

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

*Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 185*

*ISSN 1213-418X*

**Jan Kudrna**

**NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK  
A FUNKČNÍ VLASTNOSTI  
SILNIČNÍCH  
STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ**

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta stavební**

**Ústav pozemních komunikací**

**Doc. Ing. Jan Kudrna, CSc.**

**NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK A FUNKČNÍ VLASTNOSTI  
SILNIČNÍCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ**

**PAVEMENT DESIGN AND PERFORMANCE PROPERTIES  
OF ROAD MATERIALS**

**TEZE PŘEDNÁŠKY K PROFESORSKÉMU JMENOVACÍMU ŘÍZENÍ  
V OBORU KONSTRUKCE A DOPRAVNÍ STAVBY**



**BRNO 2005**

**KLÍČOVÁ SLOVA**

navrhování vozovek, funkční zkoušky, podloží, asfaltové směsi

**KEY WORDS**

pavement design, performance testing, subgrade, bituminous mixtures

# OBSAH

<b>PŘEDSTAVENÍ AUTORA .....</b>	<b>4</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>6</b>
<b>2 VÝPOČTOVÉ METODY .....</b>	<b>6</b>
<b>3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Moduly pružnosti zemin .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Kumulace nepružných přetvoření zemin.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Odolnost podloží proti mrazovým zdvihům .....</b>	<b>11</b>
<b>3.4 Moduly pružnosti asfaltových směsí .....</b>	<b>11</b>
<b>3.5 Odolnost proti únavě .....</b>	<b>13</b>
<b>3.6 Odolnost proti trvalým deformacím .....</b>	<b>14</b>
<b>3.7 Odolnost proti tvorbě nízkoteplotních trhlin .....</b>	<b>14</b>
<b>3.8 Odolnost proti účinkům vody .....</b>	<b>15</b>
<b>3.9 Odolnost proti smyku .....</b>	<b>15</b>
<b>3.10 Dopravní hluk.....</b>	<b>16</b>
<b>4 POSUZOVÁNÍ VOZOVEK.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Měření modulů pružnosti a návrh opravy vozovky.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Měření rovnosti povrchu vozovek .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Měření protismykových vlastností povrchů vozovek .....</b>	<b>18</b>
<b>5 SYSTÉMY PRO HOSPODAŘENÍ S VOZOVKOU.....</b>	<b>18</b>
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>19</b>
<b>7 SEZNAM ODKAZŮ NA CITOVANOU LITERATURU .....</b>	<b>19</b>
<b>8 PŘEHLED NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH PRACÍ AUTORA .....</b>	<b>20</b>
<b>9 KONCEPCE DALŠÍ VĚDECKÉ A PEDAGOGICKÉ ČINNOSTI .....</b>	<b>25</b>
<b>10 ABSTRACT .....</b>	<b>26</b>

## PŘEDSTAVENÍ AUTORA

**Doc. Ing. Jan Kudrna, CSc.**

*Narozen:* 30.4.1946 v Brandlíně, bývalý okres Dačice



### *Vzdělání*

- Střední všeobecně vzdělávací škola v Brně-Husovicích (1960-1963),
- Vysoké učení technické v Brně, obor Konstrukce a dopravní stavby (1963-1968),
- CSc.: 1987, téma Navrhování vozovek v systému silničního hospodářství, vědní obor 36-02-09 Teorie a konstrukce inženýrských staveb, dopravní stavby silniční,
- Doc.: 1998, obor Teorie a konstrukce inženýrských staveb.

### *Zaměření*

Navrhování konstrukcí vozovek, jejich údržby a oprav, vývoj a aplikace měřicích metod a zařízení pro stanovování funkčních vlastností silničních stavebních materiálů, vývoj nových silničních materiálů, jejich zkvalitňování a používání odpadních a druhotných surovin.

### *Přehled zaměstnání*

- 1968 – 1991, Silniční vývoj Brno (vývojový pracovník, stavbyvedoucí, vědeckotechnický pracovník),
- 1991 – doposud Vysoké učení technické, fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací (odborný asistent, vedoucí ústavu, docent)

### *Odborné stáže*

- 1990, Manažerský kurz, Dánsko (3 měsíce),
- 1996, odborná stáž na LCPC, Nantes a Paříž (2 týdny).

### *Výzkumné projekty (zodpovědný řešitel)*

- Státní úkol RVT P 12-526-074/3.7.2 Výzkum měření dynamických modulů silničních živičných směsí a stanovení počtu opakovaných zatížení na jejich životnost, řešený v Silničním vývoji, 1973-5.
- Resortní úkol RVT 314-1 33-002-00-20 Moderní technologie živičných prací, Silniční vývoj, 1974 až 1975.
- Resortní úkol RVT 12-14-21-03 Úprava vozovek v úsecích mimořádně namáhaných těžkou dopravou, Silniční vývoj, 1976-80.
- Resortní úkol RVT R 76 314 061 Úsporné podkladní vrstvy vozovek, Silniční vývoj, 1982-5,
- Resortní úkol RVT R 76 314 059 Úsporné vozovky, Silniční vývoj, 1986-90.
- Výzkumný projekt S 301/230/601 Zlepšení stavu vozovek pozemních komunikací, VUT FAST, 1996 až 2001.
- Výzkumný projekt S302/120/801 Využití membrán a výztužných prvků v konstrukci vozovky, VUT FAST, 1998 – 2000.
- Prediction of Pavement serviceability, RILEM Interlaboratory Prediction Evaluation PPPE, VUT FAST, 1999.
- Výzkumný projekt 1F45B/064/120 Protismykové charakteristiky povrchů pozemních komunikací podle evropských norem pro zvýšení bezpečnosti silničního provozu, VUT FAST, 2004 až 2007.

- Research project 5<sup>th</sup> frame programme SAMARIS, Review of the state of art in road and other industry by-product use in road construction and rehabilitation in the Central and East European countries, VUT FAST, 2003 až 2004.
- Research project 5<sup>th</sup> frame programme SAMARIS, The Use of Scrap Tyres in Road Construction, VUT FAST, 2005.

### ***Pedagogická činnost***

#### Magisterský program

- Konstrukce a dopravní stavby (1992 – 1996),
- Tržní mechanismy v silničním hospodářství (1992 – 1997),
- Navrhování a stavba vozovek (1994 – 2000),
- Silniční laboratoř (1992 – 2000),
- Diagnostika a management vozovek (1996 – doposud),
- Mechanizace a provádění pozemních komunikací (1996 – doposud),
- vedení 36 diplomantů,
- členství v komisích pro státní závěrečné zkoušky a obhajoby (VUT FAST Brno od roku 1990, Žilinská universita od roku 2000).

#### Doktorský program

- Spolehlivost konstrukcí vozovek,
- Reologie a porušování silničních stavebních materiálů,
- vedení 12 doktorandů, z toho 6 ukončilo s titulem Ph.D nebo Dr,
- členství v komisi pro obhajobu doktorských prací oboru Konstrukce a dopravní stavby od roku 1998

### ***Publikace:***

- 1 zahraniční monografie,
- 2 články v zahraničních časopisech a publikacích,
- 6 vynálezů,
- 9 příspěvků na mezinárodních kongresech a konferencích,
- 8 článků v domácích časopisech,
- 58 příspěvků v rámci domácích konferencí a seminářů,
- 22 českých norem, odborných příruček a technických předpisů,
- 96 větších studií, expertiz a posudků,
- 6 skript.

### ***Mezinárodní odborné aktivity***

- Zástupce ČR v technické komisi pro normalizaci silničních materiálů (CEN/TC 227) v roce 1995 až 2001.
- Zástupce ČR v pracovní skupině pro asfaltové směsi za horka (CEN/TC 227/WG 1) od roku 1995.
- Zástupce ČR v technickém výboru pro vozovky Světové silniční asociace (TC 7/8 PIARC) od roku 1999

# NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK A FUNKČNÍ VLASTNOSTI SILNIČNÍCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

## 1 ÚVOD

Dopravní cesty byly a jsou základem funkce každé civilizace a je zvykem hodnotit vyspělost civilizace vyspělostí jejího dopravního systému. Pokud se ponechají stranou vodní cesty, pak stavba pozemních cest byla od starověku založena na zkušenosti jejich stavitelů. Postupně s poznáním se rozvíjely moderní metody pro navrhování a posuzování konstrukcí včetně systémů pro navrhování údržby a oprav sítí dopravních cest.

Historický a současný přístup ke stavbě dopravních cest respektuje tyto vstupní proměnné charakteristiky:

- dopravní cesta se staví v různorodých klimatických podmínkách na různorodém podloží,
- ve vlastní konstrukci se používají místní a odpadní materiály,
- mění se a vyvíjí se technologie zpracování materiálů a stavby konstrukcí,
- požadavky na dopravní cestu se mění, v poslední době vystupují do popředí požadavky životního prostředí a bezpečnosti silničního provozu,
- dopravní cesty se vždy stavěly, udržovaly a opravovaly za peníze daňových poplatníků a většinou prostředky na výstavbu a údržbu celého systému cest byly nedostatečné.

Moderní cesta k navrhování konstrukcí vozovek se vyznačuje těmito postupnými etapami:

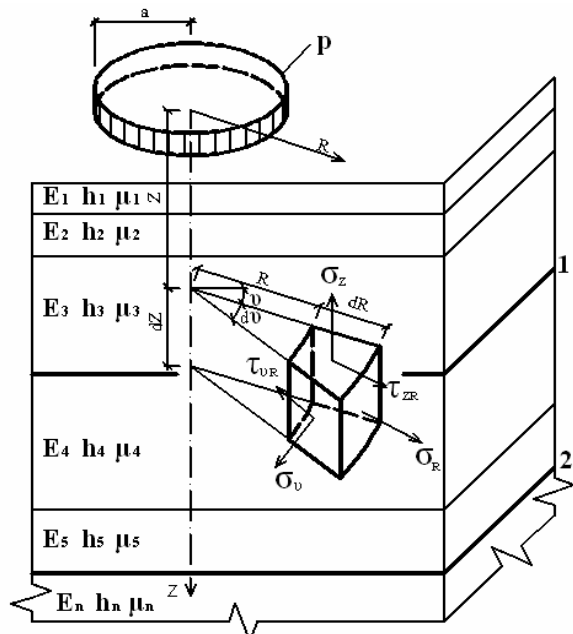
- První poznatky k budování vozovky byly získány koncem 19. století, nejprve se stanovily požadavky na výstavbu zemního tělesa a podloží, následně se hodnotila zkouškou únosnost podloží.
- Základ pro výpočtové metody pro stanovení napěťového a přetvárného stavu v konstrukci položil Boussinesq [1] a důležité pro moderní rozvoj bylo sestavení rovnic pro výpočet napěťových a přetvárných stavů ve vrstevnatém poloprostoru Burmisterem [2]. Numerické řešení těchto rovnic pak dalo základ doposud užívaným výpočtním metodám.
- Další krokem bylo používání zkušebních drah se zrychleným zatěžováním konstrukcí, hodnocení vývoje materiálových charakteristik a charakteristik spolehlivosti konstrukcí, několik takových zkušebních drah bylo posuzováno po válce v USA a následně v dalších zemích, v Československu byla používána kruhová zkušební dráha v Bratislavě.
- S rozvojem elektroniky od 60tých let se vyvíjely metody pro zkoušení charakteristik materiálů pro výpočet konstrukcí a hodnocení degračních procesů materiálů.
- S vybudováním sítí silnic a dálnic nastupuje v 80tých letech jejich pravidelné hodnocení pro plánování a provádění údržby a oprav, vytváří se systémy pro hospodaření s vozovkami (Pavement Management Systems), které zajišťují trvalou udržovatelnost a rozvoj dopravních systémů.

První návrhová metoda v Československu byla vydána v roce 1966 [3] a při jejím vytváření a zdokonalování [4] byla založena výzkumná aktivita, která s různou intenzitou trvá dodnes. S menším zpožděním jsou tak kopírovány světové tendence v tomto oboru.

