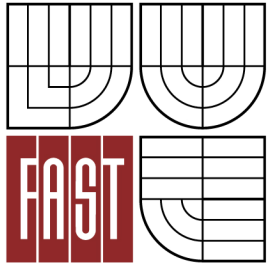




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VLIV PŘÍPRAVY VZORKŮ NA MODUL TUHOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

INFLUENCE OF THE SAMPLE PREPARATION ON THE STIFFNESS OF ASPHALT
MIXTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Pavel Pěch

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2012

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o vlivu přípravy zkušebních těles na stanovení modulu tuhosti. Tělesa ve formě trapezoidů jsou připravena dvěma různými způsoby – s ořezáním všech ploch a bez ořezání horního a spodního líce. Takto připravená tělesa jsou zkoušena a je stanoven modul tuhosti dvoubodovou zkouškou. Výsledky zkoušek jsou vzájemně porovnávány.

Klíčová slova

Asfaltové směsi, zkušební vzorky, modul tuhosti, obrusná vrstva, podkladní vrstva

Abstract

The Bachelor thesis deals with influence of the preparation of probationary bodies to determine of modulus of stiffness. Bodies in the form trapezoid are prepared in two different ways - with trimming and without trimming of all surfaces of the upper and lower party. This way prepared bodies are tested and is determined two-point test for modulus of stiffness. The results of tests are mutually compared.

Keywords

Bituminous mixtures, test samples, stiffness modulus, wearing course, base layer

Bibliografická citace VŠKP

PĚCH, Pavel. *Vliv přípravy vzorků na modul tuhosti asfaltových směsí*. Brno, 2012. 46 s., 50 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2012

.....

podpis autora

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22.5.2012

.....

podpis autora
Pavel Pěch

Rád bych poděkoval Doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za pomoc při zpracovávání bakalářské práce a také Pavlu Strakovi a Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za pomoc při zkoušení v silniční laboratoři.

OBSAH

1 Úvod.....	9
1.1 Cíl bakalářské práce.....	9
1.2 Požadavky na konstrukční vrstvy vozovky.....	9
2 Druhy asfaltových směsí.....	15
2.1 Asfaltový beton (AC).....	15
2.2 Asfaltový koberec mastixový (SMA).....	16
2.3 Asfaltový koberec drenážní (PA).....	18
2.4 Litý asfalt (MA).....	19
3 Navrhování asfaltových směsí.....	21
4 Zkoušky asfaltových směsí.....	23
4.1 Fyzikálně mechanické zkoušky asfaltových směsí.....	23
4.2 Funkční zkoušky asfaltových směsí.....	24
5 Zkouška stanovení modulu tuhosti.....	28
5.1 Způsoby zkoušení.....	28
5.2 Zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu 2PB-TR.....	28
5.3 Výběr směsí pro stanovení modulů tuhosti.....	37
5.4 Vlastnosti směsí.....	38
5.5 Výsledky zkoušek.....	41
6 Závěr.....	46
7 Seznam použité literatury.....	47
8 Seznam obrázků.....	48
9 Seznam tabulek.....	49
10 Seznam grafů.....	50

1 Úvod

1.1 Cíl bakalářské práce

- Odebrání minimálně dvou vzorků asfaltových směsí přímo na stavbě při pokládce, a to jemnozrnné asfaltové směsi určené do obrusných vrstev vozovky a hrubozrnnou asfaltovou směs pro ložní nebo podkladní vrstvy.
- Na vyrobených zkušebních vzorcích provést zkoušku modulu tuhosti asfaltových směsí dle ČSN EN 12 697 – 26 a zjistit rozdíly mezi jemnozrnnou a hrubozrnnou směsí a dokázat jaký vliv mají rozdílné způsoby přípravy zkušebních vzorků na výsledné moduly tuhosti asfaltových směsí.

1.2 Požadavky na konstrukční vrstvy vozovky

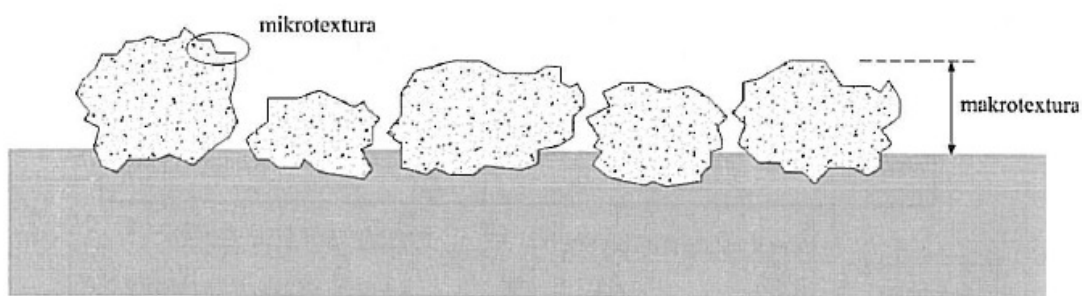
Obrusná vrstva

- *Protismykové vlastnosti (makrotextura, mikrotextura)*

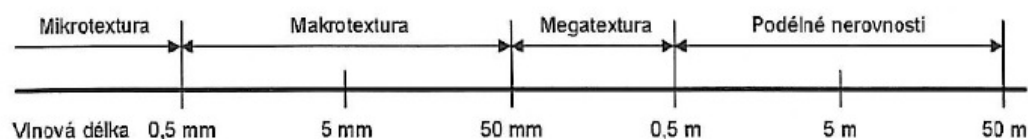
Mezi povrchem vozovky a pohybující se pneumatikou vzniká tření, které zajišťuje jejich vzájemné spolupůsobení. Protismykovými vlastnostmi rozumíme schopnost povrchu vozovky zatíženého dopravou zajistit toto spolupůsobení, které posuzujeme podle zjištění součinitele tření.

Makrotexturou rozumíme odchylku povrchu vozovky od filtrovaného skutečného rovného povrchu ve vlnovém rozsahu od 0,5 mm do 50 mm.

Mikrotextura je odchylka povrchu vozovky od filtrovaného skutečného rovného povrchu ve vlnovém rozsahu do 0,5 mm. Je dána velikostí a tvarem jednotlivých zrn kameniva.



Obrázek 1 – Specifikace makrotextury a mikrotextury [1]



Obrázek 2 – Názvosloví z hlediska délky vlny [2]

Ztráta makrotextury povrchu vozovky – nastane, když se povrch vozovky uzavře do hladké plochy bez vystouplých zrn kameniva

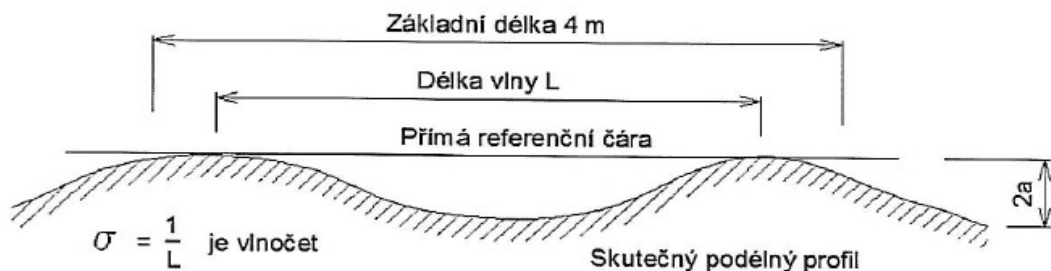
Ztráta mikrotextury povrchu vozovky – dojde k vyhlazení zrn kameniva na povrchu vozovky pneumatikami

[1,2,3]

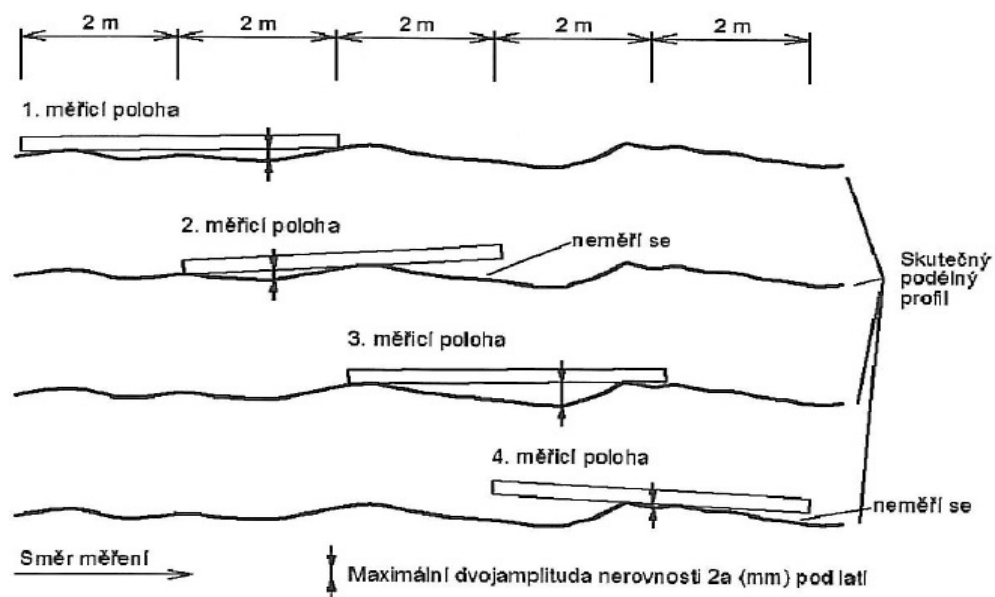
▪ **Rovnost povrchu (příčná, podélná)**

Podélná nerovnost povrchu vozovky je odchylka skutečného podélného profilu od přímé referenční čáry ve směru jízdy dopravních prostředků. Příčná nerovnost povrchu vozovky je odchylka skutečného příčného profilu od přímé referenční čáry v kolmém směru na směr jízdy dopravních prostředků.

