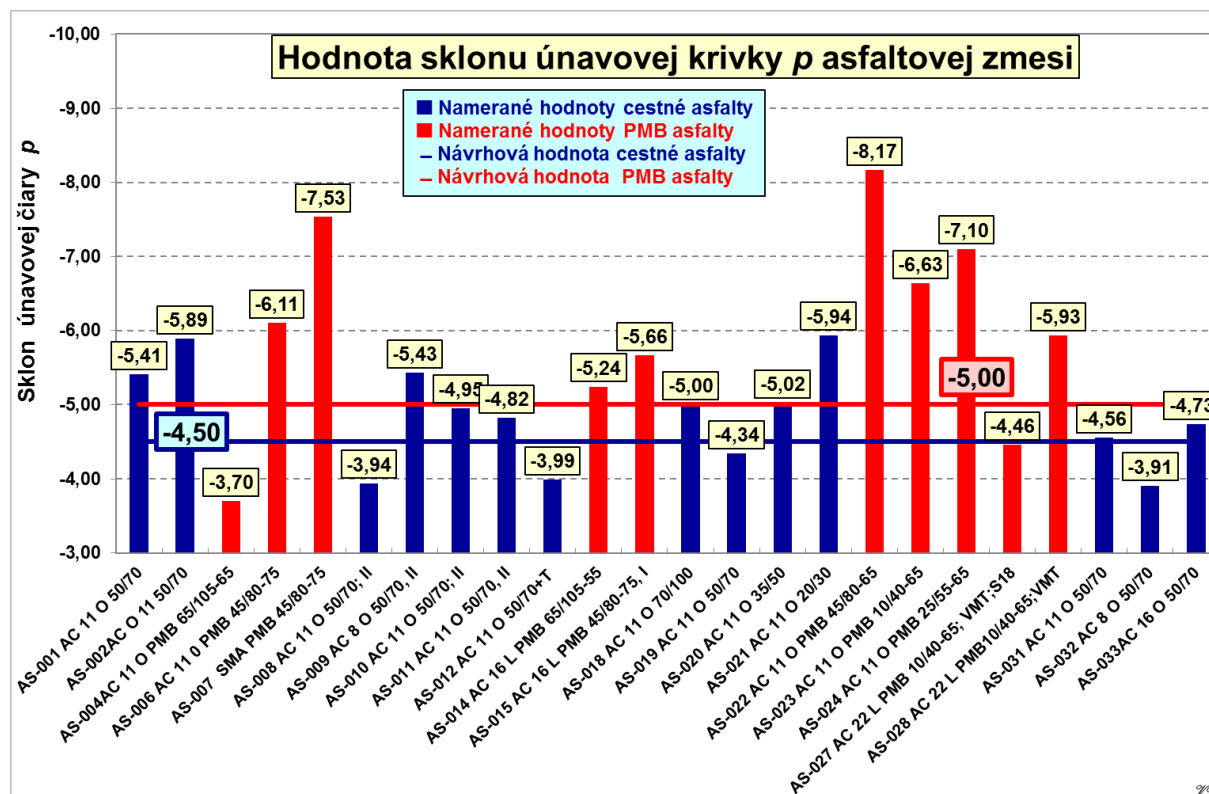
Obrázok 6.14 Odhad pomernej deformácie  $\varepsilon_6$  všetkých meraných asfaltových zmesí spolu s navrhovanými hodnotami pre zmesi typu AC D obrus 50/70 a zmesi AC D obrus PMB

Na základe výsledkov riešenia projektu sme navrhli hodnoty pomernej deformácie „ $\varepsilon_6$ “ a sklonu únavovej čiary „ $p$ “. Navrhované hodnoty sú uvedené v tabuľke 6.3

Tabuľka 6.3 Návrh únavových charakteristík zmesí asfaltového betónu

| Únavové charakteristiky zmesí asfaltového betónu |                                                   |                              |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|
| Asfaltový betón                                  | Pomerná deformácia $\varepsilon_6$<br>( $\mu S$ ) | Sklon únavovej čiary $p$ (-) |
| AC cestné asfalty (STN EN 12591)                 | $\geq 100$                                        | $\geq   - 4,5  $             |
| AC asfalty PMB (STN EN 14023)                    | $\geq 160$                                        | $\geq   - 5,0  $             |

V budúcnosti budú musieť výrobcovia asfaltových zmesí dodržať stanovené hodnoty a ich deklarovať s 95 % pravdepodobnosťou vo vyhlásení o parametroch v zmysle zákona č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch.



Obrázok 6.15 Odhad hodnoty sklonu únavovej čiary p všetkých meraných asfaltových zmesí vrátane zobrazenia návrhu najmenších hraničných hodnôt

## 6.7 Prevádzková výkonnosť asfaltových vrstiev vo vozovke a návrh optimálnej konštrukcie vozoviek pre rôzne druhy zaťaženia, v ktorých boli použité asfaltové vrstvy charakterizované funkčnými vlastnosťami na základe projektu

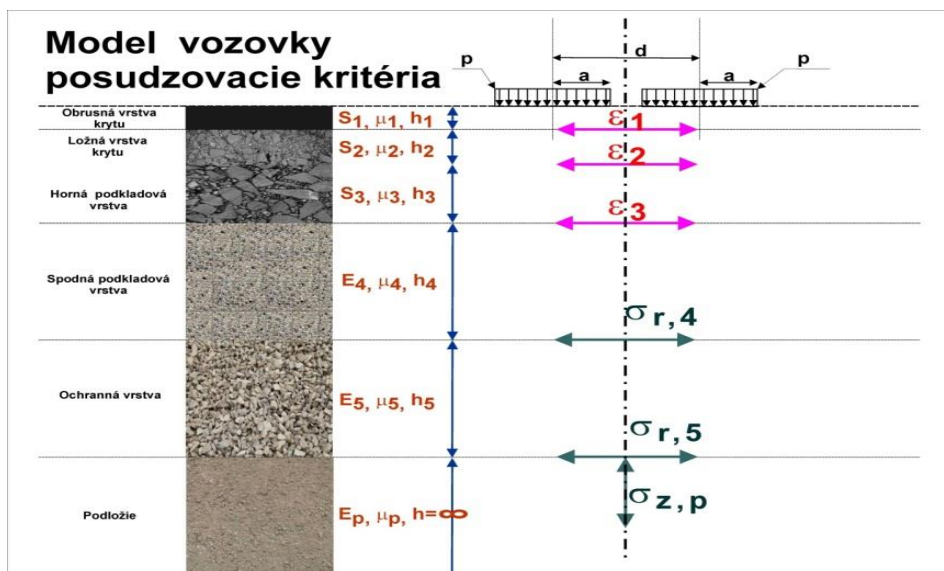
### 6.7.1 Model vozovky

Ako model vozovky sme použili fyzikálno-matematický model pružného viacvrstvého systému na pružnom polopriestore (obrázok 6.16). Model je definovaný geometricky, vlastnosťami materiálov jednotlivých vrstiev, podložia a spolupôsobením vrstiev. Skutočné zaťaženie vozovky kolesami rôznych vozidiel sa nahrádza kolesami návrhovej nápravy (10 t). Náhradné zaťaženie modelu bolo uvažované ako zaťaženie dvojmontáže nákladného vozidla dvoma kruhmi rovnomerne zaťaženými.