## 2 VÝPOČTOVÉ METODY

První česká výpočtová metoda byla sestavena na FAST z iniciativy Dr. K. Kučery. Burmistrovo řešení poloprostoru zpracoval Prof. Drahoňovský pro počítač VUT Minsk 22. Současně se vyvíjel program LAYMED na Slovenské akademii věd [5] pro sálové počítače a tento program byl v roce 1988 iniciativou autora převeden na osobní počítače a užívá se dodnes. Při jeho zdokonalování se upřesňují charakteristiky vrstev, jejich spolupůsobení a podmínky spolehlivosti založené na měření silničních materiálů a vozovek. K ověřování některých detailů nebo k analýze spolehlivosti jsou používány i výpočtové programy pracující s konečnými prvky např. ANSYS [6].

Poslední úprava navrhování vozovek [7] používá výpočet vrstevnatého poloprostoru s tím, že všechny potřebné veličiny pro výpočet a posouzení vozovky jsou měřitelné a jsou měřitelné i podstatné charakteristiky hotových a používaných vozovek. Vhodný způsob měření použitých materiálů, vrstev a celých vozovek funkčními zkouškami (performance tests) vytváří systém zpětných vazeb a stálého zdokonalování navrhování. Takové návrhové metody se označují jako orientované na funkčnost vozovek (performance design method).



**Obrázek 1 – Schéma poloprostoru a vypočtené veličiny**

Základem výpočtu vozovky je řešení poloprostoru se stanovením všech veličin přetvoření a napětí v různých vrstvách a vzdálenostech od působícího zatížení. Schéma poloprostoru, jeho charakteristik a vypočtených veličin jsou dokumentovány v obr. 1.

V posouzení vozovky jsou pak použity 2 podmínky spolehlivosti vyjádřené stejnou matematickou rovnicí, které zaručují, že poměrné porušení daného konstrukčního prvku bude i pro období přesahující návrhové období 25 let zaručovat opravitelnost konstrukce bez výměny těchto prvků. Toto je zajištěno splněním uvedených podmínek, které zajišťují, že s předepsanou spolehlivostí:

1. na spodním lici asfaltových vrstev nebo cementobetonového krytu únavový jev nedosáhne stadia šíření trhlin vrstvami,
2. na povrchu podloží se nedosáhne kumulace nepružných přetvoření, která by bránila funkci odvodnění pláň.

Kromě dvou uvedených podmínek spolehlivosti existuje řada konstrukčních a technologických opatření, které jsou rovněž pokryty funkčními zkouškami.

Při posouzení spolehlivosti konstrukce vozovky výše uvedenými dvěma podmínkami spolehlivosti se vychází ze superpozice relativních poškození, která vyjadřuje, že daná velikost každého namáhání poškodí materiál úměrně meznímu počtu těchto namáhání stanoveného zkouškou (tzv. Minerova hypotéza [8]):

$$D_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{ij,lim}}, \quad (1)$$

$$D_{cd} = \sum_{i=1}^{m_i} \sum_{j=1}^{m_j} D_{ij}, \quad (2)$$

kde

$D_{ij}$  je poměrné porušení návrhového průřezu po  $N_{ij}$  opakování zatížení  $i$ -tou zatěžovací sestavou v  $j$ -tých podmínkách,

$N_{ij}$  celkový počet opakování zatížení vyjádřeného  $i$ -tou zatěžovací sestavou v  $j$ -tých podmínkách,

$N_{ij,lim}$  mezní počet opakování zatížení vyjádřený  $i$ -tou zatěžovací sestavou v  $j$ -tých podmínkách,

$D_{cd}$  celkové poměrné porušení v průběhu návrhového období,

$m_i$  počet různých kategorií zatěžovacích sestav,

$m_j$  počet různých podmínek.



Celkové poměrné porušení  $D_{cd}$  musí splňovat podmínku:

$$D_{cd} \leq 1 \quad (3)$$

Mezní počet opakování zatížení vozovky se stanoví ze vztahu:

- pro netuhé vozovky

$$N_{ij,lim} = \frac{10^6}{\gamma_d C_2 C_4} \left( \frac{\gamma_u \gamma_D \varepsilon_6}{\gamma_{up} \varepsilon_{ij}} \right)^B, \quad (4)$$

- pro tuhé vozovky

$$N_{ij,lim} = \frac{1}{\gamma_d C_2} \left( \frac{\gamma_u \gamma_D f_{t,ij}}{\sigma_{Q,ij} + \psi \cdot \sigma_{Tj}} \right)^B, \quad (5)$$

kde

$N_{ij,lim}$  je mezní počet opakování zatížení  $i$  v podmínkách  $j$ ,

$\varepsilon_{ij}$  vypočtené maximální přípustné poměrné protažení na spodním líci asfaltových vrstev nebo přípustné maximální stlačení povrchu podloží vozovky pod zatížením  $i$  v podmínkách  $j$  dosazované v absolutní hodnotě, mikrostrain ( $10^{-6}$  m/m),

$\sigma_{Q,ij}$  maximální napětí v tahu v cementobetonové vrstvě od zatížení  $i$  v podmínkách  $j$ , MPa,

$\sigma_{Tj}$  maximální napětí v tahu v cementobetonové vrstvě vlivem teploty v podmínkách  $j$ , MPa,

$f_{ij}$  pevnost v tahu betonu – napětí na mezi porušení jednorázovým namáháním za  $j$ -tých podmínek, MPa,

$\varepsilon_6$ , velikost přípustného poměrného přetvoření z únavové zkoušky odpovídající  $10^6$  cyklů opakovaného zatížení, mikrostrain,

$B$  charakteristika únavy ( $B = -1/b$ , kde  $b$  je sklon únavové přímky) nebo mocnité nárůstu trvalé deformace podloží,

$\gamma_d$  dílčí součinitel spolehlivosti výpočtového modelu,

$\gamma_u$  dílčí součinitel spolehlivosti aplikace únavové zkoušky na podmínky zatížení vyskytující se ve vozovce,

$\gamma_{up}$  dílčí součinitel rozptylu únavové zkoušky,

$\gamma_{Di}$  dílčí součinitel spolehlivosti porušení vozovky,

$C_2$  součinitel vyjadřující fluktuaci stop těžkých nákladních vozidel,

$C_4$  součinitel vyjadřující vliv rychlosti pohybu těžkých nákladních vozidel,

$\psi_j$  součinitel kombinace zatížení (normovým zatížením a teplotou) pro  $j$ -té podmínky.

Pro navrhování běžných vozovek pozemních komunikací se zjednodušuje zadání počtu opakovaných zatížení na počet těžkých nákladních vozidel a stanovení celkového poměrného porušení splňujícího podmínku pomocí vztahu:

$$D_{cd} = \frac{TNV_{cd}}{TNV_{cd,lim}}, \quad (6)$$

kde

$D_{cd}$  je celkové poměrné porušení v průběhu návrhového období,

$TNV_{cd}$  návrhová hodnota celkového počtu přejezdů TNV za návrhové období,

$TNV_{cd,lim}$  mezní hodnota počtů přejezdů TNV za návrhové období.

Stanovení mezního počtu těžkých nákladních vozidel v případě, že se berou v úvahu odlišné charakteristiky asfaltových materiálů a podloží při různých reprezentativních stavech vozovky, se použije vztah:

$$TNV_{cd,lim} = \frac{10^6}{\gamma_d C_2 C_3 C_4} \left[ \sum_{j=1}^n \tau_j \left( \frac{\gamma_{up} \varepsilon_j}{\gamma_u \gamma_{Di} \varepsilon_6} \right)^B \right]^{-1}, \quad 7)$$

kde

$TNV_{cd,lim}$  je mezní hodnota počtu přejezdů TNV za návrhové období, vozidel,

$\varepsilon_j$  poměrné protažení stmelené vrstvy a poměrné stlačení podloží vozovky pro  $j$ -té podmínky dosazované v absolutní hodnotě, mikrostrain,

$n$  počet období s reprezentativními podmínkami v roce,

$\tau_j$  poměrná délka trvání podmínek s reprezentativní teplotou,

$C_3$  součinitel spektra hmotnosti náprav TNV.

Ostatní označení jsou shodná s rovnicí (5).

Podmínka (3), resp. (6) se v případě návrhu budoucí souvislé opravy nebo dostavby vozovky vyšetřuje zvlášť pro období před opravou (dostavbou) a pro období po opravě (dostavbě).

Z uvedeného způsobu výpočtu a posouzení konstrukce vozovky vyplývá potřeba stanovit potřebné charakteristiky, které jsou předmětem dále uvedeného přehledu s tím, že jsou přiblížena zařízení, která pracují v silniční laboratoři VUT FAST.

### 3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

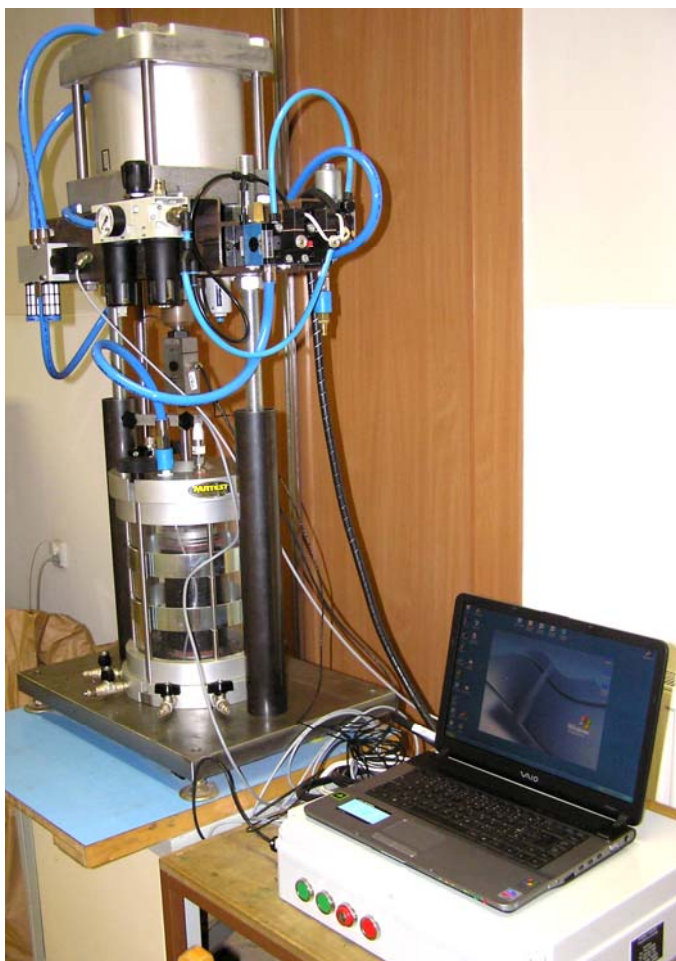
Ve starověku se stavělo z místně dostupných materiálů, jako byl kámen, přírodní kameniva, pálené materiály, dřevo, asfaltické písky nebo zlepšování jemnozrnných zemin sopečným popelem. Do současnosti se stavební hmoty změnily tím, že tyto stavební materiály se z přírodních materiálů průmyslově vyrábí, kameniva jsou drcená z hornin, kámen nahradil beton, asfaltické písky asfaltové směsi a sopečný popel vápno a ruční práci nahradily stroje a zařízení. Přestože se mnohonásobně zvýšilo zatížení, spotřeba materiálů poklesla, konstrukce jsou navrhovány efektivněji.

První výpočty vozovek vyžadovaly znalost materiálových charakteristik a jak vyplývá z obr. 1, bylo třeba stanovit modul pružnosti a Poissonovo číslo. Vypočtené hodnoty napětí, průhybu nebo přetvoření bylo pak nutno porovnat s odpovídajícími charakteristikami vrstev nebo vozovek, které by charakterizovaly jejich odolnost proti opakovanému zatěžování.