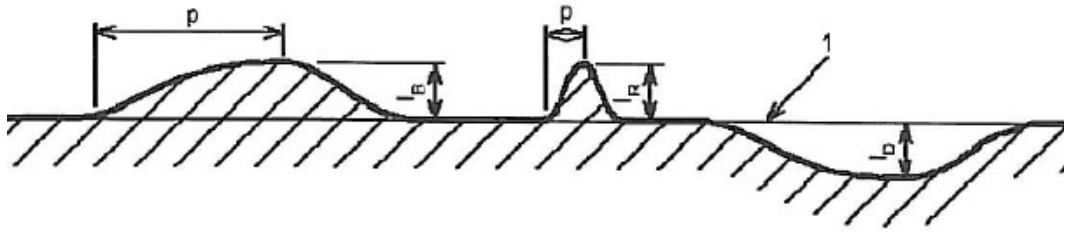
Dle ČSN 73 6175 se nejčastěji kontroluje nerovnost povrchu vozovky laťí délky 4 metry pro nerovnost podélnou a laťí délky 2 metry pro nerovnost příčnou. Podstatou zkoušky je zjištění maximálních dvojamplitud nerovností pod laťí dle obrázku 3. [2]



Obrázek 3 – Podélná nerovnost [2]



Obrázek 4 – Postup měření podélné nerovnosti povrchu vozovky laťí [2]



Obrázek 5 – Příčný profil vozovky vykazující výšku hřbetu I_R , hrbolu I_B a poklesu I_D [2]

Legenda: 1 Horizontální referenční čára

p Vzdálenost vrcholu hřbetu nebo hrbolu od jeho počátku ve směru pojezdu

▪ **Odolnost proti tvorbě trvalých deformací**

Je to vlastnost asfaltových směsí vzdorovat tvorbě trvalých deformací (vyjíždění kolejí). Náchylnost na tvorbu trvalých deformací asfaltových směsí řeší norma ČSN EN 12 697 – 22 Zkouška poježdění kolem, která popisuje zkušební metody pro zjištění trvalých deformací asfaltových směsí. Používají se malá, velká a extra velká zkušební zařízení a zkouší se tělesa odebraná z vozovky nebo připravená v laboratoři. [4]

▪ **Odolnost proti tvorbě trhlin – relaxace (viskozita pojiva)**

Relaxace asfaltového pojiva znamená odbourání napětí a souvisí s viskoelastickým chováním asfaltového pojiva, které je schopno odbourávat vzniklá napětí viskózním přetvářením.

Trhliny ve vrstvách vozovek vznikají z různých příčin, podle kterých rozdělujeme trhliny na:

- **mrazové** – vznikají při dlouhotrvajících extrémních mrazech, při kterých asfaltové pojivo tuhne a ztrácí viskoelastické vlastnosti.

- **reflexní** – vznikají u cementem zpevněných podkladních vrstev, kde při tvrdnutí dochází k smršťování vyvolávající tahová napětí vyšší než pevnost materiálu vrstvy.

- **mozaikové** – vznikají při špatném spojení vrstev vozovky, které poté přenáší mnohem větší zatížení a v oslabených místech dochází k poruše.

- **v konstrukci vozovky** – vznikají při opakovaném zatížení v místě nejvyššího namáhání na spodním líci vrstev. V důsledku poddimenzování nebo snížení únosnosti dochází k narušení spojení mezi zrny a vznik trhliny.

- **jiné** – patří mezi ně trhliny obrusné vrstvy ve tvaru srp, smykové trhliny lemující poruchy zemního tělesa a podélné trhliny mrazovým zdvihem středu vozovky. [3]

- **Trvanlivost (odolnost proti stárnutí, opotřebení povrchu)**

Trvanlivost asfaltových směsí je dána dlouhodobou odolností směsi proti účinkům klimatických vlivů, jako je voda, mráz, sluneční záření. Velký vliv na odolnost proti stárnutí má mezerovitost a vliv srážkové vody. Při vysoké mezerovitosti ($V_m > 8\%$ - propustná směs) proniká do vrstvy voda a nečistoty. Opotřebení povrchu je urychlováno dopravním zatížením a nejde mu nijak zabránit.[11]

- **Nepropustnost**

Je dána mezerovitostí asfaltové směsi. Čím je mezerovitost větší, tím je také větší propustnost. Nepropustnost závisí na mezerovitosti V_m [%] dle tabulky.

V_m	propustnost
< 3%	Nepropustná
3 % - 5 %	Prakticky vodotěsná
5 % - 8 %	Mírně propustná
> 8 %	Propustná

Tabulka 1 – Propustnost asfaltových směsí v závislosti na mezerovitosti [11]

- **Útlum hluku**

Utlumit hladinu hluku od dopravy je možné docílit několika způsoby a to výstavbou protihlukových stěn a tunelů, snížením rychlosti vozidel, používáním pneumatik s nízkou hlučností a výstavbou vozovek s nízkou hlučností, mezi které patří asfaltový koberec drenážní a asfaltový koberec mastixový (směsi s přerušenou čarou zrnitosti) nebo asfaltové směsi s přidanou mletou gumou případně spojení obou, které svojí strukturou dokážou snížit hluk o několik dB. [5]

- **Světlost povrchu**

Světlost povrchu vozovky působí příznivým dojmem na řidiče. Proto je pro řidiče příjemnější jízda po cementobetonovém krytu než po asfaltových směsích. Na povrch asfaltové směsi však může být proveden světlejší nástřík. Světlý povrch vozovky je také dobrý pro lepší viditelnost.

Ložní vrstva

- **Společně s obrusnou vrstvou – tuhý kryt**

Ložní vrstva společně s obrusnou vrstvou tvoří kryt vozovky, který přenáší zatížení od vozidel na podkladní vrstvy přes pláň do podloží. Tuhé kryty jsou cementobetonové kryty z vyztuženého nebo nevyztuženého betonu, které se pokládají v jedné nebo dvou vrstvách. Dvouvrstvý kryt je betonovaný ve dvou

fázích se spodní konstrukční a horní obrusnou vrstvou, která se pokládá na čerstvý beton spodní vrstvy. [6]

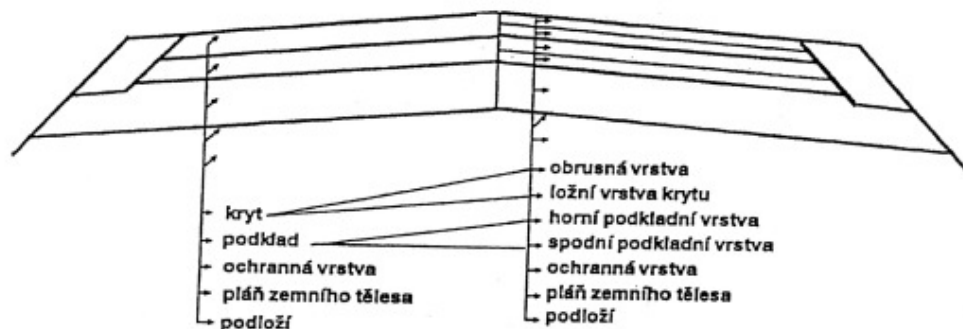
- **Odolnost proti tvorbě trvalých deformací**

Jedná se o schopnost asfaltové směsi odolávat účinkům vnějších sil při vysoké teplotě a statickém nebo pomalém zatížení. Pro zlepšení odolnosti se používá drcené kamenivo a tvrdé nemodifikované pojivo nebo modifikované pojivo čímž docílíme vysoké pevnosti ve smyku. [11]

Podkladní vrstvy

- **Obecně roznášení účinků zatížení od dopravy**

Podkladní vrstvy roznáší namáhání od dopravního zatížení z krytu vozovky na podloží tak, aby nedocházelo k jeho nadměrnému zatěžování, deformacím a deformacím vlastní podkladní vrstvy. Můžeme je používat jako nestmelené, protože zatížení od dopravy už je z části rozneseno vrstvami krytu. Spodní nestmelené vrstvy vyrovnávají rozdílnou únosnost podloží a musí splňovat požadavky na intenzitu mrazu a vodní režim v podloží vozovky. Horní podkladní vrstvy se navrhují podle dopravního zatížení. Pro vyšší zatížení použijeme vyšší tloušťku a kvalitnější materiál. [8]



Obrázek 6 – Rozdělení vrstev vozovky [7]

- **Stmelené asfaltem → odolnost proti únavě**

Podkladní vrstvy stmelené asfaltem mohou být navrženy z asfaltového betonu určeného pro podkladní vrstvy nebo může být použit penetrační makadam pro I. třídu dopravního zatížení. Odolnost proti únavě se zjišťuje únavovou zkouškou, která je důležitá pro správné dimenzování vozovek.

- **Stmelené cementem → zamezení tvorbě reflexních trhlin**

Stmelené podkladní vrstvy se používají tam, kde není možnost použít dostatečně kvalitní místní kamenivo nebo je to ekonomicky výhodnější, než dovoz jiného kvalitního materiálu. Stmelené vrstvy mají relativně vyšší modul pružnosti ale nižší pevnost. Jsou tedy křehké a dochází k porušení vlivem

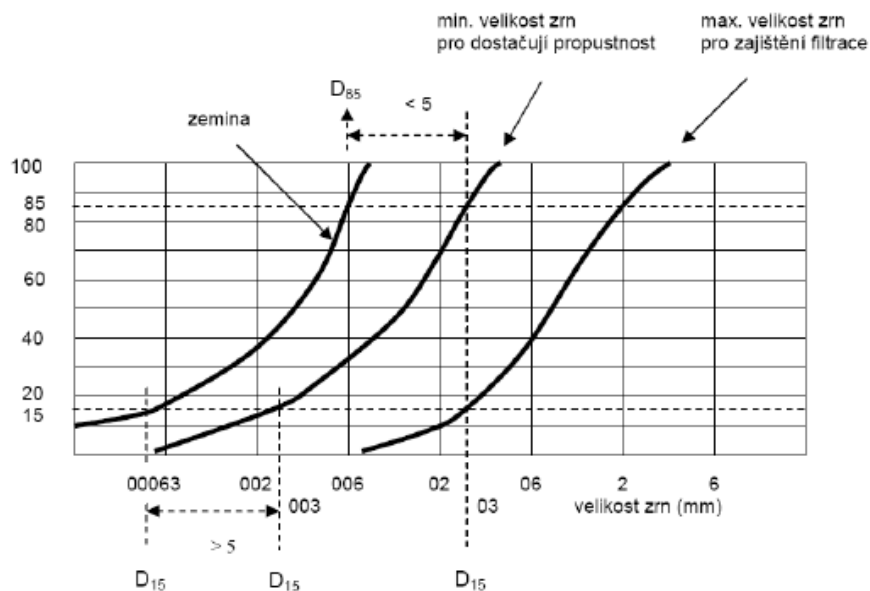
velkých napětí, která vznikají už při malých deformacích. Vznikají zde pravidelné reflexní trhliny způsobené vlivem teplotních změn a smršťováním vrstvy. Čím je vyšší pevnost vrstvy, tím se riziko reflexních trhlin zvyšuje. Pro snížení rizika vzniku reflexních trhlin můžeme podpořit vznik mikrotrhlin pomocí pojezdů vibračního válce nebo vytvářením spár či vrypů v čerstvě položené vrstvě. Případně můžeme zvýšit tloušťku asfaltových vrstev. [3, 9]

▪ *Nestmelené* → *splnění filtračních kritérií*

1. Kriterium filtrace – nutnost zamezit pronikání nestmelené vrstvy do podloží. Pro dodržení filtračního kritéria musí být splněna podmínka d_{15} nestmelené vrstvy/ d_{85} podloží ≤ 5 . Pokud podmínka neplatí, vkládá se mezi vrstvy separační geotextilie.