Na výpočet napätí a deformácií viacvrstvého modelu vozovky sa použil program TS502. Výsledky výpočtu, vstupujúce do posudzovania vozovky, sú:

- najväčšie pomerné deformácie  $\varepsilon_r$  v asfaltových vrstvách,

- najväčšie radiálne napätie  $\sigma_r$  v nestmelených a hydraulicky stmelených vrstvách;
- najväčšie zvislé napätie  $\sigma_z$  v podloží.



Obrázok 6.16 Model konštrukcie vozovky jeho zaťaženie a posudzovacie kritériá

V modeli boli uvažované tieto parametre a hodnoty:

- dokonalý kontakt medzi vrstvami;
- $p$  dotykový tlak na ploche kruhových plôch,  $p = 0,6$  MPa;
- $d$  osová vzdialenosť dvoch kruhových plôch,  $d = 344,0$  mm;
- $a$  polomer zaťažovacej kruhovej dosky,  $a = 115,2$  mm;
- $h_i$  hrúbka  $i$ -tej vrstvy konštrukcie vozovky (m);
- $S_i$  modul pružnosti materiálu asfaltovej  $i$ -tej vrstvy (MPa);
- $E_i$  modul pružnosti materiálu  $i$ -tej neasfaltovej vrstvy (MPa);
- $\mu_i$  Poissonovo číslo materiálu  $i$ -tej vrstvy (-);
- $E_p$  modul pružnosti podložia vozovky, v našich výpočtoch je  $E_p = 60$  MPa;
- $\mu_p$  Poissonovo číslo zeminy v podloží vozovky, v našich výpočtoch je  $\mu_p = 0,5$ ;
- $\epsilon_i$  najväčšia pomerná deformácia asfaltovej zmesi  $i$ -tej vrstvy (-);
- $\sigma_{r,i}$  najväčšie radiálne napätie materiálu  $i$ -tej vrstvy (MPa);
- $\sigma_{z,p}$  najväčšie zvislé napätie zeminy v podloží (MPa).

Výsledkom riešenia tohto projektu bol návrh zmeny posudzovania asfaltových vrstiev. Namiesto posudzovania napätí navrhujeme posudzovať pomerné deformácie na základe priamo meraných vstupných údajov. Únavu vozovky charakterizujeme v rozsahu opakovaného zaťaženia  $1 \cdot 10^5$  až  $1 \cdot 10^8$ .

### 6.7.2 Vstupné údaje asfaltových zmesí na základe funkčných vlastností

Vstupné údaje na výpočet modelu vozovky materiálov asfaltových vrstiev (asfaltových zmesí) sú moduly tuhosti a charakteristiky únavy.

Ako modul pružnosti asfaltového betónu sa v tomto projekte uvažuje s hodnotou  $S_{\min}$  stanovenou s 95 % pravdepodobnosťou na základe skúšok pri teplote  $\Theta = 20^\circ \text{C}$ .

Únavové charakteristiky ( $p$  sklon únavovej čiary a  $\varepsilon_6$  pomerná deformácia pri  $10^6$  cykloch) vstupujúce do posudzovania asfaltového betónu vo vozovke, boli získané na základe skúšok pri teplote  $\Theta = 20^\circ \text{C}$ .

### 6.7.3 Posudzovacie kritériá

Jedným z výstupov tohto projektu bol návrh zmeny posudzovacích kritérií pre posúdenie asfaltových vrstiev pri návrhu vozovky. Zmena spočíva vo využívaní konkrétnych výsledkov skúšok únavy asfaltového betónu podľa metódy D normy STN EN 12697-24, kde výsledkom je pomerné pretvorenie  $\varepsilon_6$  a sklon únavovej čiary  $p$ .

Základná únavová rovnica pre daný spôsob merania jednej asfaltovej zmesi je:

$$\ln N_{n,j,k} = Q + p \cdot \ln \varepsilon_n \quad (6.1)$$

kde:

$N_{n,j,k}$  je únavová životnosť skúšobnej vzorky  $n$  pre zvolené kritérium konca životnosti  $j$  a sady skúšobných podmienok  $k$  v cykloch;

$Q$  odhad nárastu únavovej čiary tiež označovaný ako  $A_0$ , (-);

$p$  odhad sklonu únavovej čiary tiež označovaný ako  $A_1$ , (-);

$\varepsilon_n$  počiatočná amplitúda deformácie nameraná po počiatočných 100 cykloch (m/m) na skúšobnej vzorke  $n$ .

Únavová rovnica asfaltovej zmesi, ktorá sa vypočíta z 18 vzoriek je:

$$\ln N_y = Q + p \cdot \ln \varepsilon_x \quad (6.2)$$

kde:

$N_y$  je únavová životnosť skúšaného asfaltového betónu pre zvolené pomerné pretvorenie  $\varepsilon_x$ ;

$Q$  odhad nárastu únavovej čiary zo sady 18 vzoriek;

$p$  odhad sklonu únavovej čiary zo sady 18 vzoriek.

Z rovnice si vypočítame  $Q$

$$Q = \ln N_6 - p \cdot \ln \varepsilon_6 \quad (6.3)$$

kde:

$N_6$  je počet opakovaných namáhání 1 milión, (-);

$\varepsilon_6$  pomerné pretvorenie pri  $10^6$  cyklov (m/m).

$$\ln N_{v,i} = \ln N_6 + p \cdot \ln \frac{\varepsilon_{r,i}}{\varepsilon_6} \quad (6.4)$$

kde:

$N_{v,i}$  je najvyšší počet opakovaných namáhání pre asfaltovú vrstvu „i“;

$N_6$  počet opakovaných namáhání 1 milión, (-);

$\varepsilon_{r,i}$  najväčšie vypočítané radiálne pretvorenie v asfaltovej vrstve „i“ (m/m);

$\varepsilon_6$  pomerné pretvorenie pri  $10^6$  cyklov (m/m).

Po dosadení číselnej hodnoty dostaneme:

$$\ln N_{v,i} = 13,81551 + p \cdot \ln \frac{\varepsilon_{r,i}}{\varepsilon_6} \quad (6.5)$$

Po úprave

$$N_{v,i} = e^{(13,81551 + p \cdot \ln \frac{\varepsilon_{r,i}}{\varepsilon_6})} \quad (6.6)$$

V rámci posudzovania vozovky sa vypočíta najmenšia hodnota zo všetkých asfaltových vrstiev minimálne  $N_{v,i}$ . Spoľahlivosť vozovky z hľadiska posúdenia asfaltových vrstiev sa vypočíta zo vzorca:

$$\xi = \frac{\ln N_v}{\gamma_1 \cdot \ln N_c} \quad (6.7)$$

kde:

$\xi$  je koeficient spoľahlivosti, ktorý musí byť  $\xi \leq 1$ , hodnoty  $\xi$  sú v rozsahu 0,92 až 0,97;

$N_c$  celkový počet návrhových náprav (s parametrom  $2P = 100$  kN) s ekvivalentným účinkom;

$N_v$  najmenšia hodnota počtu opakovaných namáhání z hodnôt  $N_{v,i}$ , (je to  $N_{v,i}$  rozhodujúcej vrstvy);

$\gamma_1$  koeficient vyjadrujúci odchýlky v hrúbkach vrstiev, zahrňujúci význam komunikácie a úroveň porušenia vozovky, pohybuje sa v rozsahu 1,05 až 1,15.