Pokud by se používal beton, případně ocel, nebyl by problém tak obtížný. Modul pružnosti a pevnost bylo možno měřit standardními metodami, nově bylo možno odvodit přípustné namáhání v závislosti na požadovaném počtu opakování namáhání. Problémy ovšem přinášely zeminy, zejména jemnozrnné, a asfaltové směsi; jejich charakteristiky jsou závislé na mnoha parametrech, které nebylo možno vyjádřit modulem pružnosti a pevností.

V následujících podkapitolách jsou popsána měření poskytující podklady pro výpočet (moduly pružnosti a Poissonova čísla) a podklady pro posouzení mezních stavů použitelnosti trvalou deformací podloží a únavou stmelěných směsí. Další možná porušení jsou eliminována jen konstrukčními opatřeními, patří k nim měření namrzavosti zlepšených jemnozrnných materiálů, měření odolnosti asfaltových směsí proti tvorbě trvalých deformací, proti mrazovým trhlinám a proti smyku vozidel a měření pro posouzení hluku při odvalování pneumatik.

### 3.1 MODULY PRUŽNOSTI ZEMIN



Zeminy mají vazkopružnoplastické charakteristiky přetváření, charakteristiky závisí na době zatížení, na vlhkosti, velikosti zatížení a zhutnění. Projev plastického chování se eliminuje omezením velikosti zatížení návrhem konstrukce vozovky a konstrukčními požadavky pro omezení vlivu vlhkosti na zeminy. Lze proto při opakovaném dynamickém zatěžování použít hodnocení ve formě modulu pružnosti s tím, že viskozita se projeví v kumulaci trvalých přetvoření.

V metodách navrhování se modul pružnosti odvozuje od druhu zemín, vzdálenosti zeminy od podzemní vody s uvažováním kapilárního sycení a výpočet se obvykle provádí pro odlišné roční období. Při stanovení se vychází z jednoduché zkoušky silové reakce zemín na zatlačování válcového trnu do zkušební laboratorně zhutněného tělesa (zkouška únosnosti CBR) a zkouška je navázána na měření modulu pružnosti při dynamickém zatěžování. Naše stanovení bylo navázáno na modul pružnosti měřený rázovým zatížením (metoda bude popsána v kapitole 4).

**Obr. 2 – Zařízení pro zkoušení dynamickým zatěžováním v triaxiálním tlaku**

V současnosti se i měření modulu pružnosti a kumulace nepružných přetvoření přesouvají do laboratoří a užívá se triaxiálního dynamického zatěžování. Jelikož tyto charakteristiky s rychlostí výstavby a recyklací vozovek nabývají v současnosti na významu při navrhování vozovek, je triaxiální zařízení jako jediné v ČR realizováno [9] také v silniční laboratoři FAST (viz obr. 2).

### 3.2 KUMULACE NEPRUŽNÝCH PŘETVOŘENÍ ZEMIN



Kumulace nepružných přetvoření ve vozovce se hodnotila z velikosti vznikajících stlačením na povrchu podloží a kritéria se odvodila z pozorování chování celých vozovek. S ohledem na zavádění měření modulu pružnosti v triaxiálním zařízení FAST začala pro hodnocení podloží, zejména z upravených jemnozrnných zemín pojivy nebo z recyklovaných materiálů, užívat toto zařízení pro stanovení kumulace nepružných přetvoření v závislosti na počtu opakování zatížení při různém namáhání a stavu materiálu. Příklad zkušební tělesa po zkoušce opakovaným zatěžováním je v obr. 3.

**Obr. 3 – Zkušební těleso po zkoušce opakování zatěžování v triaxiálním tlaku**

### 3.3 ODOLNOST PODLOŽÍ PROTI MRAZOVÝM ZDVIHŮM



Obr. 4 – Zkušební těleso po zkoušce namrzavosti

Důležitou vlastností jemnozrnných zemin je jejich schopnost vytvářet při postupném promrzání ledové vrstvičky, vrstvy a čočky; tato vlastnost je označována jako namrzavost. U zemin se tato vlastnost odvozuje ze zrnitostního složení zeminy, ale zlepšováním zemin přísadami lze změnit vlastnosti zemin včetně namrzavosti. Měření této vlastnosti bylo vyvinuto autory [10], ale plně funkční automatizované zařízení pracuje jen v silniční laboratoři FAST. Metodika vychází z chlazení povrchů celkově 4 zkušebních válcových těles (běžně vyráběných pro Proctorovu zkoušku zhutnitelnosti) na teplotu  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přičemž spodní povrch je trvale sycen vodou o teplotě  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplotní spád a možnost vztlínivosti vody vytvoří ve zkušebním tělese během několika dní (5denní měření) ledové vrstvy (viz obr. 4), jejichž celková tloušťka je v průběhu zkoušky registrována jako mrazový zdvih charakterizující namrzavost. Pro měření byl zpracován návrh EN, ale nakonec namrzavost evropskými normami měřena nebude.

Z hlediska vývoje nových materiálů, zejména na bázi nestandardních kameniv, popílků a jemnozrnných zemin je toto zařízení nenahraditelné. Je možno uvést poruchy vozovek na stavbě Pražské radiály, kde cementopílková suspenze byla použita pro zpevnění hrubého drceného kameniva prolitím vrstvy a vrstva vykazovala pevnost 10 MPa. Namrzavost vrstvy bohužel dokázala zdvihat asfaltové vrstvy až o několik desítek milimetrů a po tání ledu došlo zatížením k porušení asfaltových vrstev. Na obr. 3 je fotografie zkušebního tělesa z nestandardního kameniva (kamenivo 0/16 s vyšším obsahem prachovitých částic) obaleného asfaltovou pěnou; těleso vyňaté ze zkušebního zařízení obsahuje výrazné vrstvy ledu.

### 3.4 MODULY PRUŽNOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Přetvárné vlastnosti asfaltových směsí nelze popsat pouze modulem pružnosti, stejně jako zeminy, tak i asfaltové směsi jsou vazkopružnoplastické. Vývoj vazkého a plastického přetváření se eliminuje konstrukčními požadavky na asfaltovou směs (viz část 3.5) a problém pro navrhování vozovky lze opět zjednodušit na užití modulu pružnosti. V každém případě při dynamickém zatěžování je třeba při vyhodnocování měření použít komplexních čísel. Viskozita pojiva se projevuje zpožděním měřeného průběhu přetvoření za průběhem měřené aplikované síly. Mírou této vlastnosti je komplexní modul tuhosti:

$$E^* (S; \varphi),$$

kde  $S$  je modul tuhosti (stiffness modulus),

$\varphi$  fázový úhel zpoždění, charakterizující projev viskózních vlastností asfaltové směsi.

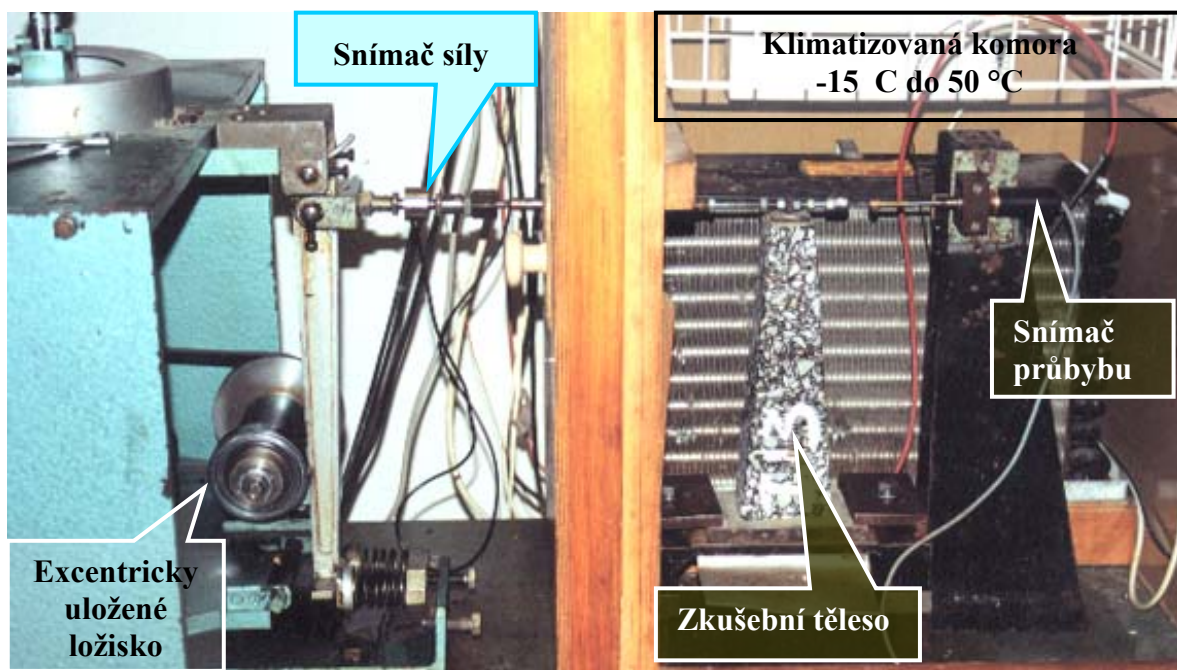
Modul tuhosti  $S$  se pak ve výpočtech používá jako modul pružnosti.

Měření modulů tuhosti bylo započato v našich zemích na počátku 70tých let, výzkum byl svěřen Slovenské akademii věd, Výzkumnému ústavu inžinierskych stavieb a ČVUT. Protože měření bylo klíčové pro porozumění vlastnostem asfaltových směsí, autor vyvinul zařízení [11], viz obr. 5.

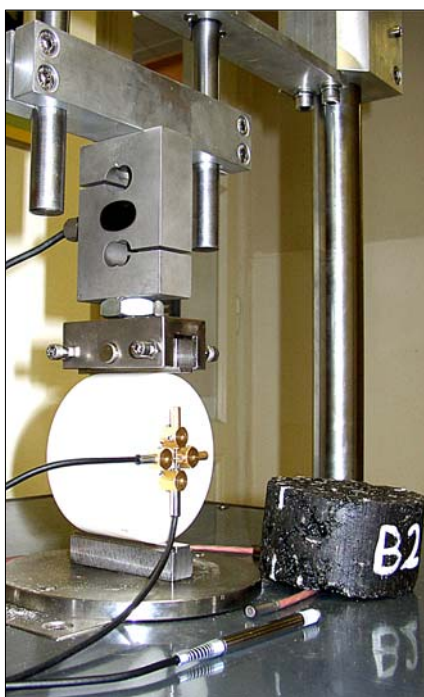
Zařízení bylo univerzální, bylo na něm možno měřit vlastnosti nejen přetvárné, ale také únavové při zatěžování vetknutého trámečku nebo pro únavové zkoušky komolého klínu (maximální napětí není v lepidle, ale 35 mm nad vetknutím) vynuceným ohybem zkušebních těles. Pro vyvození daného průhybu bylo použito excentricky uloženého ložiska působícího na nerovnoramennou páku a v průběhu zatěžování bylo možno poměr páky měnit, tj. bylo možno měnit amplitudu velikosti působícího posunu. Toto bylo důležité, neboť tak bylo možno modelovat účinky zatížení na asfaltovou vrstvu v průběhu životnosti vozovky. Únavou se totiž ve vrstvě vlastní vozovky iniciují mikrotrhliny až trhliny, klesá modul pružnosti vrstvy a zvyšuje se namáhání dalších vrstev vozovky

a dochází k vyššímu průhybu vlastní vrstvy. Tento jev dokázalo zařízení modelovat mezi extrémy udržování stálého průhybu v průběhu zkoušky (strain control) nebo stálého napětí (stress control).