2. Kriterium propustnosti – nutno dodržet podmínku d_{15} nestmelené vrstvy/ d_{15} podloží ≥ 5 .

d_{15} – velikost zrna, které odpovídá propadu 15 % [7]



Obrázek 7 – Kriterium filtrace a propustnosti [7]

2 Druhy asfaltových směsí

2.1 Asfaltový beton (AC)

Jedná se o nejpoužívanější a nejrozšířenější druh asfaltové směsi. Dříve se asfaltový beton (AB), který se používal pro obrusné a ložní vrstvy, používalo též obalované kamenivo (OK) pro ložní a podkladní vrstvy. Oba typy směsí měly podobnou skladbu zejména s ohledem na plynulé vedení čáry zrnitosti. V dnešní době se používá jednotný název Asfaltový beton s označením (AC) z anglického Asphalt Concrete. Asfaltový beton se používá ve všech vrstvách krytu vozovky, tedy obrusných, ložních, podkladních případně i vyrovnávacích. Tato směs se vyznačuje rovnoměrným zastoupením zrn kameniva různé velikosti. Označování různých druhů směsí se provádí podle několika kritérií:

Označení asfaltového betonu podle použití v konstrukčních vrstvách vozovky

- ACO – asfaltový beton pro obrusné vrstvy
- ACL – asfaltový beton pro ložní vrstvy
- ACP – asfaltový beton pro podkladní vrstvy

Označení podle nejhrubší použité frakce kameniva

- AC D – D je velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva pro daný druh asfaltové směsi

Označení asfaltového betonu podle kvalitativních požadavků

- S – směsi se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací, nahrazující směs podle dřívějšího předpisu TP 109, tyto směsi jsou hutněny při laboratorním návrhu 2x75 údery Marshallova pěchu při použití do obrusných a ložních vrstev konstrukce vozovky a 2x50 údery pro ostatní obrusné a ložní vrstvy pro nižší dopravní zatížení a při použití do podkladních vrstev.
- + - směsi nahrazující kvalitativní třídu směsí I dle ČSN 73 6121, směsi jsou hutněny 2x50 údery Marshallova pěchu
- Bez označení – směs nahrazující kvalitativní třídu směsí II a III dle ČSN 73 6121, směsi jsou hutněny 2x50 údery Marshallova pěchu

- CH – směsi pro nemotoristické komunikace a chodníkové úpravy (označení koresponduje s TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací, směsi jsou hutněny 2x50 údery Marshallova pěstku

Symbol je doplněn za označením D – velikosti oka horního síta

Označení asfaltového betonu se doplňuje

- o druh použitého pojiva – např. modifikovaný asfalt PMB 10/45-60

v technické dokumentaci uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a označením odpovídající normy. [10, 12]

Označení asfaltového betonu			
obrusné vrstvy		ložní vrstvy	
Nové	Staré (ČSN 73 6121)	nové	Staré (ČSN 73 6121)
ACO-8	ABJ II	ACL-16S	ABH I (0-16) – TP 109
ACO-8CH	ABJ II, III	ACL-16+ ACL-16	ABH I ABH II, III, OKS I
ACO-11S	ABS I (0-11) – TP 109	ACL-22S	ABVH I (0-22) – TP 109
ACO-11+	ABS I	ACL-22+	ABVH I
ACO-11	ABS II, III	ACL-22	ABVH II, III, OKH I
ACO-16S	ABH I (0-16) – TP 109	podkladní vrstvy	
ACO-16+	ABH I	ACP-16S	-
ACO-16	ABH II, III	ACP-16+	OKS I, II
		ACP-22S	OKH I (0-22) – TP 109
		ACP-22+	OKH I, II

Tabulka 2 – Označení asfaltového betonu dle normy ČSN EN 13 108 – 1

2.2 Asfaltový koberec mastixový (SMA)

Asfaltová směs, která byla vyvinuta v Německu v 70. letech. Protože se jedná o směs velmi odolnou proti tvorbě trvalých deformací, používala se původně do vozovek pojížděných hlavně pneumatikami s hřeby. Nyní se používá hlavně do obrusných vrstev silnic, dálnic a křižovatek s velkým zatížením nebo na letištní plochy.

Asfaltový koberec mastixový se vyznačuje přerušenou čarou zrnitosti a zastoupením převážně jedné frakce kameniva. Nosnou kamennou kostrou směsi je nejhrubší a částečně druhá nejhrubší frakce kameniva, které přenáší zatížení. Zbývající kamenivo tvoří výplň a společně s kamennou moučkou a asfaltovým pojivem vzniká asfaltová malta neboli mastix, který vzájemně

stmeluje zrna nosné kostry směsi. Protože nosná funkce směsi závisí na vzájemném dotyku hrubé frakce kameniva, musí být použito velmi kvalitní kamenivo. Hlavním požadavkem je proto nízká otlukovost kameniva. Množství asfaltu je také ve srovnání s asfaltovým betonem vyšší (6 - 8 %) a používají se většinou asfalty modifikované.

Základní charakteristiky

- vysoká odolnost proti tvorbě trvalých deformací
- odolnost proti tvorbě mrazových trhlin
- příznivá makrotextura a s ní související útlum hluku z dopravy a dobré drenážní vlastnosti
- pomalý proces stárnutí
- dobrá přilnavost k podkladu

[13]

Označení asfaltového koberce mastixového

Označení asfaltového koberce mastixového	
ČSN EN 13108-5:2008	ČSN 73 6121:1994 a další předpisy*)
SMA 4	AKMVJ I, II
SMA 5	AKMVJ I, II
SMA 8 S	AKMJ I – TP 109
SMA 8 +	AKMJ I
SMA 8	AKMJ II
SMA 11 S	AKMS I – TP 109
SMA 11 +	AKMS I
SMA 11	AKMS II
SMA 16 +	AKMH I
SMA 16	AKMH II

Tabulka 3 – Označení asfaltového koberce mastixového (ČSN EN 13 108 – 5) [13]

2.3 Asfaltový koberec drenážní (PA)

Základní charakteristikou asfaltového koberce drenážního je vysoká mezerovitost a to vyšší jak 17 %. Používá se hlavně do obrusných vrstev dálničních a silničních vozovek pro jeho skvělé vlastnosti jako rychlé odvedení srážkové vody z povrchu vozovky přes ztuhnutou směs obrusné vrstvy a po nepropustném podkladu mimo vozovku. Z tohoto důvodu se snižuje riziko aquaplaningu. Drenážní koberec snižuje také hlučnost od motorů vozidel a od kontaktu pneumatika vozovka o 3-5 dB.

Obdobně jako u asfaltového koberce mastixového je čára zrnitosti přerušena a nosnou kostru tvoří frakce nejhrubšího kameniva (i 70 a více procent). Opět jsou kladeny vysoké nároky na otlukovost, ohladitelnost a tvarový index kameniva.

Základní charakteristiky

- odvod srážkové vody přes vrstvu směsi na nepropustnou vrstvu a dále na okraj vozovky – lepší protismykové vlastnosti
- snížení hluku od pojezdu vozidel o 3-5 dB – hluk od motoru a od kontaktu pneumatika vozovka – směs je vhodná pro komunikace v obytných zónách

Drenážní koberec se pokládá na vodou nepropustnou podkladní vrstvu – SAMI vrstva (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Směs se hutní pouze statickými válci bez vibrací, aby se neporušila kostra drenážního koberce.

Označení asfaltového koberce drenážního

- PA D - D je velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva pro daný druh asfaltové směsi (dle tabulky 4)

Použité označení pro vyjádření zrnitosti	
Nová ČSN EN 13108-7:2007	Původní ČSN 73 6121:1994
D = 8	J – jemnozrný
D = 11	S – střednězrný
D = 16	H – hrubozrný

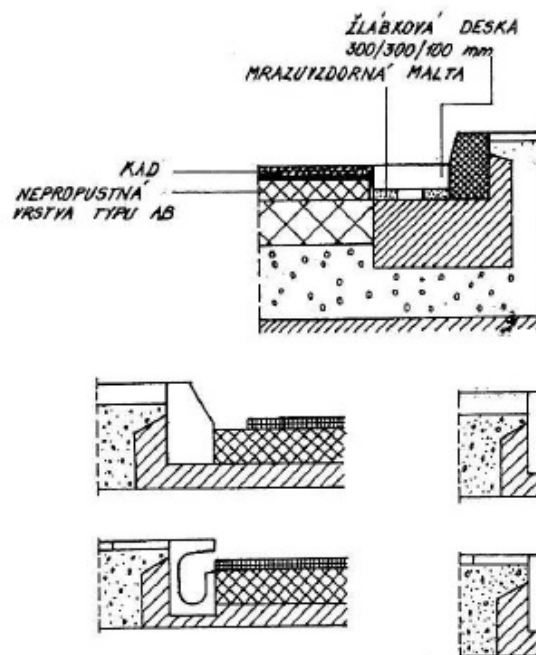
Tabulka 4 – Označení asfaltového koberce drenážního [14]

Pro zajištění řádné funkce drenážní vrstvy je nutno

- při odstraňování sněhu používat radlice s gumovými břity

- po zimním období vyčistit vrstvu od nečistot tlakovou vodou
- pro zajištění odvodu vody udržovat krajnice pod úrovní povrchu nepropustné podkladní vrstvy
- v městských komunikacích je nutné dodržet správné připojení hrany komunikace a přilehlého chodníku

[12,14]



Obrázek 8 - Různé způsoby konstrukčního odvodnění asfaltového koberce drenážního [12]

2.4 Litý asfalt (MA)

Litý asfalt je směs kameniva, asfaltového pojiva a případně dalších přísad. Směs se liší od hutněných asfaltových směsí větším množstvím asfaltového pojiva a kamenivo již netvoří nosnou kostru směsi, ale stává se pouze výplňovým kamenivem. Zatížení v litém asfaltu přenáší asfaltové pojivo. Proto se používají pojiva tvrdší gradace, která se ztužují vyšším obsahem vápencové moučky.

Směs litého asfaltu se používá do obrusných vrstev chodníků, silnic, dálnic, dopravních a skladovacích ploch a do ochranné vrstvy izolace mostních objektů.