## 6.8 Vybrané konštrukcie vozoviek a ich posúdenie podľa návrhu

### 6.8.1 Konštrukcia vozovky pre $N_c = 10\,000\,000$ návrhových náprav

Počet návrhových náprav sme navrhli 10 miliónov náprav o tiaži 100 kN. Navrhli sme dve skladby konštrukcií vozoviek, jednu s nestmelenou vrstvou a jednu s hydraulicky stmelelou vrstvou. Skladby vozoviek, vstupné údaje výpočtu a prevádzková výkonnosť vozoviek, sú uvedené v tabuľke 6.4.

Tabuľka 6.4 Návrh a posúdenie vozovky pre  $N_c = 10\,000\,000$ 

| Vozovka - $N_c = 10$ mil. nestmelená vrstva, vrstvy AC (PMB asfalt) |          |                                |               |              |       |                    |                    |
|---------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|---------------|--------------|-------|--------------------|--------------------|
| Označenie vrstvy vozovky                                            | Hr.      | Opis materiálu                 | Modul tuhosti | Defor.       | Sklon | Deform. vypočítana | Prevádz. výkonnosť |
|                                                                     | $h$      |                                | $S_{min}$     | $\epsilon_6$ | $p$   | $\epsilon_r$       | $N_v$              |
|                                                                     | mm       |                                | MPa           | $\mu S$      | -     | $\mu S$            | -                  |
| SMA 11 PMB                                                          | 40       | Asfaltový koberec mastixový    | 6000          |              |       |                    |                    |
| AC 16 L PMB                                                         | 60       | Asfaltový betón ložný PMB      | 4500          | 160          | -5,5  | 9,01               | 3,12E+11           |
| AC 22 P PMB                                                         | 120      | Asfaltový betón podkladový PMB | 4500          | 160          | -5,0  | 68,03              | 1,27E+07           |
| UM MSK                                                              | 250      | Mechanicky stmelené kamenivo   | 600           |              |       |                    |                    |
| UM ŠD                                                               | 200      | Štrkodrvina                    | 350           |              |       |                    |                    |
| Podložie                                                            | $\infty$ | Zemina v podloží               | 60            |              |       |                    |                    |
| Vozovka - $N_c = 10$ mil. stmelená vrstva, vrstvy AC (PMB asfalt)   |          |                                |               |              |       |                    |                    |
| Označenie vrstvy vozovky                                            | Hr.      | Opis materiálu                 | Modul tuhosti | Defor.       | Sklon | Deform. vypočítana | Prevádz. výkonnosť |
|                                                                     | $h$      |                                | $S_{min}$     | $\epsilon_6$ | $p$   | $\epsilon_r$       | $N_v$              |
|                                                                     | mm       |                                | MPa           | $\mu S$      | -     | $\mu S$            | -                  |
| SMA 11 PMB                                                          | 40       | Asfaltový koberec mastixový    | 6000          |              |       |                    |                    |
| AC 16 L PMB                                                         | 60       | Asfaltový betón ložný PMB      | 5500          | 180          | -5,0  | 15,58              | 1,14E+11           |
| AC 22 P PMB                                                         | 80       | Asfaltový betón podkladový PMB | 5500          | 180          | -5,0  | 60,03              | 2,38E+07           |
| CBGM C <sub>5/6</sub>                                               | 200      | Cementom stmelená zmes         | 1200          |              |       |                    |                    |
| UM ŠD                                                               | 200      | Štrkodrvina                    | 350           |              |       |                    |                    |
| Podložie                                                            | $\infty$ | Zemina v podloží               | 60            |              |       |                    |                    |

### 6.8.2 Návrh a posúdenie vozovky pre $N_c = 5\,000\,000$

Počet návrhových náprav navrhujeme 5 miliónov náprav o tiaži 100 kN. Navrhli sme dve skladby konštrukcií vozoviek, jednu s nestmelenou vrstvou a jednu s hydraulicky stmelenu vrstvou. Skladby vozoviek, vstupné údaje výpočtu a prevádzková výkonnosť vozoviek, sú uvedené v tabuľke 6.5.

 Tabuľka 6.5 Návrh a posúdenie vozovky pre  $N_c = 5\,000\,000$ 

| Vozovka pre $N_c = 5\,000\,000$ - nestmelená vrstva, vrstvy AC (PMB asfalt) |          |                                |               |              |       |                    |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|---------------|--------------|-------|--------------------|--------------------|
| Označenie vrstvy vozovky                                                    | Hr.      | Opis materiálu                 | Modul tuhosti | Defor.       | Sklon | Deform. vypočítana | Prevádz. výkonnosť |
|                                                                             | $h$      |                                | $S_{min}$     | $\epsilon_6$ | $p$   | $\epsilon_r$       | $N_v$              |
|                                                                             | mm       |                                | MPa           | $\mu S$      | -     | $\mu S$            | -                  |
| SMA 11 PMB                                                                  | 50       | Asfaltový koberec mastixový    | 6000          |              |       |                    |                    |
| AC 16 L PMB                                                                 | 60       | Asfaltový betón ložný PMB      | 4500          | 160          | -5,0  | 25,56              | 1,70E+09           |
| AC 16 P PMB                                                                 | 70       | Asfaltový betón podkladový PMB | 4500          | 160          | -5,0  | 80,04              | 5,65E+06           |
| UM MSK                                                                      | 250      | Mechanicky stmelené kamenivo   | 600           |              |       |                    |                    |
| UM ŠD                                                                       | 200      | Štrkodrvina                    | 350           |              |       |                    |                    |
| Podložie                                                                    | $\infty$ | Zemina v podloží               | 60            |              |       |                    |                    |
| Vozovka pre $N_c = 5\,000\,000$ - stmelená vrstva, vrstvy AC (PMB asfalt)   |          |                                |               |              |       |                    |                    |
| Označenie vrstvy vozovky                                                    | Hr.      | Opis materiálu                 | Modul tuhosti | Defor.       | Sklon | Deform. vypočítana | Prevádz. výkonnosť |
|                                                                             | $h$      |                                | $S_{min}$     | $\epsilon_6$ | $p$   | $\epsilon_r$       | $N_v$              |
|                                                                             | mm       |                                | MPa           | $\mu S$      | -     | $\mu S$            | -                  |
| SMA 11 PMB                                                                  | 40       | Asfaltový koberec mastixový    | 6000          |              |       |                    |                    |
| AC 16 L PMB                                                                 | 50       | Asfaltový betón ložný PMB      | 4500          | 160          | -5,0  | 21,93              | 3,66E+09           |
| AC 22 P PMB                                                                 | 50       | Asfaltový betón podkladový PMB | 4500          | 160          | -5,0  | 73,68              | 8,54E+06           |
| CBGM C <sub>5/6</sub>                                                       | 170      | Cementom stmelená zmes         | 1200          |              |       |                    |                    |
| UM ŠD                                                                       | 200      | Štrkodrvina                    | 350           |              |       |                    |                    |
| Podložie                                                                    | $\infty$ | Zemina v podloží               | 60            |              |       |                    |                    |