Ze sedmi vyrobených zkušebních zařízení jsou zařízení na VUT FAST a na Žilinské univerzitě plně funkční. Zařízení VUT bylo normativně navázáno na francouzská měřicí zařízení a byla doložena přesnost v rámci reprodukovatelnosti evropských laboratoří. Evropská norma pro únavu stanovila podmínky zkoušky za přibližně stálého průhybu (díky únavě měřeného zkušebního tělesa se snižuje měřená síla a o deformaci snímače nižší silou se nepatrně zvyšuje vlastní průhyb zkušebního tělesa) a tudíž zařízení pro pohyb excentrické vačky po nerovnoramenné páce včetně automatické zpětné vazby bylo odstraněno.



**Obr. 5 – Zařízení na zkoušení modulu tuhosti zatěžováním zkušebních těles ohybem**



Přestože zařízení pracuje spolehlivě, bylo postaveno také univerzální zařízení s pneumatickým zatěžováním v různém uspořádání zatěžování zkušebních těles. Pro měření modulu tuhosti slouží zatěžování zkušebního válcového tělesa pro dosažení příčného tahu, viz obr. 6. Tato zkušební tělesa lze snadno v laboratoři vyrobít nebo je lze odebrat přímo z vozovky. Zařízení vyžaduje vysokou přesnost snímání protažení (přesnost vyšší než  $0,02 \mu\text{m}$ ) a ověření přesnosti bylo námětem několika diplomových prací. Toto zařízení v případě uspořádání snímačů jak je vidět na obr. 6, umožňuje stanovit také Poissonovo číslo asphaltových směsí v závislosti na teplotě.

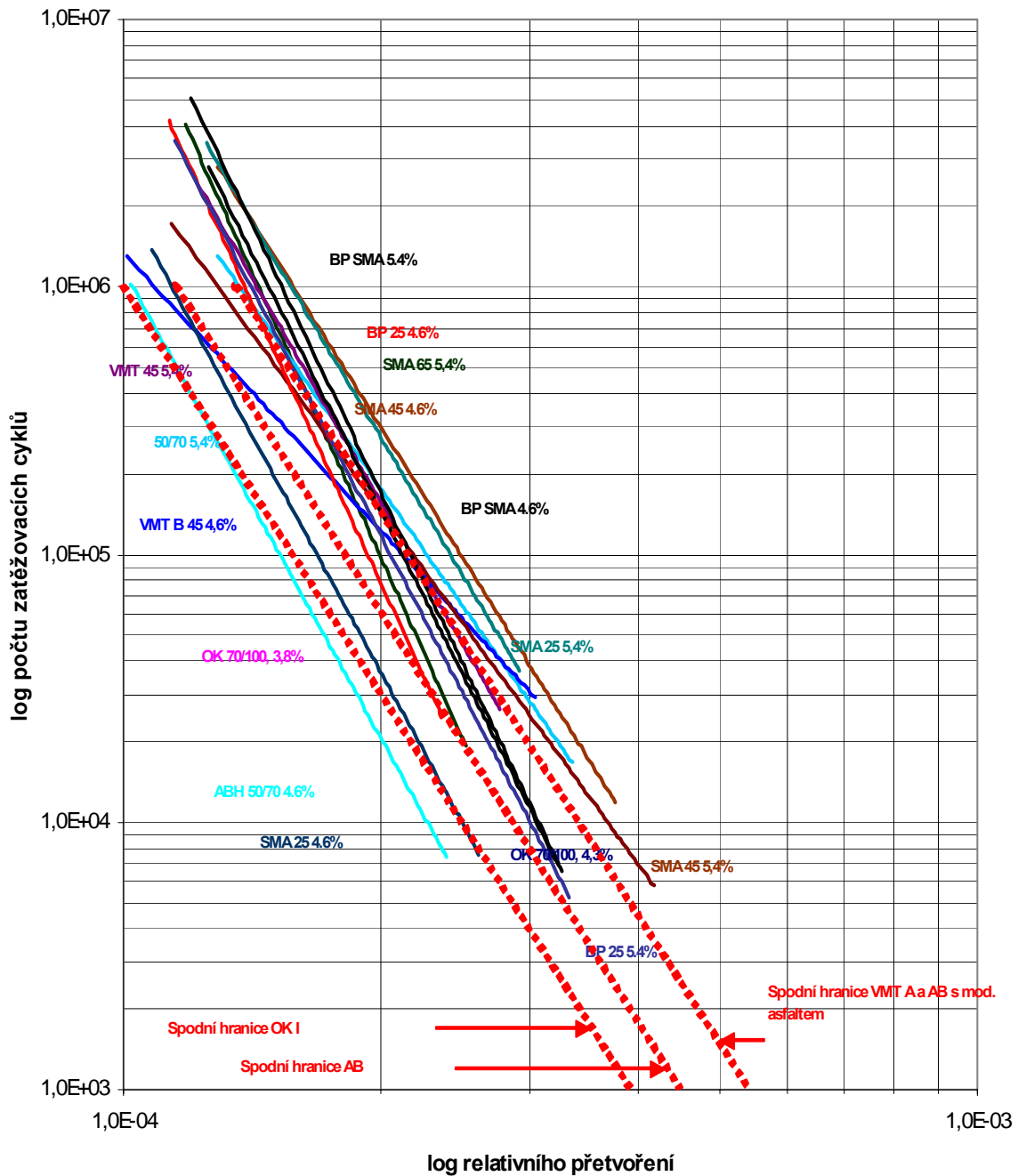
Moduly tuhosti výrazně závisí na teplotě a také na době působení zatížení. Při výpočtu vozovek tak vzniká rozsáhlá kombinace zatížení v závislosti na teplotních stavech ve vozovce. Různé moduly tuhosti také mění namáhání a přetvoření celé vozovky a podloží.

**Obr. 6 – Stanovení modulu tuhosti dynamickým zatěžováním v příčném tahu**

### 3.5 ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ

Konstrukce vozovek pokrývají celou škálu zatížení od ojedinělých zatížení těžkým nákladním vozidlem až po  $5 \cdot 10^4$  opakovaných zatížení nápravou denně, přičemž průměrná hmotnost je 65 kN s maximem zatížení při pravděpodobnosti výskytu  $10^{-6}$  až 170 kN. Všechny tyto konstrukce musí být navrženy tak, aby porušení únavovými trhlinami nastalo s požadovanou pravděpodobností danou významem pozemní komunikace a zatížením silničním provozem (ekonomická optimalizace s uvážením nákladů na výstavbu, údržbu a opravy včetně zahrnutí ztrát v silničním provozu).

Jev únavy modelovaný v laboratoři je opět ovlivněn vazkopružnými vlastnostmi pojiva. Únava asfaltových směsí závisí na teplotě, neboť v nezatíženém stavu se únavová porušení v závislosti na teplotě částečně zacelují. Při měření za stejných podmínek, pak únava asfaltových směsí výrazně závisí na druhu a množství pojiva, na čáře zrnitosti a zhutnění zkušebního tělesa. Znázornění únavových zkoušek provedených v roce 2002/3 je v obr. 7.



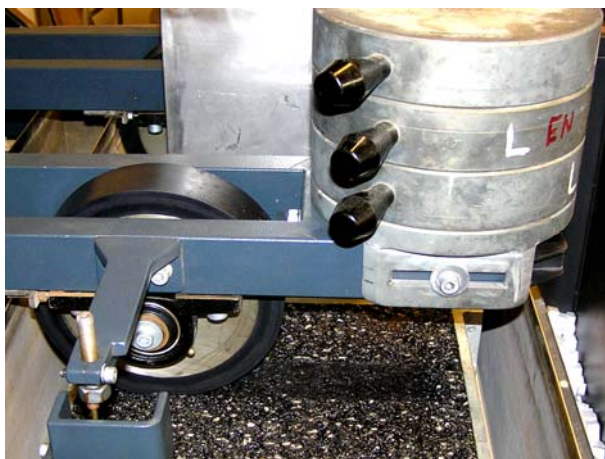
Obr. 7 – Únavové zkoušky asfaltových směsí s různým druhem a obsahem asfaltu

Uvedené závislosti únavových vlastností se mírně liší od kovů, pro něž se uvádí, že při velikosti relativního protažení (napětí v tahu) odpovídající počtu opakování zatížení  $10^6$  se již poškozování únavou neprojevuje. Tento jev, pokud se měřilo nejvýše do  $10^7$  opakování zatížení asfaltových směsí, se výrazně neprojevoval a není v literatuře zmiňován. V našich měřeních se v poslední době při zatěžování směsí s novými modifikovanými asfalty skutečně únava směsí zastavila a zkoušky z obavy před unavením zkušebního zařízení (denně je možno při zatížení 25 Hz vyvolat 2,1 mil. cyklů) jsme po týdnu zastavovali, neboť jsme nezaznamenali další vývoj únavového jevu.

### 3.6 ODOLNOST PROTI TRVALÝM DEFORMACÍM

Vazké a plastické vlastnosti asfaltových směsí způsobují, že při každém zatížení se část deformace nevrátí a zůstane trvalá. Kumulace nevratných přetvoření vede ke tvorbě kolejí v jízdních stopách vozidel a prohlubním nebo vlnám v místech stání vozidel, přičemž poruchy se v Evropě začaly projevovat v teplých létech počínaje rokem 1973. Obě poruchy vedou ke snížení bezpečnosti silničního provozu.

Odolnost asfaltových směsí závisí na viskozitě asfaltu při nejvyšších teplotách (na povrchu je až  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a viskozita se při těchto teplotách zvyšuje použitím tvrdších druhů asfaltů nebo modifikací asfaltů polymery a plastomery. Závisí také na druhu kameniva a množství asfaltu. Zásady pro odolné směsi jsou známé, přesto se požaduje jejich měření.



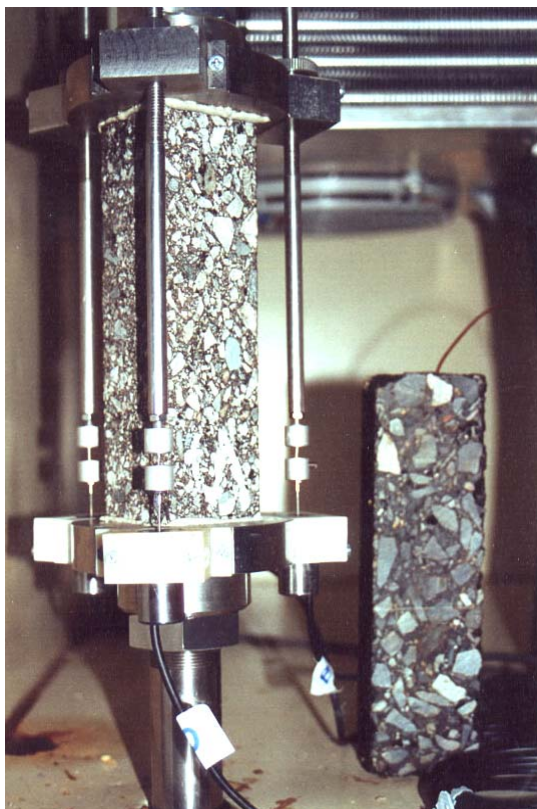
Obr. 8 – Zařízení pro vyjíždění koleje v asfaltové směsi

V silniční laboratoři FAST jsou ve funkci všechna tři v ČR používaná zařízení; používají pomalé pojezdy pogumovaných kol nebo pneumatiky po zkušebních vzorcích (viz obr. 8). Jejich používání rozdělí směsi na nevhodné a vhodné, nedokáže rozpoznat směsi výborné od dobrých. Došlo k úpravě zařízení podle evropských norem, ale zařízení nebyla spolehlivější. Byla realizována jiná zařízení podle evropských norem, ale norma prodělávala rychlé změny. Nakonec se prosadila zkouška v triaxiálním opakovaném tlaku, která podle některých publikací poskytuje nejspolehlivější výsledky. Toto zařízení je v realizaci, použije stejný zatěžovací systém jako je v obr. 6 a stejnou triaxiální komoru jako je v obr. 2.