Přibližné složení směsi

- pojivo – 7,5 – 9,5 % tvrdé asfalty, 20/30, 30/45, 40/60 + přísady na zlepšení zpracovatelnosti, možné použití též R-materiál
- vápencová moučka 25-35 % [15]

Označování litého asfaltu

Označení litého asfaltu		Specifikace komunikace ¹⁾	Nejvyšší dovolená TDZ (ČSN 73 6114:1995)
Nové ČSN EN 13108-6:2008	Původní ČSN 73 6122:1994		
MA16 I	LAD I, LAH I	Dálnice, rychlostní silnice a rychlostní místní komunikace, silnice a místní komunikace s těžkou dopravou ^{2) 3)}	S
MA11 I	LAS I		
MA11 II	LAS II, (LAD II)	Ostatní silnice a místní komunikace ^{3) 4) 7)}	III
MA8 II	LAJ II		
MA16 III	LAD III, LAH III	Křižovatky ²⁾ , zastávky nekolejové MHD ⁵⁾ , parkoviště ⁶⁾	I
MA11 III	LAS III		
MA8 III	LAJ III		
MA16 IV	LAD IV, LAH IV	Ochranné vrstvy izolace na mostech	Pro jednotlivé typy mostů a skupiny TDZ uvedeno v tabulce NA.5
MA11 IV	LAS IV		
MA8 IV	LAJ IV		
MA11V	LAS V	Nemotoristické komunikace ⁸⁾	
MA8 V	LAJ V		
MA5 V	LAP V		
MA 4 V	LAP V		

1) Jednotlivé druhy litého asfaltu se pokládají v tloušťkách: MA16 – 35 mm až 45 mm, MA 11 – 30 mm až 40 mm, MA8 – 25 mm až 40 mm, MA5, MA 4 – 20 mm až 30 mm. Celková tloušťka těchto vrstev konstrukcí nesmí být větší než 80 mm. Označení litého asfaltu v technické dokumentaci se doplňuje uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a označením odpovídající normy.

2) V případě jízdních pruhů vozovek TDZ S, I, II s trvale zastavující dopravou TNV se použití nedoporučuje.

3) Včetně vozovek na mostech.

4) Kromě jízdních pruhů vozovek TDZ III s pomalou a zastavující dopravou.

5) V případě více než 2 linek s denním intervalem 6 minut až 15 minut se použití nedoporučuje.

6) Kromě osluněných parkovišť těžkých vozidel.

7) Lze použít i MA I.

8) Kromě dopravně zklidněných komunikací podle ČSN 73 6110.

Tabulka 5 – Označení litého asfaltu [15]

3 Navrhování asfaltových směsí

Stanovení optimálního složení asfaltové směsi a postup návrhu směsi je uveden v normě ČSN 73 6160. Laboratorní návrh asfaltové směsi vyplývá z požadavků technických norem předepisujících druh a kvalitu stavebních materiálů. Dále předepisují požadavky na složení a fyzikálně mechanické a fyzikální vlastnosti asfaltové směsi. Pro navržení asfaltové směsi se stanoví zrnitost frakcí kameniva a provedou se návrhy:

▪ návrh čáry zrnitosti kameniva

Při návrhu směsi kameniva do asfaltové směsi je třeba dosáhnout toho, aby výsledná čára zrnitosti směsi kameniva ležela uvnitř příslušného oboru zrnitosti a plnila účel použití směsi. Obor zrnitosti je rozsah propadu daný horními a dolními mezními hodnotami na jednotlivých sítích a je dán výrobkovou normou pro určitou asfaltovou směs.

Při návrhu se postupuje nejdříve stanovením čar zrnitosti jednotlivých frakcí kameniva a přídatného fileru. Poté se odhadem nebo podle předchozích návrhů stanoví podíl každé frakce kameniva. Podle stanoveného procentuálního podílu se u frakcí redukuje propad na jednotlivých sítích. Sečte se celkový propad každého síta výsledné směsi. Vypočtená čára zrnitosti směsi kameniva se porovná, zda leží uvnitř oboru zrnitosti, tedy mezi horní a dolní mezní čarou zrnitosti dané asfaltové směsi a odpovídá všem požadavkům. Pokud čára neleží uvnitř oboru zrnitosti, postup se opakuje s pozměněným procentuálním podílem frakcí kameniva. Postup je možné kontrolovat také grafickým způsobem.

▪ stanovení teoretického optimálního množství pojiva

Pro stanovení teoretického optimálního množství pojiva hutněných asfaltových směsí používáme výpočet podle součinitele sytosti, konstant nebo se použije dřívějších zkušeností.

- výpočet podle součinitele sytosti

Součinitel sytosti je číslo, kterým se upravuje tloušťka asfaltového filmu. Pro stanovení je třeba znát mimo součinitele sytosti ještě objemovou hmotnost kameniva a měrný povrch kameniva, což je součet ploch povrchů jednotlivých zrn kameniva o hmotnosti 1 kg. Teoretické množství pojiva p [kg asfaltu/100 kg kameniva] se vypočte dle vzorce:

$$p = n \times \sqrt[3]{\varepsilon} \times \frac{2,650}{\rho_a},$$

- n – součinitel sytosti (mění se podle druhu a užití asfaltové směsi v rozmezí 3,10 a 3,40)

- ε - měrný povrch kameniva v m^2/kg
- Q_a - objemová hmotnost kameniva stanovená dle ČSN EN 1097 - 6 v Mg/m^3

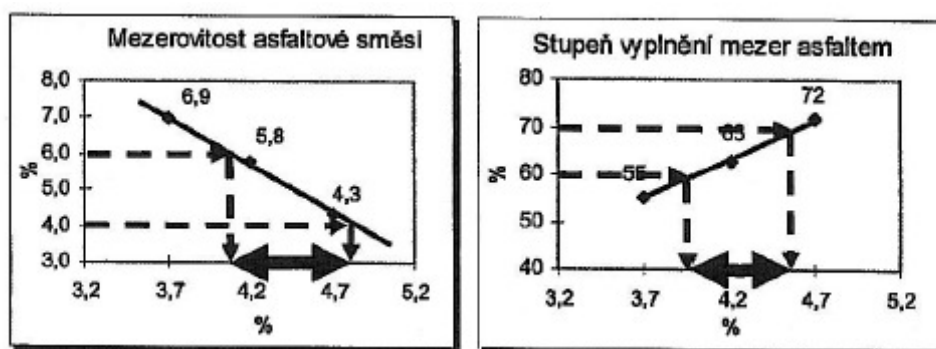
▪ stanovení návrhového množství pojiva

Je interval obsahu pojiva stanovený vyhodnocením objemových charakteristik asfaltové směsi pro jednotlivé sady porovnáním s mezními hodnotami dané příslušnou normou.

Po zjištění teoretického optimálního množství pojiva dle zkušeností se u hutněných směsí doporučuje namíchat tři sady směsí dle normy ČSN EN 12 697 - 35 odstupňované pro jemnozrnné směsi ($D \leq 11 \text{ mm}$) o 0,3 - 0,4 % a pro hrubozrnné směsi ($D \geq 16 \text{ mm}$) o 0,4 - 0,5 %, aby teoretické optimální množství pojiva tvořilo střední sadu. Pro přepočítání množství pojiva p [kg pojiva/100 kg kameniva] na \dot{p} [v % hmotnosti] použijeme vzorec:

$$\dot{p} = (p / 100 + p) \times 100$$

Z každé sady se vyrobí minimálně 3 Marshallova tělesa a z nich se zjistí jejich objemová hmotnost (například metodou nasycený suchý povrch SSD dle ČSN EN 12 697 - 6) a také maximální objemová hmotnost asfaltové směsi pomocí pyknometru ve vodě, nebo výpočtem ze zjištěných objemových hmotností jednotlivých složek směsí. Následuje vyhodnocení podle požadavků pro vybraný druh směsi. Vždy mezerovitost V_m (% objemu) a obsah asfaltu A_p (% objemu), nebo stupeň vyplnění mezer pojivem VFB (%), pokud je požadován a mezerovitost směsi kameniva VMA (%). Vyhodnocení se provede graficky.



Obrázek 9 – Příklad grafu závislosti objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi a maximální objemové hmotnosti na obsahu pojiva v % hmotnosti [16]

[16]

4 Zkoušky asfaltových směsí

4.1 Fyzikálně mechanické zkoušky asfaltových směsí

▪ stanovení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi

Objemová hmotnost zhutněné směsi je hmotnost vzorku vztažená k objemu vzorku včetně dutin v zrnech kameniva a mezerách mezi zrny zhutněné směsi kameniva a asfaltu.

Stanovení probíhá pomocí radiosondy troxler na stavbě nebo vážením ve vodě a na suchu na Marshallových tělesech v laboratoři:

$$Q_{\text{bssd}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times Q_W$$

- Q_{bssd} - objemová hmotnost SSD v kg/m^3
- m_1 - hmotnost suchého tělesa v g
- m_2 - hmotnost tělesa ve vodě v g
- m_3 - hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného v g
- Q_W - hustota vody při zkušební teplotě stanovená s přesností na 0,1 kg/m^3

▪ stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltových směsí

Maximální objemová hmotnost neboli objemová hmotnost nezhutněné asfaltové směsi je hmotnost při dané zkušební teplotě, která připadá na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer. Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti:

$$Q_{\text{mV}} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p} - \frac{(m_3 - m_2)}{Q_W}$$

- Q_{mV} - maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 stanovená volumetrickým postupem s přesností 1 kg/m^3
- m_1 - hmotnost pyknometru a nástavce v g
- m_2 - hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku v g
- m_3 - hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a vody nebo rozpouštědla v g
- V_p - objem pyknometru ke značce nástavce v m^3
- Q_W - hustota vody nebo rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností 0,1 kg/m^3

▪ **stanovení mezerovitosti asfaltové směsi**

Mezerovitostí asfaltové směsi se rozumí objem mezer ve zkušebním tělese asfaltové směsi vyjádřený v % celkového objemu zkušebního tělesa.

Vzorec pro výpočet mezerovitosti asfaltové směsi:

$$V_m = Q_{mV} - Q_{bssd} / Q_{mV} \times 100\% \text{ (v/v)}$$

- V_m - mezerovitost směsi s přesností 0,1 % (v/v)
- Q_{mV} - maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3
- Q_{bssd} - objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m^3

▪ **stanovení mezerovitosti směsi kameniva**

Mezerovitost směsi kameniva je objem mezer mezi zrny kameniva zhutněné směsi. Tento objem je vyplněn vzduchem a zahrnuje také objem asfaltového pojiva v tělese, který je vyjádřen procentuálním poměrem objemu tělesa.