Tabuľka 6.6 Návrh a posúdenie vozovky pre  $N_c = 500\,000$ 

| Vozovka pre $N_c = 500\,000$ - nestmelená vrstva, vrstvy AC (cestný asfalt) |          |                              |               |              |       |                    |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------|---------------|--------------|-------|--------------------|--------------------|
| Označenie vrstvy vozovky                                                    | Hr.      | Opis materiálu               | Modul tuhosti | Deform.      | Sklon | Deform. vypočítaná | Prevádz. výkonnosť |
|                                                                             | $h$      |                              | $S_{min}$     | $\epsilon_6$ | $p$   | $\epsilon_r$       | $N_v$              |
|                                                                             | mm       |                              | MPa           | $\mu S$      | -     | $\mu S$            | -                  |
| AC 11 O 50/70                                                               | 50       | Asfaltový betón obrus        | 6000          |              |       |                    |                    |
| AC 16 L 50/70                                                               | 60       | Asfaltový betón ložný        | 5500          | 100          | -4,5  | 23,35              | 1,46E+08           |
| AC 16 P 35/50                                                               | 70       | Asfaltový betón podklad      | 5500          | 100          | -4,5  | 77,77              | 6,52E+05           |
| UM MSK                                                                      | 250      | Mechanicky stmelené kamenivo | 600           |              |       |                    |                    |
| UM ŠD                                                                       | 200      | Štrkodrvina                  | 350           |              |       |                    |                    |
| Podložie                                                                    | $\infty$ | Zemina v podloží             | 60            |              |       |                    |                    |
| Vozovka pre $N_c = 500\,000$ - stmelená vrstva, vrstvy AC (cestný asfalt)   |          |                              |               |              |       |                    |                    |
| Označenie vrstvy vozovky                                                    | Hr.      | Opis materiálu               | Modul tuhosti | Deform.      | Sklon | Deform. vypočítaná | Prevádz. výkonnosť |
|                                                                             | $h$      |                              | $S_{min}$     | $\epsilon_6$ | $p$   | $\epsilon_r$       | $N_v$              |
|                                                                             | mm       |                              | MPa           | $\mu S$      | -     | $\mu S$            | -                  |
| AC 11 O 50/70                                                               | 50       | Asfaltový betón obrus        | 6000          |              |       |                    |                    |
| AC 16 L 35/50                                                               | 70       | Asfaltový betón ložná        | 5500          | 100          | -4,5  | 71,18              | 9,71E+05           |
| CBGM C <sub>5/6</sub>                                                       | 200      | Cementom stmelená zmes       | 1200          |              |       |                    |                    |
| UM ŠD                                                                       | 200      | Štrkodrvina                  | 350           |              |       |                    |                    |
| Podložie                                                                    | $\infty$ | Zemina v podloží             | 60            |              |       |                    |                    |

### 6.8.3 Návrh a posúdenie vozovky pre $N_c = 500\,000$

Počet návrhových náprav navrhujeme 500 000 náprav o tiaži 100 KN. Navrhli sme dve skladby konštrukcií vozoviek, jednu s nestmelenou vrstvou a jednu s hydraulicky stmelenu vrstvou. Skladby vozoviek, vstupné údaje výpočtu a prevádzková výkonnosť vozoviek, sú uvedené v tabuľke 6.6.

### 6.9 Závery z riešenia projektu

Výstupom projektu sú vhodné receptúry asfaltového betónu pre obrusnú, ložnú a podkladovú asfaltovú vrstvu vozovky s použitím modifikovaného asfaltu a s použitím cestného asfaltu. Všetky navrhnuté zmesi spĺňajú požadované hodnoty funkčných vlastností.

Projekt preukázal málo významný vplyv kameniva, vzhľadom k zloženiu kameniva, aj veľkosti jeho najväčšieho zrna, na modul tuhosti aj na únavové charakteristiky asfaltového betónu.

Vplyv asfaltu v asfaltovej zmesi sa preukázal ako veľmi významný. Na modul tuhosti mala výrazný vplyv penetrácia asfaltu. Na únavové charakteristiky má veľmi veľký vplyv modifikácia asfaltu. Asfaltové betóny s modifikovaným asfaltom majú niekoľkonásobne väčšiu odolnosť voči únave (životnosť).

Projekt načrtol nový spôsob posúdenia netuhej asfaltovej vozovky s vyššou spoľahlivosťou. Doteraz sa pri návrhu a posúdení vozovky používali len výpočtové hodnoty modulov a charakteristiky únavy. V tomto projekte sa uplatňujú vo výpočte hodnoty modulov tuhosti asfaltového betónu  $S_{min}$  získané priamo zo skúšok. Na základe výsledkov skúšok funkčných vlastností zmesí asfaltového betónu boli navrhnuté požadované konkrétne hodnoty modulov tuhosti  $S_{min}$  a  $S_{max}$  v zmysle normy STN EN 13108-1. Výrobca asfaltového betónu musí overiť skúškami a preukázať s pravdepodobnosťou 95 %, že splnil požadované hodnoty modulu tuhosti  $S_{min}$  a  $S_{max}$ .

Pri posúdení vozovky sa podľa projektu uvažujú hodnoty únavových charakteristík získané priamo zo skúšok podľa STN EN 12697-24 pre dané asfaltové zmesi, a to pomernú deformáciu  $\varepsilon_6$  a sklon únavovej čiary  $p$ . Na základe výsledkov skúšok únavových charakteristík sú navrhnuté požadované konkrétne hodnoty únavových charakteristík  $\varepsilon_6$  a  $p$  pre dva druhy asfaltového betónu s cestným asfaltom a s polymérom modifikovaným asfaltom. Aj tieto požadované hodnoty musí výrobca overiť skúškami.

Overené hodnoty modulu tuhosti a únavových charakteristík bude musieť výrobca asfaltovej zmesi deklarovať vo vyhlásení o parametroch v zmysle zákona č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch.

Súčasne je spracovaná metodika výpočtu (vzorce a rovnice) prevádzkovej výkonnosti asfaltových vrstiev vozovky, posúdenie vozovky a spoľahlivosť posúdenia.

V projekte boli navrhnuté konštrukcie vozoviek v dvoch alternatívach pre tri druhy zaťaženia, ktoré boli posúdené podľa navrhovaných kritérií pomerných deformácií (doteraz bolo kritérium napätie) a boli vypočítané ich prevádzkové výkonnosti (životnosti) s uplatnením funkčných vlastností asfaltových materiálov.

Významnou mierou sa ukázal rozdiel v prevádzkovej výkonnosti vrstvy z asfaltového betónu, v ktorom bolo použité modifikované spojivo a v prevádzkovej výkonnosti vrstvy z asfaltového betónu, v ktorom bolo použité asfaltové nemodifikované spojivo vyrobené podľa STN EN 12591.