### 3.7 ODOLNOST PROTI TVORBĚ NÍZKOTEPLNÍCH TRHLIN

Omezení tvorby trvalých deformací se nejnadhěji dosahovalo použitím tvrdších asfaltů. Viskozita za vysokých teplot byla u těchto asfaltů vyšší a tudíž se asfalty chovaly jako běžné asfalty při nižší teplotě. Bohužel už při běžných nízkých teplotách se tvrdší asfalt stává pružným, při smršťování vlivem snižování teploty nedochází k relaxaci napětí a ve vrstvě vzniká tah. Při dosažení pevnosti v tahu se objeví trhlinka, která se opakovanými poklesy teploty šíří do hloubky.

Sestavení zařízení, které by modelovalo popsany jev ve vozovce, se zdálo snadné. Bylo zapotřebí postavit počítačem řízenou chladničku zajišťující rovnoměrný pokles teploty, měření síly a délky zkušebního tělesa se zpětnou vazbou zajišťující stálou délku. Pro udržování stálé délky se zvolil jednoduchý způsob ohřívání rámu, do něhož je zkušební těleso pomocí tyčí s klouby upínáno. Nakonec se ukázalo, že konstrukce zařízení zabrala nejvíce času, zkušební hranol namáhaný osovým tahem se nepravidelně podle vnitřního uspořádání a homogenity směsi kroutil a nakonec na rozdíl od všech světových zařízení se délka zkušebního hranolu měří třemi snímači dráhy rozmístěnými po obvodu, viz obr. 9. Jedině tak bylo možno získat vyrovnané výsledky v rámci jedné sady zkušebních těles.



**Obr. 9 – Detail zkušebního tělesa při nízkoteplotním namáhání**

### 3.8 ODOLNOST PROTI ÚČINKŮM VODY

U obrusných vrstev a dokonce i ložních vrstev je odolnost proti účinkům vody vyvolána vytěsňováním asfaltu z povrchu zrn kameniva vodou, která může mít vyšší povrchové síly ke kamenivu než asfalt. Tyto vlastnosti lze měřit různými způsoby - vystavení asfaltem obalených zrn účinku vody za vysoké teploty nebo za účinku vody při laboratorní teplotě mechanickým namáháním od stálého otáčení vzorku obalených zrn ve sklenici. Na druhé straně je možno účinek vody sledovat poklesem mechanických vlastností vyrobené asfaltové směsi. Po ověření všech druhů zkoušek jsme pro aplikaci [12] doporučili užívání zkoušky měření pevnosti v příčném tahu vzorků uložených na suchu v laboratoři a vzorků uložených po 3 dny při teplotě 40 °C po jejich nasáknutí vodou za vakua. Zkouška ukázala dobrou reprodukovatelnost. Pokud asfaltová směs nevyhoví stanovenému poměru pevností těles nasáknutých a suchých, musí se použít adhezivní přísady do asfaltu nebo přísady do asfaltové směsi (nehašené vápno, vosky zvyšující adhezi apod.)

### 3.9 ODOLNOST PROTI SMYKU

Odolnost proti smyku je podstatnou vlastností povrchů zajišťující bezpečnost silničního provozu. Je to vlastnost, kterou nelze z pohledu řidiče odhadovat a není proto vždy správné vinit řidiče z dopravní nehody z důvodu nepřiměřené rychlosti.

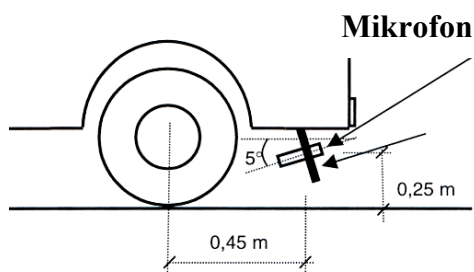
Odolnost proti smyku závisí na nerovnostech povrchu. Nerovnosti se vzdáleností výstupků v řádu do 1 mm se projevují v protismykových vlastnostech při rychlosti vozidla nižší než 50 km/h a nerovnosti tvoří povrch jednotlivých vystupujících zrn kameniva. Tyto nerovnosti (mikrotextura) jsou dány druhem horniny (způsobem mechanického opotřebování nazývaného ohladitelnost) a použitím kameniv s nízkou ohladitelností je dáno ekonomickou rozvahou spojenou s dopravními náklady. Nerovnosti 1 mm až 20 mm (makrotextura) jsou dány uspořádáním zrn kameniva, tedy návrhem asfaltové směsi a dobrá makrotextura ovlivňuje protismykové vlastnosti v celém rozsahu rychlostí vozidel.

V EU se nedohodlo, aby při návrhu asfaltové směsi byly posuzovány protismykové vlastnosti, řešení tohoto problému je ponecháno na zkušenostech výrobců směsi, zda dokáží zajistit vhodný povrch z hlediska protismykových vlastností. Proto na FAST probíhají diplomové práce, které by dokázaly v laboratoři posoudit makrotexturu, případně drenážní schopnost povrchu směsi s přímým navázáním na vlastnosti následně získané použitou technologií při pokládce. Výsledkem prací budou doporučení pro návrh směsi s ohledem na odolnost proti smyku, eventuálně se připraví metodika, jak při návrhu odolnost proti smyku posuzovat. Laboratorní výsledky budou kontrolovány také dynamickým měřením za různých rychlostí pohybu zařízením Griptest, který provozuje spolupracující organizace CONSULTEST (viz kapitola 4.3).



### 3.10 DOPRAVNÍ HLUK

Hluk, který vytváří silniční provoz představuje vážné ohrožování zdraví obyvatel vystavených tomuto hluku (hluk je stresor působící na psychiku). Při rychlosti vozidel vyšší než 50 km/h jsou převažujícím zdrojem hluku odvalující se pneumatiky. Z tohoto hlediska hlučnost silničního provozu ovlivňuje také povrch vozovky.



**Obr. 10 - Měření hluku při odvalování pneumatiky**

V rámci disertační práce FAST se závěry publikovanými v [13] byl při uspořádání znázorněném na obr. 10 měřen vznikající hluk standardní pneumatikou na různých površích vozovek. Byla provedena frekvenční analýza naměřeného hluku a vyhodnocena závislost hlučnosti na měřené mikrotextuře a makrotextuře. Bylo potvrzeno, že makrotextura povrchu vhodná pro proti-smykové vlastnosti je zároveň vhodná z hlediska hlučnosti. Nicméně nejméně hlučné povrchy užívané na jihu Evropy bohužel u nás pro problematickou zimní údržbu a nutné obnovování drenážní schopnosti (čištění porů ve vrstvě) nenacházejí uplatnění.

Jistým řešením bylo snížení hlučnosti použitím přísady drcené gumy z pneumatik do vlastní asfaltové směsi obvyklého složení. Některé běžné realizace provedené bez náležité technologické kázně tuto technologii zdiskreditovaly [14].

## 4 POSUZOVÁNÍ VOZOVEK

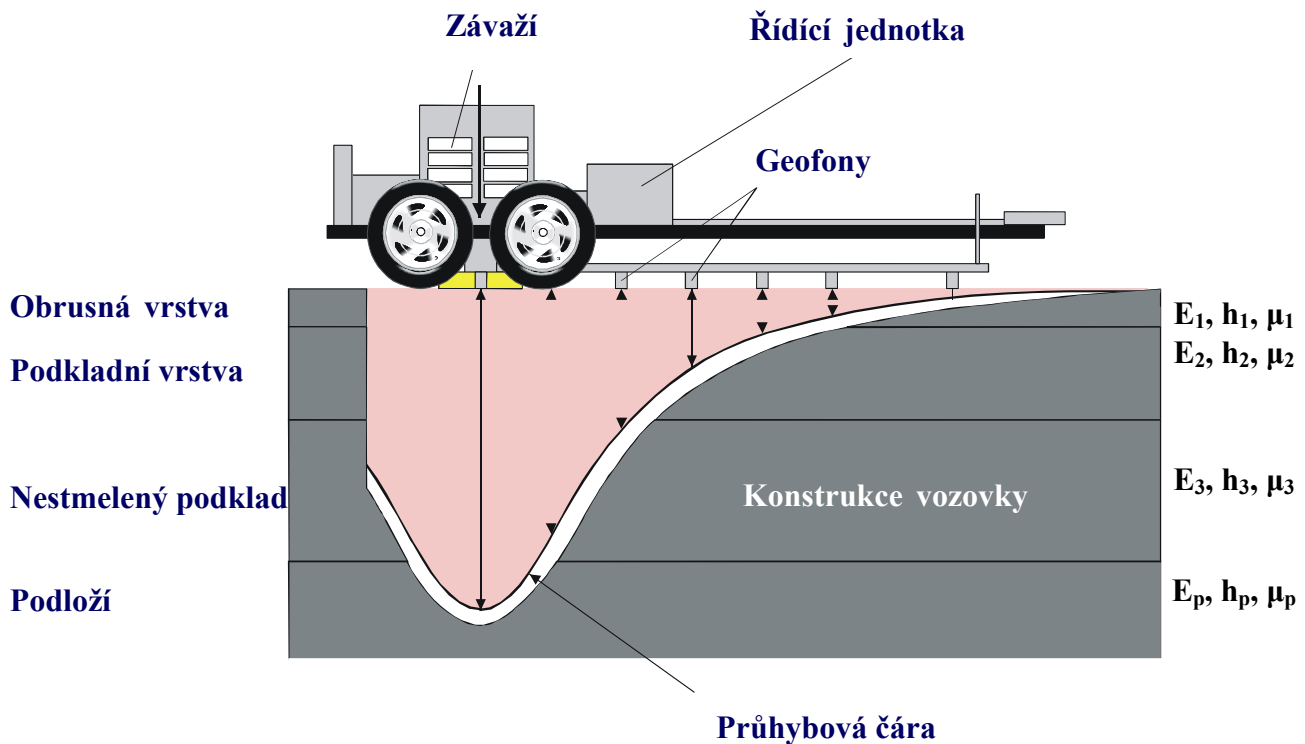
Jakkoliv doposud potřebné vlastnosti podloží a asfaltových směsí je možno měřit v laboratořích, je nutné, aby stejné vlastnosti bylo možné měřit na budované nebo užívané vozovce. Funkční vlastnosti jako moduly pružnosti a Poissonova čísla podloží a vrstev vozovky ovlivňují odezvu celé vozovky na zatížení. Odolnosti proti opakovanému zatěžování (nárůst deformace podloží a únava stmelených vrstev) se projeví ve změně charakteristik povrchu vozovky a změně odezvy vozovky na zatížení. Nedodržení konstrukčních požadavků (odolnosti proti trvalým deformacím, mrazovým trhlinám, smyku a doporučením pro snížení hlučnosti) a technologických zásad pak vede k poruchám, které jsou registrovány měřením na stávající vozovce nebo vizuální prohlídkou. Jen krátce budou uvedeny metody pro měření důležitých vlastností vozovek. Měření hlučnosti je zmíněno v 3.10.

### 4.1 MĚŘENÍ MODULŮ PRUŽNOSTI A NÁVRH OPRAVY VOZOVKY

Pro měření konstrukčních vlastností vozovek se používají zařízení, která dokáží pod definovaným zatížením odpovídajícím povolené (návrhové) nápravě těžkého nákladního vozidla stanovit průhyb. Měření umožnila vznik pákových průhyboměrů (Benkelmanův nosník), které dovozovaly vsunout měřící hrot mezi zdvojené pneumatiky nákladního vozidla a při jeho najetí (a/nebo odjetí) nad tento hrot se stanovoval maximální průhyb a v posledních úpravách zařízení se pak stanovovala průhybová mísa při najíždění a odjíždění vozidla.

Tento princip měření a zatěžování byl dokonce automatizován, je postavena řada zařízení nazývaných deflektografy, které graficky (původně na fotografický film) předkládaly měřený průhyb při pomalé jízdě nákladního automobilu s měřením ve vzájemné vzdálenosti 3 m až 10 m.