Mezerovitost se vypočte dle vzorce $VMA = V_m + B \times Q_{bssd} / Q_B$ % (v/v)

- VMA - mezerovitost směsi kameniva v % s přesností 0,1 % (v/v)
- V_m - mezerovitost zkušebního tělesa s přesností 0,1 % (v/v)
- B - obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi) v % s přesností (m/m)
- Q_{bssd} - objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m^3
- Q_B - objemová hmotnost pojiva v kg/m^3

▪ **stupeň vyplnění mezer**

V kamenné kostře se stupeň vyplnění mezer stanovuje výpočtem dle vzorce:

$$S_v = a / VMA \times 100$$

- a - obsah asfaltu v % objemu
- VMA - mezerovitost směsi kameniva

[12]

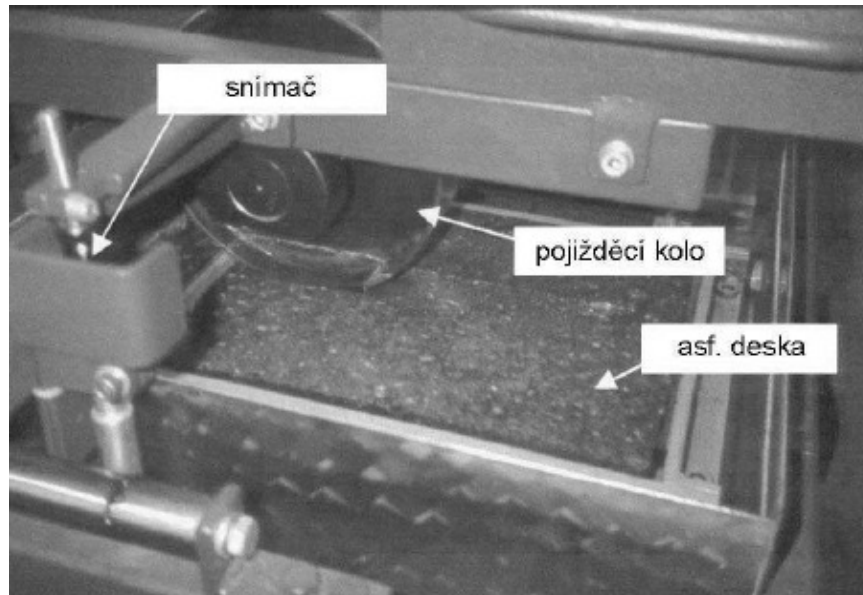
4.2 Funkční zkoušky asfaltových směsí

▪ **zkouška vyjetí kolem**

Tato zkouška stanovuje náchylnost asfaltových směsí k deformaci pod účinkem zatížení. Zkoušet je možné pouze směs s maximální velikostí zrn kameniva 32 mm. Zkušební tělesa lze odebrat přímo z vozovky nebo vyrobit v laboratoři.

Tělesa se upevňují ve formě zkušebního zařízení, aby bylo těleso v rovině s horním okrajem formy.

Náchylnost k deformacím asfaltových směsí závisí na hloubce vyjeté koleje vytvořené opakovaným pojížděním zatěžovacího kola při dané teplotě. Pro zkoušení je možné použít tři typy zařízení a to velká zkušební zařízení, extra velká zkušební zařízení a malá zkušební zařízení. Temperování zkušebních těles probíhá u velkých a extra velkých zkušebních zařízení na vzduchu. U malých zkušebních těles je možné temperování na vzduchu nebo ve vodní lázni. [4]

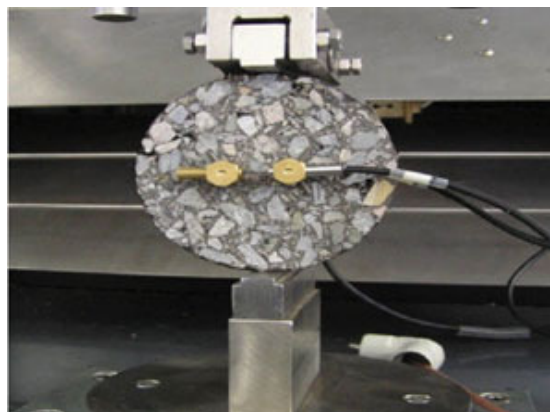
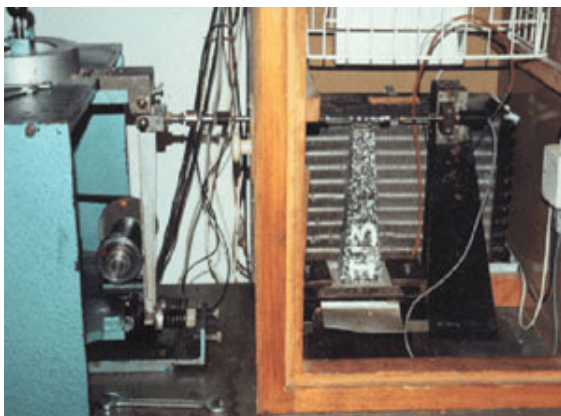


Obrázek 10 – Zkušební zařízení vyjíždění kolem [4]

▪ stanovení modulu tuhosti

Podstata zkoušky stanovení modulu tuhosti je deformace vzorku vybraného tvaru v lineárním rozsahu při stálém opakování zatěžování nebo řízené rychlosti zatěžování způsobující poměrné přetvoření. Při zkoušce se měří a zaznamenává amplituda napětí a poměrného přetvoření s fázovým rozdílem mezi napětím a poměrným přetvořením. Zkoušku provádíme několika různými způsoby:

- 2 bodové zkoušky na trámečcích a komolých klínech
- 3 bodové zkoušky na trámečcích
- 4 bodové zkoušky na trámečcích
- zkoušky v příčném tahu na válečcích



Obrázky 11, 12 – 2 bodová zkouška a zkouška v příčném tahu



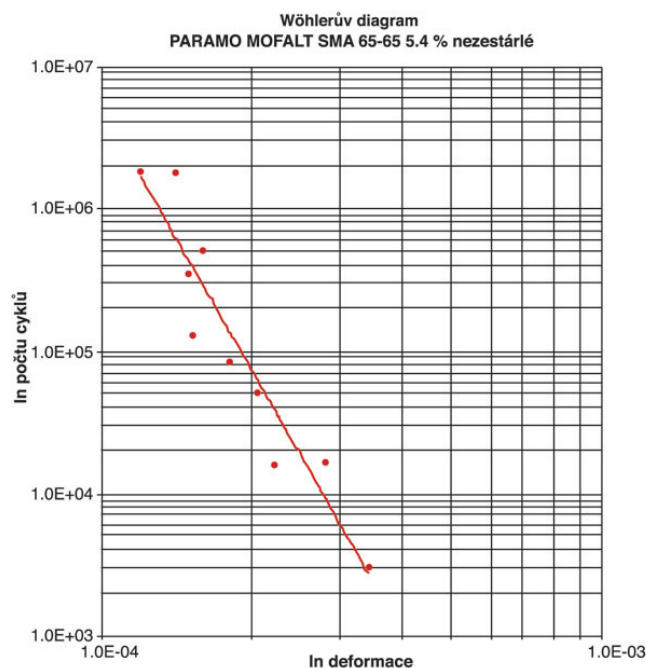
Obrázek 13 – 4 bodová zkouška

[18]

▪ odolnost proti únavě

V normě ČSN EN 12 697 – 24 je popsáno měření únavových charakteristik, které se používají při posouzení odolnosti vozovky proti opakujícímu se zatěžování. Asfaltové směsi se jako i ostatní materiály unavují opakovaným zatížením. Únava asfaltových směsí se zkouší na trapezoidech, které se zatěžují harmonickým zatížením při konstantní výchylce a zaznamenává se síla odporu zkušebního tělesa. Zkouška se ukončí při poklesu síly odporu na polovinu a stanoví se počet cyklů. Výsledky zkoušky se vynesou pomocí Wöhlerova digramu. Tato zkouška se používá pro dimenzování vozovek na počet přejezdů návrhové nápravy dle zatěžovacích cyklů. Únavovou zkoušku je možné stanovit dvěma způsoby:

- 2 bodové zkoušky na komolém klínu
- 4 bodové zkoušky na trámečcích [18]



Obrázek 14 – Příklad Wöhlerova digramu [18]

▪ odolnost proti mrazovým trhlinám

Mrazové trhliny vznikají při dlouhotrvajících extrémních mrazech, při nichž tuhne asfaltové pojivo a směs ztrácí viskoelastické vlastnosti a dochází k porušení. Jako příčiny tvorby nízkoteplotních trhlin můžeme označit index mrazu, tloušťku asfaltových vrstev a gradaci asfaltového pojiva, kterou je možné ovlivnit.

Odolnost proti mrazovým trhlinám se zkouší při ochlazování zkušební tělesa z výchozí teploty konstantní rychlostí za podmínky nulové podélné deformace tělesa a vzniká porušení. Výsledkem zkoušky je zjištěná teplota a velikost tahového napětí při tomto porušení zkušební tělesa. Rozměry zkušební tělesa tvaru hranolu jsou 50x50x250 mm. Ohřevem prvků upínacího zařízení, které řídí počítač, je dosaženo nulové podélné deformace zkušební tělesa. Důležité je dodržení zpětné vazby ze snímačů deformace upevněných na podstavách, ke kterému je přilepeno zkušební těleso. Mezi částmi upínacího zařízení patří sloupy zkušebního rámu a spojovací tyče, kterými je zkušební těleso upnuto do rámu. [3, 12]

▪ odolnost vůči účinkům vody

Odolností vůči účinkům vody se zabývá norma ČSN EN 12 697 – 12, která popisuje porovnávání pevností v příčném tahu skupiny těles nevystavených účinkům vody (suchých) a skupiny těles vystavených účinkům vody (mokrých) a zvýšené teploty 40 °C. Skupiny těles se hutní rázovým zhutňovačem a dochází ke snížení počtu úderů na 2 x 25. Odolnost vůči účinku vody je pak poměr pevnosti skupiny (mokrých) a (suchých) těles v příčném tahu. [18]

5 Zkouška stanovení modulu tuhosti

Podstatou zkoušky stanovení modulu tuhosti je deformace vzorku vhodného tvaru v lineárním rozsahu při opakovaném zatěžování nebo řízené rychlosti zatěžování, které působí poměrné přetvoření. Při zkoušce se měří a zaznamenává amplituda napětí a poměrného přetvoření s fázovým rozdílem mezi napětím a poměrným přetvořením.