Výrazne sa to prejavilo rozdielom prevádzkovej výkonnosti v tabuľkách 6.5 a 6.6, kde rovnaká hodnota vypočítaného  $\varepsilon$  prináša rozdielne výsledky prevádzkovej výkonnosti, a to až 10 násobne.

Projekt ukázal smer, ktorým sa bude uberať navrhovanie vozoviek s vyššou spoľahlivosťou. Vstupnými údajmi pre navrhovanie a posudzovanie asfaltových vozoviek budú konkrétne, laboratórne získané a overené hodnoty s danou pravdepodobnosťou jednotlivých zabudovaných materiálov do vrstiev vozovky, v tomto prípade asfaltového betónu.

Takto zameraný projekt bol prvý z hľadiska stanovenia modulu tuhosti a únavy na štvorbodovom zariadení. Z tohto dôvodu boli pre skúšky použité normové hodnoty podmienok skúšok (teploty, frekvencie, pretvorenia).

Pre praktickú aplikáciu skúšok za účelom vstupov do návrhovej metódy bude potrebné zvoliť iné podmienky skúšok.

Podrobnejšie výsledky projektu s názvom „Vplyv materiálov asfaltových zmesí na spoľahlivosť vrstiev vozovky“, ktorý sme riešili za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja pod evidenčným číslom projektu APVV-067-10 sú publikované v článkoch uvedených v kapitole 6.10 Literatúra

**6.10 Literatúra**

- [6.1] Říkovský V.: Odolnost' proti únave asfaltových zmesí, In: 14. medzinárodná vedecká konferencia Q 2012 VÝSTAVBA, FINANCOVANIE A SPRÁVA CIEST A DIAL'NIC, september 2012, Žilina, ISBN 978-80-554-0572-8, p.183
- [6.2] Říkovský V.: Modul tuhosti asfaltových zmesí, In: XVII seminár Ivana Poliačka s medzinárodnou účasťou Poznatky zo stavieb diaľnic a rýchlostných ciest, november 2012, Bratislava, ISBN 978-80-895865-06-01, s. 171
- [6.3] Říkovský, V.: Štvorbodová skúška únavy meraná ohybom na skúšobných vzorkách tvaru hranola, In: Zborník z 15. medzinárodnej vedeckej konferencie Q-2013 Technológie opráv a riadenie údržby ciest, Žilina, 12-13.09.2013 EDIS ŽU, s. 140-145, ISBN 978-80-554-0758-6;
- [6.4] Říkovský, V. - Fonód, A.: FUNKČNÉ POŽIADAVKY NA ASFALTOVÉ ZMESI A ZMENA OBJEMOVEJ HMOTNOSTI. In: Zborník prednášok konferencie: VÝSTAVBA A REHABILITÁCIA ASFALTOVÝCH VOZOVIEK Ekonomicky a kvalitne, Podbanské -GRANDHOTEL PERMON, 26.-27.marec 2013, str. 30-36, ISBN 978-80-232-0319-6
- [6.5] Říkovský, V. - Fonód, A.: SKÚŠKY ASFALTOVÝCH ZMESÍ NA SPLNENIE FUNKČNÝCH POŽIADAVIEK, In: Zborník KONFERENCE ASFALTOVÝCH VOZOVEK 2013, České Budějovice 26.-27.listopadu 2013, PRAGOPROJEKT, a.s., K. Ryšánce 1668/16, 14754 Praha, Česká republika, str.21, ISBN 978-80-903925-3-3

## **7. Závery pre navrhovanie netuhých vozoviek**

Súčasne platná návrhová metóda je uvedená v technických podmienkach TP 03/2009 Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek, dostupný na stránke Slovenskej správy ciest: [www.ssc.sk](http://www.ssc.sk), technické predpisy.

### **7.1 Nevýhody súčasne platnej návrhovej metódy polotuhých a netuhých vozoviek**

#### **7.1.1 Materiálové charakteristiky**

Charakteristiky materiálov sú výpočtové charakteristiky, ktoré sa nedajú priamo odmerať a stanoviť. Jedná sa hlavne o charakteristiky asfaltových zmesí hydraulicky stmelených zmesí a netmelených zmesí.

Veľmi ťažko sa stanovujú výpočtové charakteristiky nových materiálov (nové asfaltové zmesi, nové hydraulicky stabilizované zmesi a podobne).

#### **7.1.2 Kritériá**

Posudzovacie kritérium B. Pevnosť a únava stmelených materiálov sa posudzuje u asfaltových vrstiev vozovky pre tri teplotné stavy, ktoré sú charakterizované ekvivalentnými teplotami vrstiev z asfaltových zmesí : 0 °C, + 11 °C a + 27 °C. Uvažujú sa tri rôzne moduly, tri rôzne poissonove čísla, tri rôzne pevnosti ale únavové charakteristiky len pre jednu teplotu.

Aj únavové charakteristiky pre hydraulicky stmelené zmesi neboli niekoľko rokov (desaťročí) overované, pričom sú úplne nové druhy spojív.

### **7.2 Odporúčania pre novú návrhovú metódu**

Nová návrhová metóda by mala byť postavená na overiteľných materiálových charakteristikách vrstiev vozoviek. Výpočtové charakteristiky by sa mali stanovovať na základe skúšok materiálov (napríklad asfaltové zmesi charakteristika modul tuhosti podľa skúšobnej normy STN EN 13108-26). Aj degradácia materiálov by mala vychádzať zo skúšok (napríklad únava asfaltových zmesí zo skúšky STN EN 13108-26).

Obdobne je potrebné vykonať aj skúšky hydraulicky stmelených materiálov a nestmelených materiálov.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že revízií novej návrhovej metódy pre netuhé vozovky musí predchádzať výskumný projekt so zameraním sa na stanovenie výpočtových charakteristík, priamo merateľných skúšobnými metódami stanovenými v normách EN pripravovaných a STN EN prípadne STN.

Takto stanovené charakteristiky budú musieť výrobcovia týchto materiálov deklarovať vo vyhlásení o parametroch v zmysle zákona o stavebných výrobkoch so stanovenou spoľahlivosťou.

Týmto sa dosiahne, že materiálové charakteristiky vstupujúce do výpočtu budú zarúčené so stanovenou pravdepodobnosťou.

Súčasne je potrebné aj zmeniť kritériá pevnosti stmelенých materiálov a prejsť na kritériá pomerných deformácií stmelенých materiálov vrstiev vozovky, tak ako to používajú v okolitých štátoch (Francúzsko, Nemecká spolková republika, Česká republika, Rakúsko atď.).

Veľmi je potrebné zvážiť aj počet posudzovaných období charakterizovaných teplotou, nakoľko únavové skúšky cestných stavebných materiálov sú časovo aj finančne náročné. Mnohé štáty používajú len jednu teplotu.