Autor těmito měřeními se zabýval celou dobu praxe a na vývoji českého deflektografu se podílel. V roce 1987 se podařilo dovést zařízení označované jako deflektometr FWD, kde síla je vyvozována pádem závaží na gumové tlumiče (Falling Weight Deflectometer, česky rázové zařízení), tím se vyvolá silový pulz o celkové době trvání kolem 25 ms odpovídající rychlosti pohybu nákladního vozidla při rychlosti kolem 60 km/h. Schéma zařízení je na obr. 11.



Obr. 11 – Schéma zařízení pro měření únosnosti vozovek rázovým zařízením

Měřením se zaznamenává síla, průhyb v dané vzdálenosti od středu zatěžovací desky, teplota a charakteristiky lokalizace měření včetně vložených poznámek např. poruchy na daném místě. Při známých tloušťkách vrstev vozovek (z projektu, stanovené vývrtem, sondou, georadarem apod.) lze výpočtem metodami popsanými v kapitole 2 stanovit průhybovou čáru. Zpětným výpočtem (back calculation) lze naopak iterační metodou z průhybové čáry stanovit moduly pružnosti jednotlivých vrstev vozovky. Použitím charakteristiky odolnosti proti opakovaným zatěžováním asfaltových vrstev a podloží lze posoudit ještě možný počet opakování zatížení posuzované vozovky. Pokud je možný počet dalších opakovaných zatížení nevyhovující, pak se navrhuje přidání asfaltových vrstev na stávající povrch vozovky tak, aby podmínky spolehlivosti podle zde uvedených rovnic (3) nebo (6) byly splněny.

Uvedený princip výpočtu průhybu se s výhodou používá pro stanovení modulu pružnosti nestmelených vrstev vozovky a podloží a pro návrh opravy zesílením, výměnou porušených vrstev vozovky (obvykle krytových vrstev) nebo jejich recyklací (obvykle vrstev podkladních).

Při posuzování vrstev vozovek je pozorována statistická závislost mezi moduly pružnosti stanovenými měřeními v laboratoři a vypočtenými z měření průhybové čáry, ale doposud nedošlo k systematickému zpracování obou měření. Teprve letos byl tento problém vybrán jako téma diplomová práce.

#### 4.2 MĚŘENÍ ROVNOSTI POVRCHU VOZOVEK

Měření rovnosti je z hlediska posuzování konstrukcí vozovek vázáno zejména na vytváření koleje ve stopě vozidel nebo prohlubni v místě stání vozidel. Tato měření jsou nenáročná, provádí se s pomocí rovné latě. Existují i sofistikovaná zařízení měřící nerovnosti za jízdy vozidel v příčném směru (bezdotykovými snímači) a v podélném směru měřeními dynamické odezvy vozidla na nerovnosti. Tato měření jsou využívána k posuzování celé sítě komunikací pro plánování údržby a oprav. Zařízení jsou dostupná v několika exemplářích a data jsou v ČR ukládána v Silniční databance Ostrava.

### 4.3 MĚŘENÍ PROTISMYKOVÝCH VLASTNOSTÍ POVRCHŮ VOZOVEK

Skutečný stav povrchu vozovek z hlediska odolnosti proti smyku je v závislosti na rychlosti pohybu vozidel měřen zařízením užívanými pneumatiku modelující systémy brzdění automobilů (v současnosti systémy proti zablokování kol - ABS) a vyhodnocující součinitel tření povrchu.

FAST spolupracuje s organizacemi provozujícími dostupná zařízení a v červnu 2005 bylo uspořádáno srovnávací měření se 6 zařízeními provozovanými na Slovensku, v Rakousku, Německu (2 typy) a v ČR (2 typy) s cílem zajistit vzájemnou korelaci měření těmito přístroji a srovnatelnost českých a evropských požadavků na protismykové vlastnosti povrchů vozovek. Pro běžné práce s hodnocením vozovek FAST spolupracuje se zkušební laboratoří CONSULTEST, která provozuje přívěs Griptester znázorněný na obr. 12. Zařízení pomocí třetího kola otáčejícího se o 15 % pomaleji než odpovídá rychlosti se měří poměr svislé a vodorovné síly (koeficient tření).



Obr. 12 – Měření protismykových vlastností (Griptester firmy CONSULTEST s.r.o.)

## 5 SYSTÉMY PRO HOSPODAŘENÍ S VOZOVKOU

Správci silničních sítí pro zvládnutí údržby a oprav pozemních komunikací a vozovek vytváří systémy pro hospodaření s vozovkami (Pavement Management System). Systémy jsou založeny na evidenci všech komunikací, o které správce pečuje, a na hodnocení jejich stavu. Hodnocení se soustřeďuje na měření následujícími funkčními zkouškami vozovek:

- podélných a příčných nerovností,
- protismykových vlastností,
- poruch vozovek,
- únosnosti.

Obvykle se hodnocení stavu vozovek provádí multifunkčním vozidlem, které v běžném silničním provozu stanovuje první tři charakteristiky a následně se na komunikacích s konstrukčními poruchami provádí měření únosnosti. Podle stavu vozovek se plánuje jejich údržba nebo oprava, optimalizuje se využití finančních prostředků přidělených rozpočtem vlastníka (státu, kraje apod.).

FAST se do těchto prací intenzivně rovněž zapojila [15,16]. Byl zpracován systém sběru poruch s ukládáním dat do počítače; v rámci diplomových prací v letech 1992-1994 byl ověřován. Jedná se o originální použití běžných notebooků napojených na tachometr s tím, že klávesnicí se zadávají charakteristiky poruch bodových (zmáčknutí klávesy na místě výskytu), liniových (zmáčknutím klávesy na začátku a konci výskytu) a plošných (zmáčknutím funkční klávesy a čísla znamenajícího poměr porušené šířky). Po uložení takto zaznamenaných poruch je možné je graficky znázornit ve schématu trasy, vyhodnotit druh a rozsah porušení, vozovku zařadit do klasifikačního stupně porušení a navrhnout druh údržby nebo potřebu opravy, přičemž oprava se navrhuje na základě měření únosnosti rázovým zařízením. Tento vyvinutý sběr poruch užívaly Správy a údržby silnic pro správu všech silnic II. a III. třídy a některé krajské správy silnic jej užívají dodnes. Optimalizace využití finančních prostředků se zajišťuje programem RoSy vyvinutým v Dánsku.

## 6 ZÁVĚR

Odhlédneme-li od cementobetonových vozovek, pak stavba pozemních komunikací je založena na použití místních a odpadních materiálů (mezi odpadní materiál lze zařadit i hlavní pojivo pro netuhé vozovky – asfalt). Vlastnosti některých používaných materiálů lze pouze zlepšit, jiné osvědčené materiály jako kameniva se zase stmelují zmíněným asfaltem. Hodnocení těchto materiálů klasickými zkouškami, např. pevností, vedlo a vede k nevhodným opatřením nebo nevhodným návrhům směsí pro výstavbu vozovek. Zkoušení je třeba postavit na funkčních zkouškách a z výsledků funkčních zkoušek následně odvozovat požadavky pro výrobu směsí a požadované vlastnosti, které pak již mohou být kontrolovány jednodušší zkouškou.

V silniční laboratoři FAST byl vytvořen systém funkčních zkoušek hodnotící použitelný materiál z hlediska jeho použití ve vozovce. Zkouší se za podmínek, v nichž v konstrukci působí, je simulováno zatížení a stanovuje se veličina, která je rozhodná pro posouzení spolehlivosti vozovky. Spolehlivost vozovky je vyjádřena bezpečností, hospodárností a pohodlím silničního provozu, minimalizací vlivů na životní prostředí a vlastnostmi konstrukce vyjádřené dobou životnosti, udržovatelností a opravitelností.

Zpracovaný text se zaměřil na autorovu dlouhodobou činnost spojenou s navrhováním vozovek a navrhováním jejich údržby a oprav. Popsaný systém zkoušek vedl k vývoji nových hmot, jak jejich zkvalitňováním nebo použitím sekundárních, recyklovatelných a odpadních materiálů, s kterými má autor také dlouhodobé zkušenosti. Práce napomáhají setrvalému vývoji sítě pozemních komunikací.

## 7 SEZNAM ODKAZŮ NA CITOVANOU LITERATURU

- [1] BOUSSINESQ, J. Application des potentials à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques, Paris, Gautier-Villars, 1885
- [2] BURMISTER, D.M. The theory of stresses and displacements in layered systems, Proc. Highway and Research Board, 23, Washington D.C., 1943, s. 126-149
- [3] KUČERA K. Směrnice pro navrhování netuhých vozovek, MD, 1966
- [4] TP Návrh netuhej vozovky a jej posúdenie, VUIS, Bratislava, 1976
- [5] NOVOTNÝ, B., HANUŠKA, A. Výpočet vrstevnatého poloprostoru programem LAYMED, SAV, 1973
- [6] FLORIAN, A., PLANER, D., SCHMIDT, P., Spolehlivostní analýza netuhých vozovek, VUT FAST, 1993.
- [7] KUDRNA, J. Navrhování vozovek pozemních komunikací, TP MD ČR 170, VUT FAST, 2004.
- [8] MINER, M. A. Cumulative Damage in Fatigue, Journal of Applied Mechanics, Vol. 12, s. 159, 1945.
- [9] ČSN EN 13286-7 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji
- [10] MEDELSKÝ, V, BÍLEK, V. Zkoušení míry namrzavosti zemin, ČSN 72 1191
- [11] KUDRNA, J., HALÁMEK, J., VŠETEČKA, P. Zařízení na zkoušení silničních živičných směsí, AO 181592, přihl. 13.5.1976, uveř. 30.6.1977, AO vydáno 15.2.1978
- [12] VARAUS, M. Odolnost asfaltových směsí vůči účinkům vody, ověření zkouškou poklesu pevnosti v příčném tahu, In Sborník konference Experiment 2004, Brno, VUT FAST 2004
- [13] NACHTNEBLOVÁ, K., SMUTNÝ, J. Akustické vlastnosti vozovek, Sborník z mezinárodní konference Asfaltové vozovky '99, České Budějovice, 1999, s. 176-180
- [14] KUDRNA, J., Technology of ground waste tyres usage in bituminous mixtures for road construction, Rubber manual, Roma University, 2005
- [15] KUDRNA, J., Katalog poruch netuhých vozovek, TP MDS ČR 82, VUT FAST, 1996
- [16] KUDRNA, J., Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek, TP 87 VUT FAST, 1997.