5.1 Způsoby zkoušení

Zkoušky ohybem

- 2PB-TR – dvoubodový ohyb na tělesech tvaru komolého vetknutého klínu
- 2PB-PR – dvoubodový ohyb na tělesech tvaru trámečku
- 3PB-PR – tříbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku
- 4PB-PR – čtyřbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku

Zkouška v příčném tahu

- IT-CY – zkouška modulu pružnosti na válcových zkušebních tělesech

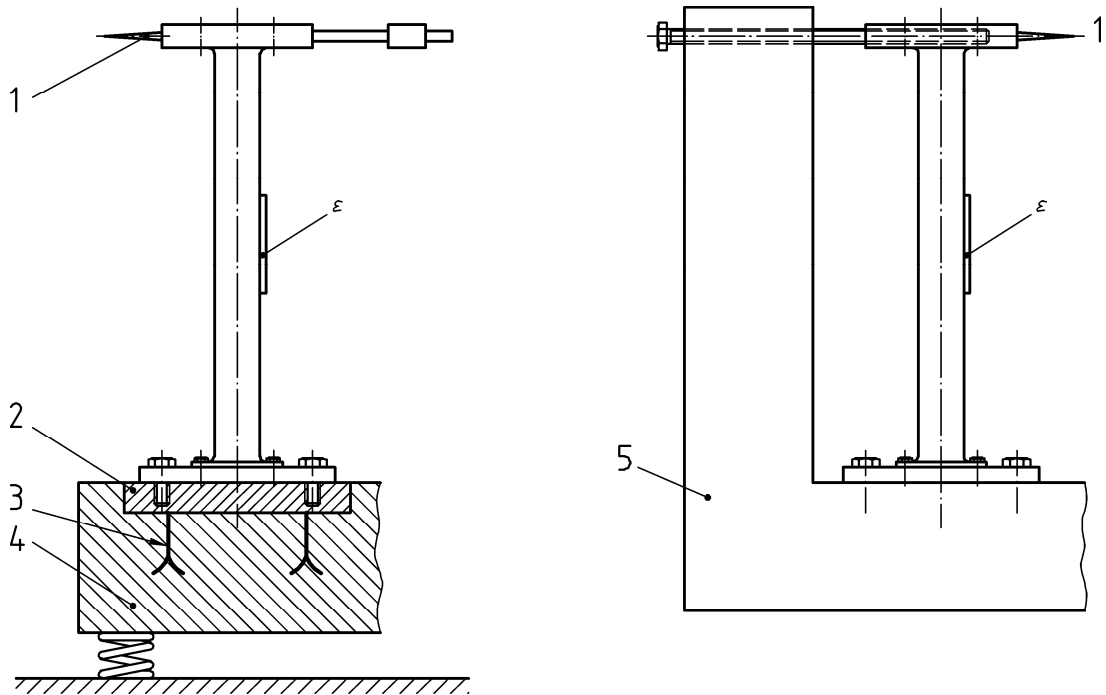
Zkoušky jednoosým tahem a tlakem

- DTC-CY – zkouška jednoosým tahem a tlakem na válcových zkušebních tělesech
- DT-CY – zkouška v přímém tahu na válcových zkušebních tělesech
- DT-PR – zkouška v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku

5.2 Zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu 2PB-TR

Zkouška na jednostranně vetknutém komolém klínu je jednou z několika možných zkoušek pro měření modulu tuhosti asfaltových směsí. Zkušební těleso je přilepeno svou spodní základnou k podkladní desce a upevněné k pevnému rámu. Na volný konec zkušební tělesa působí sinusová síla $F = F_0 \times \sin(\omega \times t)$ nebo sinusový průhyb $z = z_0 \times \sin(\omega \times t)$. Síla F_0 nebo průhyb z_0 musí mít takovou velikost, aby přetvoření, které způsobují, mělo v nejméně namáhané části zkušební vzorku hodnotu $\epsilon \leq 50 \times 10^{-6}$. Při známé síle F_0 , průhybu z_0 a fázového úhlu Φ můžeme spočítat komplexní modul při různých frekvencích a teplotách.

Pro zkoušku modulu tuhosti na komolém klínu používáme zkušební zařízení, které při minimálním rozsahu frekvencí (3 – 30 Hz), dokáže vyvodit sinusový dynamický průhyb na vrcholu zkušebního tělesa. Podkladní desky musí být v pevném rámu uloženy tak, aby kovové zkušební těleso pro daný průhyb nemělo o více jak 5% nižší přetvoření ϵ měřené ve zkušebním zařízení, než přetvoření ϵ měřené na ocelovém rámu tvaru L o tloušťce minimálně 80 mm při síle cca 50 N.



Obrázek 15 - Kontrola (ověření) uložení (ukotvení)

Legenda

- | | | | |
|---|---|---|------------------------|
| 1 | průhyb | 4 | zkušební zařízení |
| 2 | podpěrná deska k uložení (ukotvení) zkušebního tělesa | 5 | ocelový rám ve tvaru L |
| 3 | uložení, které má být ověřeno | | |

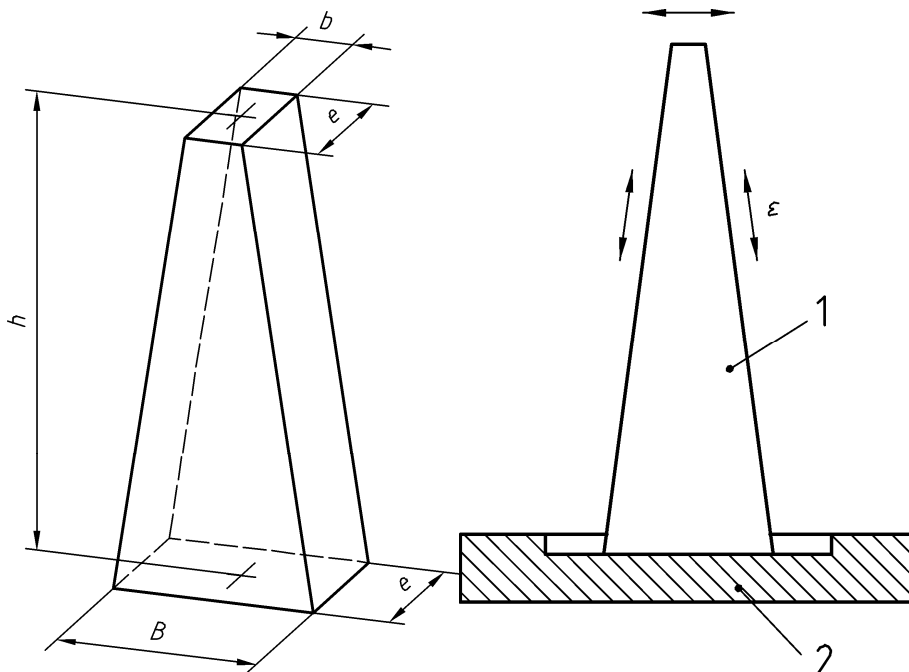
Zkušební zařízení by mělo být uloženo v termostatické odvětrávané komoře, která umožňuje ustálit průměrnou teplotu proudu vzduchu na $\pm 0,3$ °C při dané teplotě po dobu trvání zkoušky. Pokud však zkušební zařízení není uloženo v termostatické komoře, musí se dodržet požadavky na teplotu podkladní desky.

Zkušební tělesa mají tvar komolého klínu o rozměrech uvedených v tabulce a znázorněné na obrázku.

(D – je maximální velikost kameniva v směsi)

Rozměry zkušebních těles mm	Zkušební tělesa tvaru trámečku	Zkušební tělesa tvaru komolého klínu		
	D ≤ 14 mm	D ≤ 14 mm	D ≤ 22 mm	D > 22 mm
B	40	56	70	75
B	40	25	25	30
E	40	25	25	35
H	120	250	250	250

Tabulka 6 – Minimální rozměry zkušebních těles



Obrázek 16 – Rozměry zkušebních těles

Obrázek 17 – Upevnění zkušebního tělesa

[17]

Legenda

- 1 drážka, 2 mm
- 2 kovová podkladní deska

Příprava zkušebních těles tvaru komolého klínu dle ČSN EN

Zkušební tělesa tvaru komolého klínu (trapezoidy) získáváme vyřezáváním desek vyrobených v lamelovém zhutňovači v laboratoři dle normy ČSN EN 12697 – 33 nebo z desek odebraných z krytu vozovky o tloušťce větší než 60 mm. Podélná osa desky musí být rovnoběžná s horizontální osou zhutnění

směsi. Trapezoidy se uchovávají při teplotě do 30 °C, chráněna před přímým sluncem a postavena na rovném povrchu, aby se zabránilo jejich ohybu. Sada zkušebních těles musí obsahovat alespoň 4 vzorky o rozměrech uvedených výše v tabulce. Rozměry vzorků se měří a zapisují s přesností na 0,1mm a hmotnost na 0,1 g. Podle normy ČSN EN 12697 – 6 se vypočte objemová hmotnost každého vzorku, která se nesmí lišit o více jak 1 % od průměrné hmotnosti sady. Pokud ano, vzorek se vyloučí. Poté se zkušební tělesa nalepí spodní plochou k ocelové podkladní desce o minimální tloušťce 10 mm. Tím musí být zajištěno správné geometrické ukotvení zkoušeného vzorku a podkladní desky k podstavci. Na horní povrch tělesa se přilepí příchytka, jejíž pomocí se připevňuje zkušební těleso k zatěžovacímu zařízení pro změnu výchylky.

[17]

Postup zkoušky

Pro stanovení modulů tuhosti asfaltových směsí byly na stavbě odebrány vzorky směsí ACO 11+ a ACP 22S.

Pro zjištění objemových hmotností těchto směsí byla nahutněna 4 Marshallova tělesa pro každou směs. Obě směsi byly hutněny 2x50 údery Marshallova pěchu.



Obrázek 18 – Marshallův pěch v silniční laboratoři

Objemová hmotnost vzorků byla zjištěna podle normy ČSN EN 12 697-6 nasycený suchý povrch (SSD) a také dle rozměrů vzorků.

	Obj. hm. Marsh. těles		Obj. hm. Desek		Míra zhutnění	
	z objemu [Kg/m3]	nasycený suchý povrch [Kg/m3]	deska 5 cm [Kg/m3]	deska 6 cm [Kg/m3]	deska 5 cm [%]	deska 6 cm [%]
Směs ACP 22S	2253,5	2358,9	2324,6	2342,5	98,55	99,30
Směs ACO 11+	2191,9	2280,2	2263,4	2263,8	99,26	99,28

Tabulka 7 – Zjištěné objemové hmotnosti těles

Z objemových hmotností zjištěných z rozměrů byly spočítány navážky asfaltových směsí pro výrobu dvou 5 – ti centimetrových (ACO 11+, ACP 22S) a dvou 6 – ti centimetrových (ACO 11+, ACP 22S) desek o rozměrech 26x32 centimetrů. Desky byly vyrobeny v lamelovém zhutňovači dle normy ČSN EN 12 697-33.



Obrázek 19 – Lamelový zhutňovač pro hutnění desek

Po zjištění objemových hmotností všech čtyř desek bylo z každé desky na kotoučové pile vyřezáno 5 zkušebních těles (trapezoidů) o přibližných rozměrech 70 x 25 x 50 x 250 mm. To znamená, že 6 - ti centimetrové desky byly rozřezány na trapezoidy o šířce 6 cm (rozměr e dle obrázku 2) a poté ještě oříznuty z obou stran o 0,5 cm na e = 5 cm, aby měly všechny zkušební tělesa totožný rozměr.