Navrhujeme, aby projekt ohľadom stanovenia výpočtových charakteristík materiálov vrstiev vozovky, ako aj revízie návrhovej metódy pre netuhé a polotuhé vozovky (respektíve novú návrhovú metódu) riešila skupina odborníkov a viacero organizácií (najmenej 3) disponujúcich potrebným laboratórnym vybavením a dostatočnou kvalifikáciou.

Predpokladá sa odskúšanie viacerých druhov asfaltových materiálov, hydraulicky stmelенých materiálov a nestmelенých materiálov za účelom stanovenia deformačných charakteristík a degradačných (únavových) funkcií.

Projekt bude časovo (najmenej 3 roky) a finančne náročný. Na základe výsledkov projektu bude možné spracovať revíziu návrhovej metódy. Návrhová metóda opierajúca sa o výsledky výskumu bude spoľahlivejšia a priblíži sa reálnym hodnotám charakteristík materiálov vrstiev vozoviek.

## **8. Odporúčania pre revíziu normy STN 73 6114**

Členenie tejto kapitoly je usporiadané podľa kapitol a článkov normy STN 73 6114.

Navrhujeme zmeniť názov normy a upraviť ho nasledovne:

### **Vozovky cestných komunikácií Základné ustanovenia pre navrhovanie**

#### **8.1 Predmet normy**

Doplniť vetu. Stanovuje všeobecné zásady pre návrh vozoviek všetkých typov vozoviek vrátane ich stavebnej údržby, opráv a rekonštrukcií.

#### **8.2 Termíny a definície**

Termíny a definície je potrebné dať do súladu s novými názvoslovnými normami a novými poznatkami.

##### **8.2.1 Všeobecné termíny**

##### **8.2.2 Výpočet**

Výpočet vozovky je potrebné zmeniť na výpočet modelu vozovky.

##### **8.2.3 Defektológia**

V tejto časti je potrebné doplniť aj poruchy odvodnenia vozovky a zemného telesa, lebo aj tieto poruchy majú vplyv na poruchy konštrukcie vozovky.

##### **Diagnostika vozovky**

Vložiť kapitolu diagnostika vozovky a niektoré pojmy v oblasti diagnostiky.

##### **Premenné parametre vozovky**

Vložiť časť premenné parametre vozovky.

##### **8.2.4 Spol'ahlivosť**

Schopnosť vozovky plniť požadované prevádzkové funkcie počas návrhového obdobia.

##### **8.2.5 Medzné stavy**

Upraviť niektoré definície ako únosnosť atď.

##### **8.2.6 Návrhové situácie**

V tejto časti navrhujeme zameniť pojem čiastkové návrhové obdobie za časť návrhového obdobia.

##### **8.2.7 Životnosť**

Časť návrhového obdobia je obdobie, ktoré môže z hľadiska navrhovania byť rozhodujúce.

##### **8.2.8 Podložie a materiál**

##### **8.2.9 Zaťaženie**

##### **8.2.10 Účinky zaťaženia**

### **8.2.11 Rehabilitácia vozovky**

V tejto novej časti je potrebné definovať pojmy:

- rehabilitácia vozovky,
- údržba vozovky,
- oprava vozovky,
- rekonštrukcia vozovky,
- obnova parametra (-ov) vozovky,
- systém hospodárenia vozovky;
- niektoré vybrané pojmy zo systému hospodárenia s vozovkami.

## **8.3 Zásady navrhovania**

### **8.3.1 Navrhovanie nových vozoviek**

V STN 73 6114: 1997 článok 3.1.7 uvádzané kombinované metódy je potrebné v revízii normy priamo zakázať.

V revidovanej STN 73 6114 článok 3.1.9 je potrebné priamo uviesť, že katalógy vozoviek môžu byť zostavené a vypočítané len podľa platnej návrhovej metódy.

### **8.3.2 Navrhovanie rehabilitácie vozovky**

Údržba povrchu vozovky sa vykonáva pravidelne, v stanovených intervaloch na základe druhu povrchovej vrstvy a jej životnosti.

Oprava a rekonštrukcia vozovky si vyžaduje spracovanie projektu, pričom sa pri navrhovaní opravy uplatňuje rovnaký postup ako pri návrhu novej vozovky, vrátane posúdenia vozovky. Charakteristiky materiálov konštrukčných vrstiev sa stanovujú na základe ich predošlého namáhania využívajúc degradačné modely a únavu materiálov.

Oprava a rekonštrukcia vozovky sa nesmie navrhovať bez uplatnenia výsledkov realizovanej diagnostiky stavu premenných parametrov vozovky, znalosti o konštrukcii vozovky a materiálov vrstiev vozovky a podloží.

Opravu a rekonštrukcie je možné navrhovať iba pre vozovky, ktoré majú funkčné odvodnenie a dostatočne únosné zemné teleso.

### **8.3.3 Konštrukčné a technologické požiadavky**

Návrhová metóda musí zohľadňovať v rámci svojich kritérií odchýlky, ktoré umožňujú technologické normy (napríklad stavbu asfaltových vrstiev vozovky len v priemerných hrúbkach 90 % od projektovanej hrúbky podľa STN 73 6121), odchýlky materiálových charakteristík a podobne.

Súčasne musí návrhová metóda definovať niektoré technologické požiadavky, pomocou ktorých sa splnia predpoklady výpočtu (napríklad dokonalé spojenie všetkých vrstiev

vozovky). Alternatívne sa musí uvažovať aj s nesplnením niektorých technologických požiadaviek.

#### **8.3.4 Návrhové obdobie**

Stanovenie návrhového obdobia vychádza z účelu a významu komunikácie. Navrhujeme pre diaľnice stanoviť pevný počet návrhových náprav na celé obdobie životnosti. Výhľadové koeficienty pre diaľnice nezodpovedajú skutočnosti.

Návrhové obdobie na údržbu nie je, lebo údržba sa neposudzuje na základe návrhovej metódy.

Návrhové obdobie pre opravy a rekonštrukcie priamo závisí od finančných prostriedkov vyčlenených na tento účel.

#### **8.3.5 Optimalizácia návrhu**

V tejto časti je potrebné opraviť mieru využitia pevnosti materiálu vrstiev. Pri súčasne platných návrhových metódach v zahraničí to neplatí a pri zmene návrhovej metódy, ktorá sa opiera o priamo namerané hodnoty to tiež nebude platiť.

### **8.4 Charakteristiky prostredia**

Používanie indexu mrazu a kritéria potrebného tepelného odporu vozovky je správne, a nie je potrebné ho meniť vrátane prílohy D. Prílohu A nie je potrebné meniť. Prílohu B je potrebné aktualizovať.

Aktualizácia bola prerokovaná dňa 24.4.2015 a zo strany SHMÚ ponúkli:

- Produkt: Príprava 4 ks máp v mierke 1 : 1 000 000
- Termín (doba) spracovania: **4 mesiace** po dodaní oficiálnej objednávky od zadávateľa.