## 8 PŘEHLED NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH PRACÍ AUTORA

### A.1 Monografie

1. KUDRNA, J., Technology of ground waste tyres usage in bituminous mixtures for road construction, Rubber manual, Roma University, 2005, 13 pages

### A.3 Původní článek v zahraničí

1. KUDRNA J., ZAVŘEL J., Amorphous Polypropylene – Bonding Material for Road Mixes, The Construction Press, Lancaster, 1980, (podíl 70 %)
2. KUDRNA J., ZAVŘEL J. Über die Verwendung von Amorphen Polypropylen im Strassenbau, Die Strasse 22, 7, s. 231 (1982), (podíl 50 %)

### A.8 Autorská osvědčení vynálezů

1. Vozovka se zvýšenou bezpečností proti poškození mrazem a způsoby její výroby, AO 156221, přihl. 20.1.1971, uveř. 19.10.1973, AO vydáno 15.12.1974 (Dr. Kučera a kol., podíl 15 %)
2. Zařízení na zkoušení silničních živičných směsí, AO 181592, přihl. 13.5.1976, uveř. 30.6.1977, AO vydáno 15.2.1978 (J. Kudrna a kol., podíl 80 %)
3. Termoplastická směs pro provádění krytů, AO 191482, přihl. 3.3.1976, uveř. 31.10.1978, AO vydáno 9.2.1979 (J. Kudrna a kol., podíl 50 %)
4. Podkladní vrstva vozovek, AO 259751, přihl. 19.11.1984, uveř. 20.4.1989, vydáno 18.8.1989 (Ing. O. Šimonek a kol., podíl 30 %)
5. Podkladní vrstva vozovek, AO 256000, přihl. 23.12.1985, uveř. 15.8.1987, vydáno 31.7.1989 (Ing. J. Zajíček a kol., podíl 33 %)
6. Vápenopopílková výplň konstrukčních vrstev vozovek, AO 273007, přihl. 14.2.1986, uveř. 12.7.1990, vydáno 20.12.1991 (Ing. Z. Nevošád a kol., podíl 33 %)

### A.9 Příspěvky kongresů a konferencí

1. KUDRNA, J., Evaluation of Flexible Pavement Deflection, sborník z konference Bearing Capacity of Road and Airfield, Trondheim, 1990
2. KUDRNA, J., New Techniques for Pavement Strengthening and Maitenance, národní zpráva pro XX<sup>th</sup> World Road Congress, Montreal, generální zpravodaj, 1994
3. KUDRNA, J., Czech Flexible Pavement Design Method, in Proceedings of IV<sup>th</sup> International Conference Durable and Safe Road Pavements, Kielce, Poland, 1998, p 269-274
4. STEHLÍK, D., VARAUS, M., KUDRNA, J., The experience with cold recycling in the Czech Republic, ve sborníku 1<sup>st</sup> International symposium on subgrade stabilisation and in situ pavement recycling using cement, Salamanca, 2001, Spain (podíl 35 %)
5. KUDRNA, J., The usage of scrambled rubber in bituminous mixtures, the 10<sup>th</sup> annual ETRA Conference, Brussels, 2003
6. KUDRNA, J., PLITZ J., Performance Testing and Specification for Binders in the Czech Republic, Eurobitume Seminar, Kielce 2002, POLAND, (podíl 60 %)

### A.12 Původní článek v časopisech

1. KUDRNA J., ZAVŘEL J., Využití amorfního polypropylénu v silničním stavitelství, Inženýrské stavby, 26, 5 (1978), (podíl 80 %)
2. ZAVŘEL J., KUDRNA J., Amorfní polypropylén – pojivo pro silniční směsi, Stavivo, 56, 10 (1978), (podíl 50 %)
3. KUDRNA, J., Trvalé deformace vozovek, Silniční obzor 42, 11, s. 332 (1981)
4. KUDRNA, J., Opatření k omezení vzniku trvalých deformací v živičných krytech, Silniční obzor, 42, 12, s. 358 (1981)
5. KUDRNA, J., Podněty k novelizaci metody pro navrhování vozovek, Silniční obzor 45, 4, s. 99 (1984)

6. KUDRNA J., MALÝ K., Dodatek 1 TSm Katalog tuhých a netuhých vozovek, Silniční obzor 48, 11, s. 334 (1987), (podíl 80 %)
7. KUDRNA, J., TP návrh údržby a oprav netuhých vozovek, Silniční obzor 50, 11, s. 336 (1989)
8. KUDRNA, J., Dodatek 2 TSm Katalog tuhých a netuhých vozovek pozemních komunikací, Silniční obzor 51, s. 268 (1990)

### **A. 13 Původní příspěvky publikované ve sbornících vývojových prací a sbornících vědeckých konferencí**

1. KUDRNA J.: Nový přístup ke zjišťování vlastností živičných směsí, TEI SVB, 5/1975
2. KUDRNA J.: K problematice promrzání vozovek, Sborník vývojových prací SVB 1973-1975, SVB, 1976
3. KUDRNA J.: Vlastnosti živičných směsí z hlediska dimenzování vozovek, sborník vývojových prací SVB 1973-1975, SVB, 1976
4. KUDRNA J.: Zkoušení silničních směsí dynamickým i statickým zatěžováním, sborník prací SVB 1976-1978, SVB, 1978
5. KUDRNA J., ZAVŘEL J.: Využití amorfního polypropylenu v silničním stavitelství, sborník prací SVB 1976-1978, SVB, 1978
6. KUDRNA J.: Návrh a stavba mimořádně zatížených vozovek, sborník z konference, DT Bratislava, 1981
7. KUDRNA J.: Trvalé deformace živičných vozovek a možnosti jejich omezení, sborník prací Silničního vývoje 1978-1980, SVB, 1982
8. KUDRNA J.: Novelizace metody pro navrhování vozovek, Sborník prací SVB 1981-1983, SVB, 1984
9. KUDRNA J.: Navrhování jako nástroj řízení výstavby a údržby vozovek sítě silničních komunikací, Sborník z konference, České Budějovice, 1985
10. KUDRNA J.: Vývoj a zdokonalování vývoje navrhování netuhých vozovek, sborník z konference, DT Bratislava, 2/1987
11. KUDRNA, J.: Navrhování vozovek v České republice, II. seminář Ivana Poliačka, Bratislava 1997, s. 66-72
12. KUDRNA, J., MALIŠ, L.: Navrhování vozovek pomocí programu LAYEPS, Sborník z mezinárodní konference Asfaltové vozovky '97, České Budějovice, 1997, s. 21-28
13. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Odolnost asfaltových směsí vůči trvalým deformacím, Sborník z mezinárodní konference Asfaltové vozovky '99, České Budějovice, 1999, s. 26-31
14. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Asfaltové směsi s modifikovanými pojivy, Sborník z mezinárodní konference Asfaltové vozovky '99, České Budějovice, 1999, s. 133-139
15. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Využití odpadní gumy z pneumatik pro výrobu asfaltových vrstev – technologie RUBIT, sborník z mezinárodní konference Asfaltové vozovky '99, České Budějovice, 1999, s. 172-178
16. KUDRNA, J., STEHLÍK, D., URBANEC K.: TP Užití cihelného recyklátu do pozemních komunikací, ve sborníku konference Asfaltové vozovky 2001, České Budějovice, ČR, 2001
17. KUDRNA, J., STEHLÍK, D.: Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí (KAPS) ve sborníku konference Asfaltové vozovky 2001, České Budějovice, ČR, 2001
18. KUDRNA, J., HÝZL, P.: Zkoušení modulu tuhosti a únavy asfaltových směsí, ve sborníku konference Asfaltové vozovky 2001, České Budějovice, 2001, str. 341-343
19. KUDRNA, J., HÝZL, P.: Zařízení pro stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltových vrstev, ve sborníku konference Asfaltové vozovky 2001, České Budějovice, 2001, str. 350-353
20. KUDRNA, J.: Technické podmínky pro navrhování vozovek s použitím funkčních charakteristik, Q-2002 Technologie údržby cest, Žilina, Slovensko, 2002, s. 6

21. KUDRNA, J., Zkušenosti s opravami a rekonstrukcí silnic a dálnic v ČR, Sborník z mezinárodní konference Silnice a dálnice, Bratislava, 2003
22. KUDRNA, J., Měření funkčních vlastností asfaltových směsí a jejich využití pro navrhování asfaltových směsí a vozovek, Seminář Q-2003 Asfaltové vozovky, Žilina, str. 39-43, ISBN 80-8070-061-3
23. KUDRNA, J., Navrhování vozovek podle TP 77 z roku 2003, Mezinárodní konference Asfaltové vozovky 2003, České Budějovice, 2003, str. 143-152, ISBN 80-903279-0-7
24. KUDRNA, J., HÝZL, P.: Měření funkčních vlastností asfaltových směsí a přínos pro návrh vozovky, Mezinárodní konference Asfaltové vozovky 2003, České Budějovice, 2003, str. 73-80, ISBN 80-903279-0-7
25. KUDRNA, J., KAMAN, J., Porovnání modulů tuhosti asfaltových směsí při namáhání ohybem a příčným tahem, mezinárodní konference Asfaltové vozovky 2003, České Budějovice, 2003, str. 86-90, ISBN 80-903279-0-7
26. SPIES, K. KUDRNA, J., JÍŠA, P., Zkušební zařízení pro stanovení funkčních vlastností asfaltového betonu, mezinárodní konference Asfaltové vozovky 2003, České Budějovice, 2001, str. 81-85, ISBN 80-903279-0-7
27. KUDRNA, J. Nové poznatky z výzkumu a vývoje pro stavbu a opravu vozovek, Q-2004 Technologie údržby ciest, Žilina, Slovensko, 2004, s. 6

#### **A.25 Odborné příručky, normy a předpisy**

1. KUDRNA J.: Příručka technika: Navrhování netuhých vozovek, OBIS VTEI SSŽ, 5/1989,
2. KUDRNA, J. a kol.: Jakost v činnosti správce a investora, Pomůcka pro správce a investora pozemních komunikací, Silniční společnost Praha, 1999, s. 135 (podíl 50 %), 12 AA
3. KUDRNA, J.: Uživatelský manuál pro pozemní komunikace, Publikace pro uživatele PK, SKANSKA DS, VUT FAST, 2004, s. 53
4. KUDRNA J. a kolektiv: Příručka stavbyvedoucího pro stavby pozemních komunikací, SKANSKA DS, s. 288 (podíl 10,5 AA)
1. ČSN 73 6160 Zkoušení živých směsí, část reologické a únavové vlastnosti, 1982, (podíl 0,5 AA)
2. ČSN 73 6128 Stavba vozovek. Vtlačované vrstvy, ČNI, 1994, (podíl 100 %, 0,7 AA)
3. ČSN 73 6121 Stavba vozovek. Hutněné asfaltové vrstvy, spolupracovatel, ČSNI, 1994, (podíl 70 %, 1 AA)
4. ČSN 73 6114 Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování, spolupracovatel, ČSNI, 1994, (podíl 50 % 1 AA)
5. TP 12 MV ČSR-SD Prozatímní technické podmínky pro zřizování krytů vozovek a jiných ploch z lité barevné směsi s pojivem amorfní polypropylén, SVB, 1983, (podíl 70% 0,8 AA)
6. TP 13 MV ČSR-SD Technické podmínky pro provádění krytových vrstev netuhých vozovek v úsecích mimořádně namáhaných těžkou dopravou, SVB, 1983, (podíl 100 %, 1,1 AA)
7. Dodatek 1 Typizační směrnice Katalog tuhých a netuhých vozovek pozemních komunikací, Dopravoprojekt Brno, 1987, (podíl 50 %, 1,6 AA)
8. Dodatek 2 TSm Katalog tuhých a netuhých vozovek pozemních komunikací, Dopravoprojekt Brno, 1990, (podíl 70 %, 2,1 AA)
9. TP 38 MV ČSR-SD Prozatímní technické podmínky pro návrh údržby a oprav vozovek s asfaltovým krytem, SVB, 1990, (podíl 100 %. 2,6 AA)
10. TP MDS ČR 77 Navrhování vozovek pozemních komunikací, VUT FAST a ODS – Dopravní stavby Ostrava, 1994, (podíl 70 %, 3,7 AA)
11. TP MDS ČR 82 Katalog poruch netuhých vozovek, VUT FAST, 1996, (podíl 80% 4,3 AA)
12. TP MDS ČR 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek, VUT FAST, 1997, (podíl 70 % 7,7 AA)
13. TP MDS ČR 138 Užití struskového kameniva do pozemních komunikací, VUT FAST, 2000, 21 stran (podíl 75 %, 1,3 AA)

14. TP MDS ČR 147 Užití asfaltových membrán a výztužných prvků v konstrukci vozovky, VUT FAST, 2001, 24 stran (podíl 60 %, 1 AA)
15. TP MDS ČR 148 Hutněné asfaltové vrstvy s přísávkem drcené gummy z pneumatik, VUT FAST, 2001, 10 stran (podíl 50 %, 0,3 AA)
16. TP MD ČR 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací, VUT FAST, 2004, 106 stran, 9,4 AA (podíl 80 %)