▪ **Skutečné rozměry zkušebních těles**

ACO 11+ neořezané	h1 [mm]	h2 [mm]	b [mm]	v [mm]	m [g]
O1	70,9	25,1	49,5	249,0	1315
O2	69,0	25,1	49,4	249,4	1275
O3	70,5	24,6	49,3	249,5	1282
O4	69,2	25,8	49,4	249,2	1275
O5	70,3	24,4	49,5	249,3	1291

Tabulka 8 – Naměřené rozměry a hmotnosti neořezaných těles směsi ACO 11+

ACO 11+ ořezané	h1 [mm]	h2 [mm]	b [mm]	v [mm]	m [g]
OO1	70,9	24,8	50,8	250,5	1353
OO2	69,7	25,4	50,5	251,0	1341
OO3	70,0	25,3	50,8	251,0	1358
OO4	70,2	25,8	50,8	250,9	1388
OO5	70,1	24,8	50,9	251,2	1390

Tabulka 9 – Naměřené rozměry a hmotnosti ořezaných těles směsi ACO 11+

ACP 22S neořezané	h1 [mm]	h2 [mm]	b [mm]	v [mm]	m [g]
P1	70,4	24,7	49,8	249,2	1351
P2	70,3	24,6	49,7	249,2	1326
P3	69,5	26,8	49,7	249,2	1368
P3	69,2	25,9	49,5	249,2	1306
P5	70,2	24,5	49,7	248,9	1308

Tabulka 10 – Naměřené rozměry a hmotnosti neořezaných těles směsi ACP 22S

ACP 22S ořezané	h1 [mm]	h2 [mm]	b [mm]	v [mm]	m [g]
PO1	70,4	24,3	50,5	249,7	1419
PO2	69,4	25,5	50,4	250,1	1418
PO3	70,3	25,5	50,4	250,0	1410
PO4	69,7	25,8	50,8	249,9	1395
PO5	70,3	24,8	50,8	250,0	1422

Tabulka 11 – Naměřené rozměry a hmotnosti ořezaných těles směsi ACP 22S

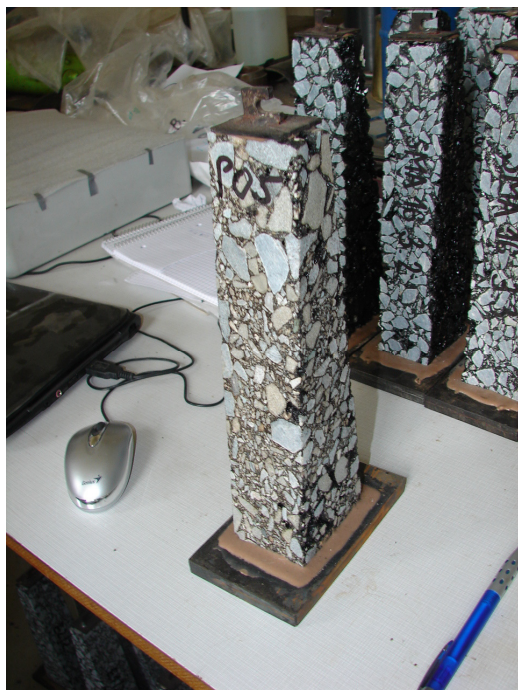


Obrázek 20 – Kotoučová pila k rozřezání desek na trapezoidy

Poté se tělesa nalepila pomocí směsi pryskyřice, tvrdidla a fileru na podkladní desky a na horní povrch byly přilepeny příchytky. Takto připravená zkušební tělesa byla uskladněna v silniční laboratoři pro stabilizaci dva týdny před zkouškou pro splnění normy ČSN EN 12 697–26.



Obrázek 21 – 4 sady po 5-ti tělesech od každé směsi, ořezané a neořezané



Obrázek 22, 23 – Ořezaný a neořezaný zkušební vzorek

Zkouška byla provedena při teplotách 0, 15 a 30 °C. K dodržení správné teploty zkušebních vzorků byla použita zkušební komora, ve které byly vzorky temperovány po dobu minimálně čtyř hodin před vlastním zkoušením.



Obrázek 24 – Zkušební zařízení a temperovací komora

Zkouška stanovení modulu tuhosti spočívá v dokonalém připevnění vzorku pomocí podkladní desky k základně ve zkušební komoře a pomocí příchytky na horní ploše vzorku ke zkušebnímu zařízení.



Obrázek 25 – Vzorek připevněný ke zkušebnímu zařízení v temperovací komoře

Zkušební těleso se vystavuje sinusové síle, působící na jejich volný konec po dobu minimálně 30 sekund a maximálně 2 minut, při průhybu odpovídajícímu

přetvoření ε menšímu než 50 mikropřetvoření. [citace z normy ČSN EN 12 697-26]

Každé zkušební těleso bylo vystaveno zatížení o frekvencích 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. Při každé frekvenci se pomocí počítačového programu zjistí a zaznamenají charakteristiky vzorku a je vypočten modul tuhosti každého zkušební tělesa a ze sad spočítán průměrný modul tuhosti. Do programu je třeba zadat vstupní údaje každého vzorku, což jsou jeho rozměry a hmotnost vzorku. Takto se postupuje u všech vzorků při daných teplotách a frekvencích.



Obrázek 26, 27 – Zařízení pro změnu frekvence a program na zjištění modulu tuhosti

5.3 Výběr směsí pro stanovení modulů tuhosti

Pro provedení zkoušky modulu tuhosti byly vybrány dva vzorky asfaltového betonu a to směs pro obrusné vrstvy ACO 11+ a směs pro podkladní vrstvy ACP 22S. Směsi byly vybrány dle doporučení vedoucího bakalářské práce tak, aby rozdíl mezi maximální velikostí frakce kameniva obou směsí byl co největší, z důvodu prokázání předpokládaných rozdílů výsledků zkoušky modulů tuhosti jemnozrnných a hrubozrnných směsí a ořezaných a neořezaných trapezoidů.

Vzorky směsí byly odebrány přímo na stavbě při pokládce vrstev. Vzorek směsí ACO 11+ byl odebrán v obci Sloup na Blanensku při stavbě dvora místní vodárny. Vzorek směsí ACP 22S pochází ze stavby přípojovacího pruhu dálnice D1 kilometr 206 směr na Prahu u čerpací stanice OMV.

5.4 Vlastnosti směsí

Vlastnosti asfaltových směsí byly zjištěny ze zkoušek typu směsí získaných z obalovny v Boskovicích.

▪ ACO 11+ (50/70)

Přesné označení směsi:

Asfaltový beton pro obrusné vrstvy ACO 11+ 50/70; ČSN EN 13 108 – 1
Asfaltová směs pro obrusné vrstvy se středním až velkým dopravním zatížením.

2. Složení a složky směsi

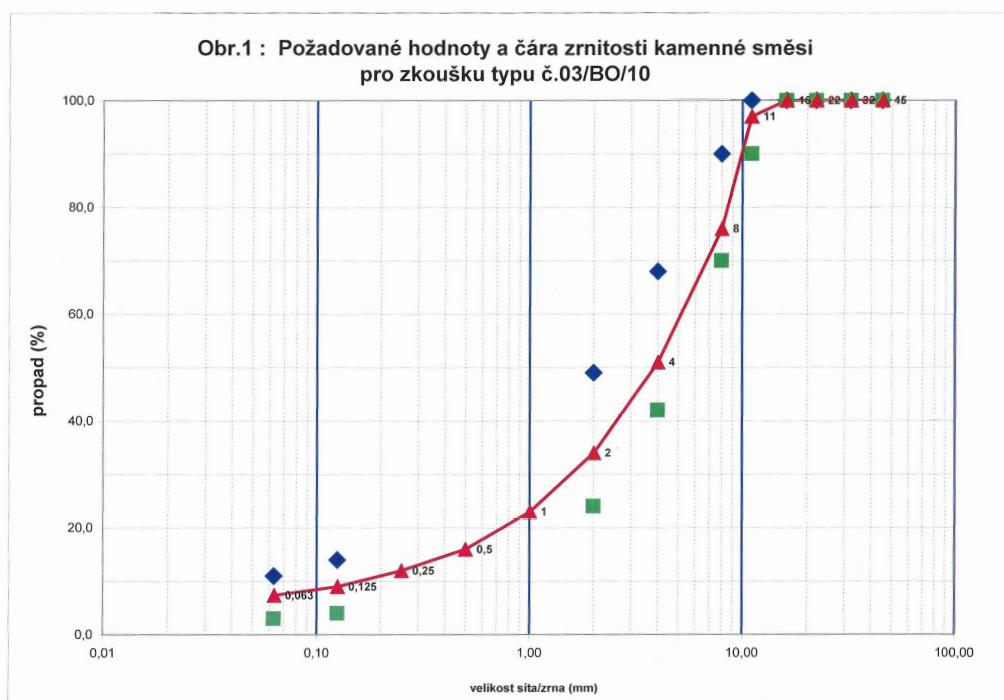
–	HDK Lhota Rapotina 8/11	26,4	%
–	HDK Lhota Rapotina 4/8	19,3	%
–	SDK Lhota Rapotina 0/4	35,3	%
–	STK Žabčice 0/4	6,6	%
–	Vápenec Měrotín	6,6	%
–	Asfalt 50/70 Paramo ¹⁾	5,8	%
–	celkem	100,0	%

1) Dávkované množství s přísadou Addibitu L300

Obrázek 28 – Složení asfaltové směsi ACO 11+

síto	Síta pro FPC	Zrnitost (propad sítem)	Požadavek ČSN EN pro zkoušku typu
32			
22			
16	16	100	100
11	11	97	90-100
8		76	70-90
4	4	51	42-68
2	2	34	24-49
1		23	
0,5		16	
0,250		12	
0,125	0,125	9	4-14
0,063	0,063	7,4	3-11
Obsah rozp. asfaltu	B (% hm.)	5,6	min. 5,5
	B _{vol} (% obj.)	13,1	min. 13,0

Obrázek 29 – Sítový rozbor kameniva



Obrázek 30 – Graf čáry zrnitosti kameniva

▪ **ACP 22S (50/70)**

Přesné označení směsi:

Asfaltový beton pro podkladní vrstvy ACP 22S 50/70; ČSN EN 13 108 – 1
Asfaltový beton pro podkladní vrstvy vozovek ve středním až velkém dopravním zatížením.