Podrobnejší popis produktu:

- mapy návrhových hodnôt indexu mrazu:
  - o mapa návrhových hodnôt indexu mrazu  $I_m$  pre periodicitu  $n=0,10$ ;
  - o mapa návrhových hodnôt indexu mrazu  $I_m$  pre periodicitu  $n=0,15$ ;
  - o mapa návrhových hodnôt indexu mrazu  $I_m$  pre periodicitu  $n=0,25$ ;

Jednotlivé plochy intervalov  $I_m$ , oddelené izočiarami  $I_m$ , budú odstupňované po 50, vo vyšších polohách po 100 jednotiek  $I_m$ . Obdobie spracovania údajov: 1961/1962-2010/2011.

- mapa priemerných ročných teplôt vzduchu ( $T$ ).

Jednotlivé plochy intervalov  $T$ , oddelené izočiarami  $T$ , budú odstupňované po 1 °C, od hodnoty 4 °C po hodnotu 2 °C, obdobie spracovania údajov: 1961-2010.

Ďalšie obchodné podmienky SHMÚ:

- mapy nesmú byť upravované bez písomného súhlasu SHMÚ;
- musí byť uvedený SHMÚ ako zdroj údajov a prípadne aj logo SHMÚ;

- vlastnícke právo k mapám sa nepredáva;
- mapy nesmú byť použité bez písomného súhlasu SHMÚ pre iný účel ako pre aktualizáciu normy STN 73 6114: 1997 .

## **8.5 Dopravné zaťaženie**

### **8.5.1 Dopravné zaťaženie**

### **8.5.2 Klimatické zaťaženie**

Návrhová metóda musí zohľadňovať klimatické zaťaženie a jeho vplyvy na vozovku.

### **8.5.3 Iné zaťaženie**

Aj pri návrhu vozoviek miestnych komunikácií je potrebné zohľadniť zaťaženie stavebniskovou dopravou, ktorá v mnohých prípadoch je väčšia ako celkové zaťaženie počas návrhového obdobia.

## **8.6 Konštrukčné vrstvy vozoviek**

### **8.6.1 Konštrukčné vrstvy vozoviek**

Delenie konštrukčných vrstiev môže zostať takéto:

- kryt;
- podklad;
- ochranná vrstva.

Navrhujeme prekresliť obrázok.

### **8.6.2 Jednotlivé konštrukčné vrstvy a podložie sa pri návrhu definujú:**

Jednotlivé konštrukčné vrstvy a podložie sa pri návrhu definujú:

- charakteristikami materiálov;
- charakteristikami zeminy v podloží;
- hrúbkou.

Charakteristiky materiálov musia byť stanovené v súlade s použitou návrhovou metódou. Návrhové metódy stanovujú výpočtové hodnoty priamo alebo sa stanovujú z presne definovaných skúšobných metód.

Charakteristiky materiálov zo skúšobných metód (uvedených v európskych normách, prípadne STN) by mali byť stanovené s danou spoľahlivosťou.

Charakteristiky materiálov a podložia môžu byť stanovené aj na základe zaťažovacích, prípadne diagnostických metód tiež s danou spoľahlivosťou.

Charakteristiky materiálov a podložia sa stanovujú pre podmienky (teplota, vlhkosť; spôsob a veľkosť namáhania) používané v návrhovej metóde pri posudzovaní vozovky.

Návrhová metóda musí uvažovať s degradáciou materiálov vozovky a zeminy v podloží počas namáhania v návrhovom období (napríklad charakteristikami únavy).

## **8.7 Výpočet a posúdenie vozoviek**

### **8.7.1 Výpočet konštrukcie vozovky**

### **8.7.2 Parametre návrhového obdobia**

Návrhová metóda nestanovovala konkrétne parametre, ktoré by sa dali kontrolovať. Navrhujeme vypustiť.

### **8.7.3 Výpočtový model**

Návrhová metóda by mala navrhovať a posudzovať vozovku tak, aby v materiáloch vrstiev vozovky a v zemine podložia bolo len namáhanie v pružnej oblasti.

### **8.7.4 Odchýlky výpočtového modelu**

### **8.7.5 Návrh výpočtového modelu**

Výpočtový model vozovky sa pre netuhé a polotuhé vozovky uvažuje ako vrstevnatý pružný polopriestor, a pre tuhé vozovky ako tuhá doska na vrstevnatom pružnom podklade.

### **8.7.6 Odozva konštrukcie vozovky**

Namáhanie materiálov vrstiev vozovky a zeminy v podloží je potrebné overiť pre všetky návrhové situácie.

#### **Príloha A**

Je potrebné inovovať v zmysle ponuky SHMÚ.

#### **Príloha B**

Je potrebné inovovať v zmysle ponuky SHMÚ.

#### **Príloha C**

Doplniť o parametre prípustnej nápravy.

#### **Príloha D**

Navrhujeme bez zmien.

#### **Príloha E**

Je potrebné zrušiť.

## **9. Záver**

### **9.1 Úvod**

Predložená rozborová úloha obsahuje rešerš o navrhovaní asfaltových vozoviek, závery výskumného projektu zameraného na spoľahlivosť navrhovania a posudzovania asfaltových vrstiev vozoviek a návrh zmien pre revíziu normy STN 73 6114 Navrhovanie vozoviek. Tiež sú uvedené nevýhody súčasne platnej návrhovej metódy pre asfaltové vozovky a odporúčania pre novú návrhovú metódu.

### **9.2 Poznatky zo zahraničia**

Poznatky zo zahraničia boli zhrnuté do týchto častí:

- analýza navrhovania, navrhovanie nových vozoviek, navrhovanie opráv, rekonštrukcií a stavebnej údržby;
- analýza konštrukčných a technických požiadaviek;
- dopravné zaťaženie;
- návrhové metódy;
- posudzovanie nestmelených vrstiev a podložia.

Každá časť má výsledky zhrnuté v záverečnej podkapitole jednotlivjej časti. Všetky závery boli uplatnené pri odporúčaní návrhu revízie normy STN 73 6114 a pri odporúčaní pre novú návrhovú metódu pre asfaltové vozovky.

Z rešerše možno konštatovať, že hlavný rozdiel medzi okolitými krajinami a SR pri posudzovaní asfaltových vozoviek, je že okolité krajiny používajú pomerné deformácie a výpočtové charakteristiky materiálov stanovené na základe výsledkov normovaných skúšok asfaltových zmesí pri navrhovaní a posudzovaní vozoviek, kým v SR sa používajú pevnosti materiálov.

### **9.3 Výskumný projekt**

Závery výskumného projektu ukázali, že namerané hodnoty modulov tuhosti a namerané hodnoty únavových charakteristík môžu priamo vstupovať do návrhu a posúdení asfaltových vrstiev asfaltovej vozovky pri uplatnení kritéria pomenej deformácie v asfaltových vrstvách.

### **9.4 Odporúčania pre revíziu normy STN 73 6114**

Odporúčanie pre revíziu normy STN 73 6114 sú podrobne spracované v kapitole 8.

#### **9.4.1 Analýza zásad navrhovania, navrhovanie nových vozoviek, navrhovanie opráv a rekonštrukcií a navrhovanie stavebnej údržby**

Je potrebné v norme zvýrazniť, že pri návrhu opráv a údržby sa musí vychádzať z diagnostiky vozovky na základe meraní premenných parametrov vozovky.