#### **A. 27 Studie, znalecké posudky, expertízy**

1. KUDRNA, J.: Technickoekonomická studie Zvýšení nápravových tlaků, podklady pro novelizaci vyhl. 90/1975 Sb. 1975, (podíl 100 %)
2. KUDRNA J.: Promrzání vozovek, část řešení Resortního úkolu RVT 314-002-00-10 Netuhé vozovky bez podsypné vrstvy, SVB průběžná zpráva 1974
3. KUDRNA, J.: Technicko-ekonomická studie pro zpracování výnosu FMD ze dne 7. listopadu 1977, Směrnice pro předcházení škodám a vypořádání škod způsobených bojovou technikou ozbrojených sil na pozemních komunikacích
4. KUDRNA, J.: Posouzení kvality stavby dálnice D2 v úseku Břeclav – hranice ČR, soudně znalecký posudek pro arbitrážní řízení, 1989
5. KUDRNA, J.: Srovnávací měření únosnosti podloží pozemních komunikací, studie pro Správu pro dopravu MH ČR, VUT FAST, 1992
6. KUDRNA, J.: Vizuální prohlídky, metodika a měření 2500 km vozovek silnic I. třídy pro Správu silničního fondu Praha, VUT FAST, 1992
7. KUDRNA, J.: Návrh opravy cementobetonové vozovky Lipník–Hranice, posuzování pro Správu a údržbu silnic Přerov, VUT FAST 1994
8. KUDRNA, J.: Projekt Přejímání evropských norem pro pozemní komunikace, Zpráva za NAT 227, VUT FAST, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001
9. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Posouzení asfaltových směsí s modifikovanými asfaly, zpráva pro PARAMO a.s., VUT FAST a CONSULTEST s.r.o., 1999, s. 31 (podíl 60 %)
10. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Diagnostika vozovek I/47 Vyškov – Kroměříž, posudek pro ŘSD – správa Brno, CONSULTEST s.r.o., 2000, s. 113 (podíl 60 %)
11. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Diagnostika vozovek I/54 v okrese Uherské Hradiště, posudek pro ŘSD – správa Brno, CONSULTEST s.r.o., 2000, s. 128 (podíl 60 %)
12. KUDRNA, J.: Expertizní posudek silnice I/52 Rajhrad – Mikulov, posudek pro ŘSD – správa Brno, CONSULTEST s.r.o., 2000, s. 118
13. KUDRNA, J.: Study of the Pavement Design Supporting Operations and Maintenance Strategy of Motorway D 47, CONSULTEST s.r.o., 2001, s. 5
14. KUDRNA, J.: Posouzení přeložky silnice I/20 a I/22 u Vodňan, CONSULTEST s.r.o., 2001, s. 11
15. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Posouzení vozovky Masarykova okruhu v Brně I a II, CONSULTEST s.r.o., 2001, s. 41 (podíl 50 %)
16. KUDRNA, J.: Posouzení vrstvy z kameniva zpevněného cementopílkovou suspenzí a návrh úpravy provádění vozovek, CONSULTEST s.r.o., 2001, s. 32
17. KUDRNA, J.: Posouzení asfaltové těsnicí vrstvy na přehradě Dlouhé stráně, CONSULTEST s.r.o., 2001, s. 21
18. KUDRNA, J., URBANEC, K.: Posouzení a návrh opravy vozovky přivaděče z R 35 Olomouc, CONSULTEST s.r.o., 2001, s. 33 (podíl 50 %)
19. KUDRNA, J.: The Evaluation of the pavement design proposed by D 47 Motorway Designers, CONSULTEST s.r.o., 2002, s. 9
20. KUDRNA J.: Evaluation of bituminous mixtures by performance laboratory tests, report for Deutsche BP, VUT FAST + CONSULTEST, 2002
21. KUDRNA, J.: Zpráva o zkouškách vozovky na stavbě Pražská radiála v Brně, CONSULTEST s.r.o., 2002, s. 89



22. KUDRNA J.: Posouzení vozovek v okrese Nový Jičín, znalecký posudek pro Policii ČR, CONSULTEST, 2003, s. 49
23. KUDRNA, J.: Posouzení příčin poruch vozovky silnice I/38 Pávov – Zvonějov, CONSULTEST s.r.o., 2003, s. 15
24. KUDRNA, J.: Diagnostika vozovky silnice I/47 silnice I/47 Hulín – Kroměříž, CONSULTEST s.r.o., 2003, s. 16
25. KUDRNA, J., Doplnková diagnostika vozovek na silnici I/50 Holubice – střílky v km 4,00 – 34,757, CONSULTEST s.r.o., 2003, s. 29
26. KUDRNA, J.: Posouzení opravy vozovky II/425 Rajhrad – křižovatka s II/421 km 0,000 – km 29,112 Závěrečná zpráva pro projekt opravy zpracováno pro Správu a údržba silnic Jihomoravského kraje, VUT FAST, 2004, s. 14
27. KUDRNA, J.: Posouzení opravy vozovky II/415 v úseku křižovatka s I/53 po státní hranici, Závěrečná zpráva pro projekt opravy zpracovaná pro Správu a údržbu silnic Jihomoravského kraje, VUT FAST, 2004, s. 20
28. KUDRNA, J.: Posouzení vodostavebních asfaltových betonů PVE Dlouhé Stráně, Zpráva pro návrh opravy těsnění hráze, AQUATIS Brno, 2004, s.60
29. KUDRNA, J.: Odborná expertiza stavební akce ISPROFIN – 3271141001 R10 Rekonstrukce silnice v km 25.970–75.00, Posouzení stavu vozovek v záruční době pro Státní fond dopravní infrastruktury, CONSULTEST, 2004, s. 160
30. KUDRNA, J.: Odborná expertiza stavební akce ISPROFIN-3271147001I/11 Mosty u Jablunkova II. stavba, Posouzení stavu vozovek v záruční době pro Státní fond dopravní infrastruktury, CONSULTEST, 2004, s. 190
31. KUDRNA, J.: Posouzení opravy vozovky II/406 Dvorce – Telč, Závěrečná zpráva o provedení diagnostiky pro Krajský úřad kraje Vysočina, CONSULTEST, 2004, s. 38
32. KUDRNA, J.: Posouzení zpevněných ploch komunikací v parku Michalov v Přerově, Zpráva pro Město Přerov, CONSULTEST, 2004, s. 18

## 9 KONCEPCE DALŠÍ VĚDECKÉ A PEDAGOGICKÉ ČINNOSTI

Z předloženého textu vyplývá informace, že ústav pozemních komunikací je dobře připraven přispět k rozvoji jeho specifického odborného zaměření:

- Je zpracován komplexní systémový přístup k navrhování a posuzování konstrukcí vozovek odpovídající současnému světovému poznání;
- Systém navrhování a posuzování je složen z několika modulů, které se mohou samostatně vyvíjet;
- Ústav je vybaven základními zařízeními pro měření v rámci jednotlivých modulů navrhování a posuzování;
- V případě náročných zařízení pro polní zkoušky spolupracuje s odbornými firmami;
- Systém zkoušek lze použít k vývoji nebo k posuzování nových materiálů do vozovek, ať již materiálů pro zvýšení jejich přínosů pro vozovku nebo pro využití sekundárních nebo odpadních hmot;
- Jsou vytvořeny podmínky, aby mladí pracovníci ústavu při řešení výzkumných projektů mohli odborně růst a samostatně i v širších kolektivech jiných universit přispět k rozvoji oboru.

S rozvojem společnosti se klade vyšší důraz na bezpečnost a pohodlí silničního provozu, ochranu životního prostředí a zdraví obyvatel. Je pravdou, že všechny problematiky nelze zvládnout na malém pracovišti, jakým je ústav pozemních komunikací, ale nejsou využívány možnosti mezinárodní kooperace. Spatřuji tyto významné body pro rozvoj ústavu:

- Zaměřit se na výzkum asfaltů jako pojiv, které podstatně ovlivňují vlastnosti asfaltových směsí. Je sice navázána spolupráce s TU Wien a Universitou v Calgary, ale doposud nedošlo k plnému a soustředěnému nasazení doktoranda nebo absolventa doktorského studia, který by se touto problematikou zabýval.
- Rozvoj měření a aplikace měření odolnosti proti smyku je třeba navázat na dopravní nehodovost, stanovit požadavky odolnosti proti smyku kladené na povrchy vozovek v závislosti na nebezpečnost dopravních situací (na nehodovost). Pro splnění tohoto předpokladu je nezbytné opět využít mezinárodní kooperace, v současnosti se jedná s TU ve Florencii.
- Rozvoj měření a aplikace měření hluku vznikajícího dopravou s dosažením komplexního hodnocení s dopadem na životní prostředí s ovlivňováním zdraví obyvatel. Splnění této problematiky se předpokládá ve spolupráci s Národní hlukovou observatoří.
- Věnovat se více uspořádání a bezpečnostním auditům pozemních komunikací, aby chování uživatelů pozemní komunikace bylo vedením a šířkovým uspořádáním vynuceno. Tato činnost se rozvíjí ve spolupráci s Centrem dopravního výzkumu a Policií ČR.
- Začít se věnovat otázkám rozvoje dopravních systémů a telematiky. K tomuto je třeba rozvinout spolupráci opět s Centrem dopravního výzkumu.

Tyto cíle směřují k universitnímu pojetí vysoké školy se zaměřením na vědu, výzkum a inovace. Tímto zaměřením předpokládá, že nebude zanedbána řádná výuka a pedagogické působení, spíše naopak. Prvořadým předpokladem je ovšem podchycení širšího zájmu studentů o zapojení se mezinárodního dění. Dosavadní výsledky jsou jen ojedinělé.

## 10 ABSTRACT

The thesis follows the author's main research interest: design of pavement structures and their maintenance and rehabilitation, measurements of road building materials and pavement structures. The Road Laboratory of Civil Engineering Faculty system of performance testing of subgrade and bituminous mixtures connected with evaluation of bearing capacity and serviceability of pavement structure is presented.

From the beginning of road construction it is known that the local material have to be used and the dimensions of structures depend on road loading as well as on subgrade and road building materials properties. The main goal of structural design is to optimize the level of road service (users costs) and construction and maintenance costs.

The process of Czech pavement design methods development is mentioned. The author prepared the method and main characteristics are described.

The computer method of calculation of stress, strain and deflection is based on solving of halve infinite space. The main existing design criteria shall limit:

1. Fatigue development in bitumen or Portland cement course,
2. Permanent deformation of subgrade plane (the plane drainage has to be permanently in function).

The pavement structure calculations are based on knowledge of subgrade and road building materials elasticity moduli and Poisson's numbers. The design criteria use Miner hypothesis of cumulative damage and the formulas are presented.

The performance test of soils, unbound and recycled materials uses triaxial dynamic compression test. The development of permanent deformation during repeated loading is supposed to be applied. The frost susceptibility test of improved fine soils, aggregate, fly ash and recycled materials is very important.

The performance tests of bituminous materials are based on 2-point bending test; the stiffness and fatigue are measured. The indirect tensile test is also used.

Up to now the other performance tests are used as structural demands to limit pavement failure. Three types of rut depth testers are evaluating the resistance to permanent deformation of bitumen mixtures but new test device based on cyclic triaxial testing is under development. The resistance to low temperature cracking is tested by TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test). The water resistance is tested by ITSr (Indirect Tensile Strength Ratio). The programme to evaluate the macrotexture (skid resistance and noise reduction) during type testing has been launched.

The pavement bearing capacity measurements are based on the usage of Benkelman beam, Deflectograph and Falling Weight Deflectometer. The first two methods are used to plan the maintenance and rehabilitation; FWD is applied for evaluation of the pavement design method, performance properties of subgrade and unbound road building materials as well as for the design of the overlay, recycling and reconstruction.

The measurements of permanent deformation, unevenness, skid resistance and traffic noise are also mentioned as they are used as a recommendation in Pavement Design Method and in Pavement Management System. The original method of pavement failure data collections used for secondary road system is mentioned.

The presented system of performance tests together with design method is used for development and evaluation of new road building materials to increase the pavement serviceability or to use secondary materials and by-products. The system promotes sustainable development of national road network.