Odporúčanie - dopravné zaťaženie prepočítať na návrhovú nápravu, pričom návrhová metóda musí definovať návrhovú nápravu v súlade s platnými zákonmi a vyhláškami.

Model vozovky musí definovať návrhová metóda. Pre netuhé vozovky sa stanovuje viacvrstvový pružný systém na pružnom polopriestore. Väzke a plastické vlastnosti niektorých materiálov sa uplatnia len pri výpočte trvalých deformácií.

Norma by mala jednoznačne zakázať kombinovať návrhové metódy. Návrhová metóda musí byť ako celok.

Norma by mala odporúčať, aby pri posudzovaní netuhej vozovky sa ako kritérium využívala pomerná deformácia v asfaltových zmesiach.

Výpočtové charakteristiky asfaltových zmesí, hydraulicky stmelенých zmesí a nestmelенých zmesí vstupujúcich do výpočtu, by mali vychádzať zo skúšok deformačných a únavových charakteristík týchto materiálov.

Samostatnú časť je potrebné venovať rehabilitácii vozovky, ktorá sa rozdeľuje na údržbu, opravu a rekonštrukciu. Je potrebné tieto pojmy definovať v norme. Oprava a rekonštrukcia sa musí vždy uskutočniť na základe projektu opravy, ktorý musí vychádzať okrem iného zo stavu vozovky, zistenej jej diagnostikou a stanovením príčiny porúch defektológiou. Súčasne je potrebné pre opravu a rekonštrukciu vozovky skontrolovať a pri poruchách opraviť stav zemného telesa a odvodnenie vozovky.

Obnova parametra alebo parametrov vozovky je súčasťou rehabilitácie vozovky. Môže sa vykonávať ako údržba, oprava a pri obnove prevádzkovej výkonnosti to môže byť aj rekonštrukcia. Vykonáva sa vždy pri prekročení hraničnej hodnoty sledovaného parametra.

Je potrebné zvýrazniť, že stavebnú údržbu a opravy je potrebné vykonávať najmenej v intervaloch technologickej životnosti úpravy vozovky t.j. viackrát počas návrhového obdobia.

Výraznejšie, ako samostatný bod, je potrebné požadovať, aby pri každom návrhu opravy a rekonštrukcie bola vozovka posúdená podľa návrhovej metódy, pričom by bolo zohľadnené, že materiály vozoviek boli namáhané opakovaným namáhaním.

#### **9.4.2 Analýza konštrukčných a technických požiadaviek**

Materiály vrstiev vozovky a podložia musia spĺňať príslušné normy. Konkrétna návrhová metóda bude uvádzať výpočtové charakteristiky jednotlivých materiálov. Vo vzťahu k týmto charakteristikám musia byť v návrhovej metóde definované požiadavky na materiály vrstiev, ich skúšanie a kontrolu, vrátane spoľahlivosti týchto údajov (normy a predpisy ako sú TP, TKP, katalógové listy atď.).

Návrhové obdobie je veľmi krátke, 20 rokov pre netuhú vozovku a 30 rokov pre tuhú vozovku. Pre diaľnice a rýchlostné komunikácie navrhujeme používať počet návrhových náprav počas životnosti obdobne ako v Rakúsku (kapitola 3 tejto RÚ).

#### **9.4.3 Charakteristiky prostredia, vodný režim podložia, index mrazu, analýzy vodno-tepelného režimu vozoviek a kritériá na zamedzenie premrzania zeminy v podloží**

Vodno-tepelný režim je dobre definovaný. Navrhujeme aktualizovať mapy indexu mrazu a mapu priemerných teplôt.

#### **9.4.4 Zaťaženie vo vzťahu k sčítaniu dopravy realizovaného SSC**

Navrhujeme, aby v návrhovej metóde bola definovaná návrhová metóda- spôsob prepočtu jednotlivých náprav na návrhovú nápravu. Keďže prípustná hmotnosť na nápravu je 11,5 t pre hnaciu nápravu a pre ostatné je hmotnosť na nápravu najviac 10 t. Pre návrhovú nápravu sa uvažuje hmotnosť 10 t.

Prepočet na návrhovú nápravu musí vychádzať zo sčítania dopravy (metodika sčítania sa teraz rieši v inej organizácii), a musí zabezpečiť, aby účinok počtu návrhových náprav bol ekvivalentom zaťaženia (vozidla alebo nápravy) vo vzťahu k účinku na vozovku.

#### **9.5 Nová návrhová metóda pre asfaltové vozovky**

Nová návrhová metóda by mala byť postavená na overiteľných materiálových charakteristikách vrstiev vozoviek. Výpočtové charakteristiky by sa mali stanovovať na základe skúšok materiálov (napríklad asfaltové zmesi charakteristika modul tuhosti podľa skúšobnej normy STN EN 13108-26). Aj degradácia materiálov by mala vychádzať zo skúšok (napríklad únava asfaltových zmesí zo skúšky STN EN 13108-26).

Obdobne je potrebné vykonať aj skúšky hydraulicky stmelených materiálov a nestmelených materiálov.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že revízii novej návrhovej metódy pre netuhé vozovky musí predchádzať výskumný projekt so zameraním sa na stanovenie výpočtových charakteristík, priamo merateľných skúšobnými metódami, ktoré získame meraním podľa noriem EN, STN EN prípadne STN.

Takto stanovené charakteristiky budú musieť výrobcovia týchto materiálov deklarovať vo vyhlásení o parametroch v zmysle zákona o stavebných výrobkoch so stanovenou pravdepodobnosťou.

Týmto sa dosiahne, že materiálové charakteristiky vstupujúce do výpočtu budú zaručené so stanovenou pravdepodobnosťou.

Súčasne je potrebné aj zmeniť kritériá pevnosti stmelených materiálov a prejsť na kritériá pomerných deformácií stmelených materiálov vrstiev vozovky, tak ako to používajú v okolitých štátoch (Francúzsko, Nemecká spolková republika, Česká republika, Rakúsko atď.).

Veľmi je potrebné zvážiť aj počet posudzovaných období charakterizovaných teplotou, nakoľko únavové skúšky cestných stavebných materiálov sú časovo aj finančne náročné. Mnohé štáty používajú len jednu teplotu.

Navrhujeme, aby projekt ohľadom stanovenia výpočtových charakteristík materiálov vrstiev vozovky, ako aj revízie návrhovej metódy pre netuhé a polotuhé vozovky (respektíve novú návrhovú metódu) riešila skupina odborníkov a viacero organizácií (najmenej 3) disponujúcich potrebným laboratórnym vybavením a dostatočnou kvalifikáciou.

Predpokladá sa odskúšanie viacerých druhov asfaltových materiálov, hydraulicky stmelených materiálov a nestmelených materiálov za účelom stanovenia deformačných charakteristík a degradačných (únavových) funkcií.

Projekt bude časovo (najmenej 3 roky) a finančne náročný. Na základe výsledkov projektu bude možné spracovať revíziu návrhovej metódy. Návrhová metóda opierajúca sa o výsledky výskumu bude spoľahlivejšia a priblíži sa reálnym hodnotám charakteristík materiálov vrstiev vozoviek.