2. Složení a složky směsi

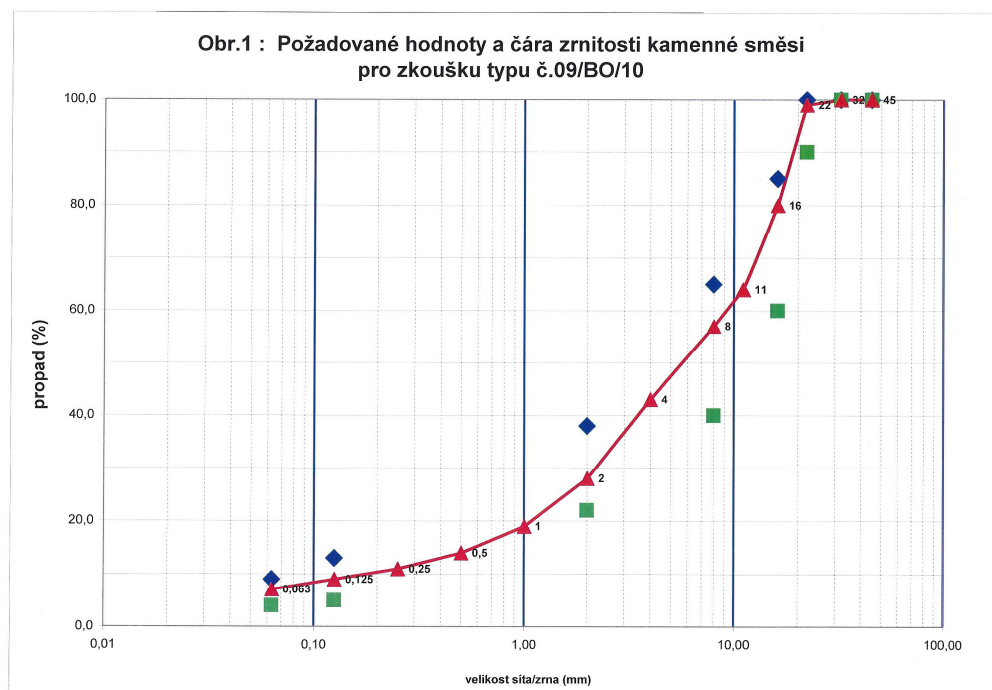
–	HDK Lhota Rapotina 11/22	25,9	%
–	HDK Lhota Rapotina 8/16	17,3	%
–	HDK Lhota Rapotina 4/8	10,6	%
–	SDK Lhota Rapotina 0/4	36,0	%
–	Vápenec Měrotín	6,2	%
–	Asfalt 50/70 Paramo ¹⁾	4,0	%
–	celkem	100	%

1) Dávkované množství s přísadou Addibitu L300

Obrázek 31 – Složení asfaltové směsi ACP 22S

síto	Síta pro FPC	Zrnitost (propad sítem)	Požadavek ČSN EN pro zkoušku typu
32	32	100	100
22	22	99	90-100
16		80	60-85
11		64	
8	8	57	40-65
4		43	
2	2	28	22-38
1		19	
0,5		14	
0,250		11	
0,125	0,125	9	5-13
0,063	0,063	7,1	4-9
Obsah rozp. asfaltu	B (% hm.)	3,9	min. 3,6
	B _{vol} (% obj.)	9,1	min. 8,4

Obrázek 32 – Síťový rozbor kameniva



Obrázek 33 – Graf čáry zrnitosti kameniva

[23]

5.5 Výsledky zkoušek

- Výsledné moduly tuhosti neořezaných a ořezaných vzorků směsi ACO 11+

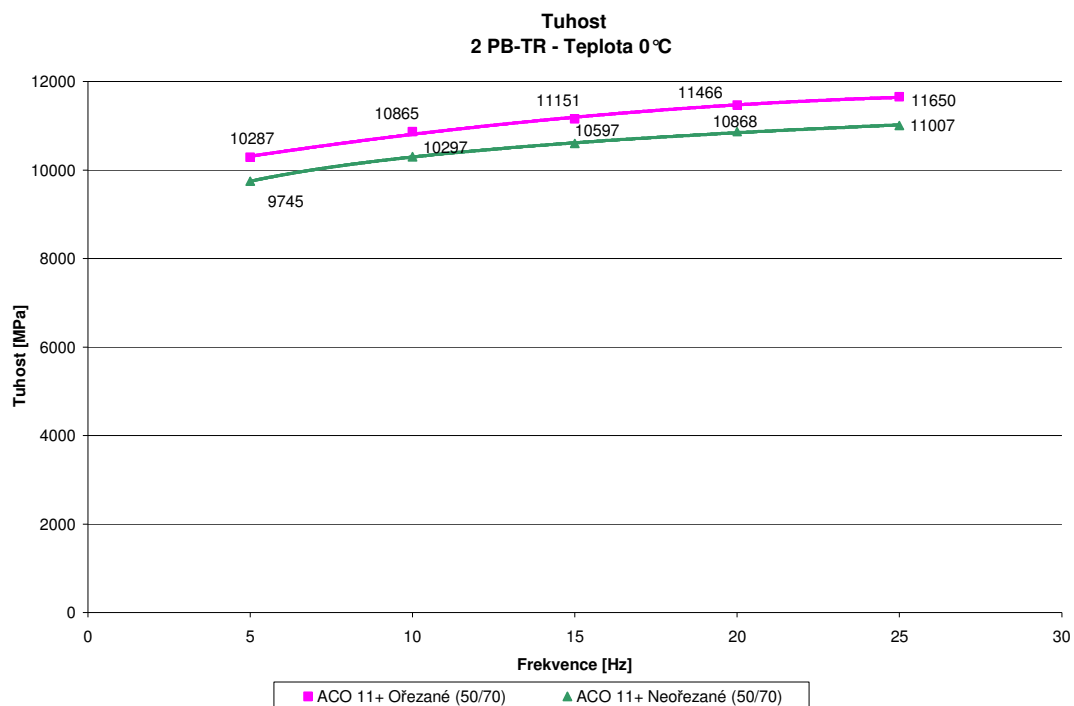
ACO 11+ Neořezané		5 Hz	10Hz	15Hz	20Hz	25Hz
0 °C	Vzorek č.1	9 497	10 079	10 313	10 581	10 699
	Vzorek č.2	10 399	10 928	11 275	11 627	11 767
	Vzorek č.3	9 757	10 338	10 627	10 861	11 095
	Vzorek č.4	9 418	10 036	10 357	10 609	10 763
	Vzorek č.5	9 654	10 104	10 412	10 661	10 712
	Průměr	9 745	10 297	10 597	10 868	11 007
15 °C	Vzorek č.1	5 865	6 451	6 801	7 102	7 239
	Vzorek č.2	6 079	6 664	7 036	7 402	7 659
	Vzorek č.3	6 397	7 287	7 670	7 772	8 319
	Vzorek č.4	5 457	6 062	6 452	6 809	6 906
	Vzorek č.5	5 907	6 529	6 918	7 213	7 396
	Průměr	5 941	6 599	6 975	7 260	7 504
30 °C	Vzorek č.1	2 284	2 701	3 108	3 315	3 496
	Vzorek č.2	2 408	2 910	3 293	3 508	3 795
	Vzorek č.3	2 352	2 866	3 197	3 458	3 769
	Vzorek č.4	2 027	2 491	2 818	3 129	3 421
	Vzorek č.5	2 370	2 832	3 258	3 497	3 761
	Průměr	2 288	2 760	3 135	3 381	3 648

Tabulka 12 – Výsledné moduly tuhosti neořezaných vzorků směsi ACO 11+

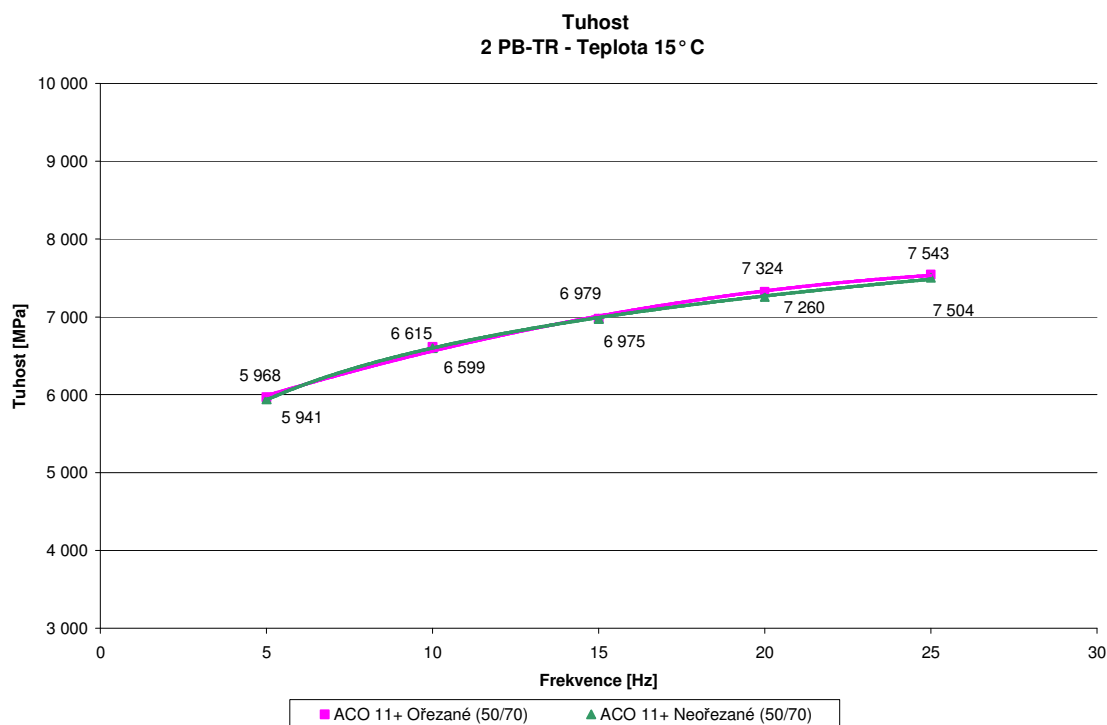
ACO 11+ Ořezané		5 Hz	10Hz	15Hz	20Hz	25Hz
0 °C	Vzorek č.1	9 681	10 286	10 644	10 854	11 126
	Vzorek č.2	10 749	11 331	11 753	12 039	12 323
	Vzorek č.3	9 273	9 860	10 052	10 315	10 406
	Vzorek č.4	10 396	10 973	11 242	11 691	11 798
	Vzorek č.5	11 336	11 875	12 063	12 433	12 598
	Průměr	10 287	10 865	11 151	11 466	11 650
15 °C	Vzorek č.1	5 453	6 107	6 499	6 821	6 971
	Vzorek č.2	6 116	6 736	7 243	7 565	7 819
	Vzorek č.3	5 069	5 527	5 805	6 040	6 200
	Vzorek č.4	6 321	7 104	7 368	7 799	8 114
	Vzorek č.5	6 881	7 600	7 978	8 397	8 613
	Průměr	5 968	6 615	6 979	7 324	7 543
30 °C	Vzorek č.1	1 976	2 464	2 789	3 150	3 333
	Vzorek č.2	1 974	2 499	2 850	3 235	3 571
	Vzorek č.3	1 922	2 323	2 619	2 854	3 025
	Vzorek č.4	2 340	2 842	3 302	3 527	3 961
	Vzorek č.5	2 548	3 120	3 453	3 796	4 081
	Průměr	2 152	2 650	3 003	3 312	3 594

Tabulka 13 – Výsledné moduly tuhosti ořezaných vzorků směsi ACO 11+

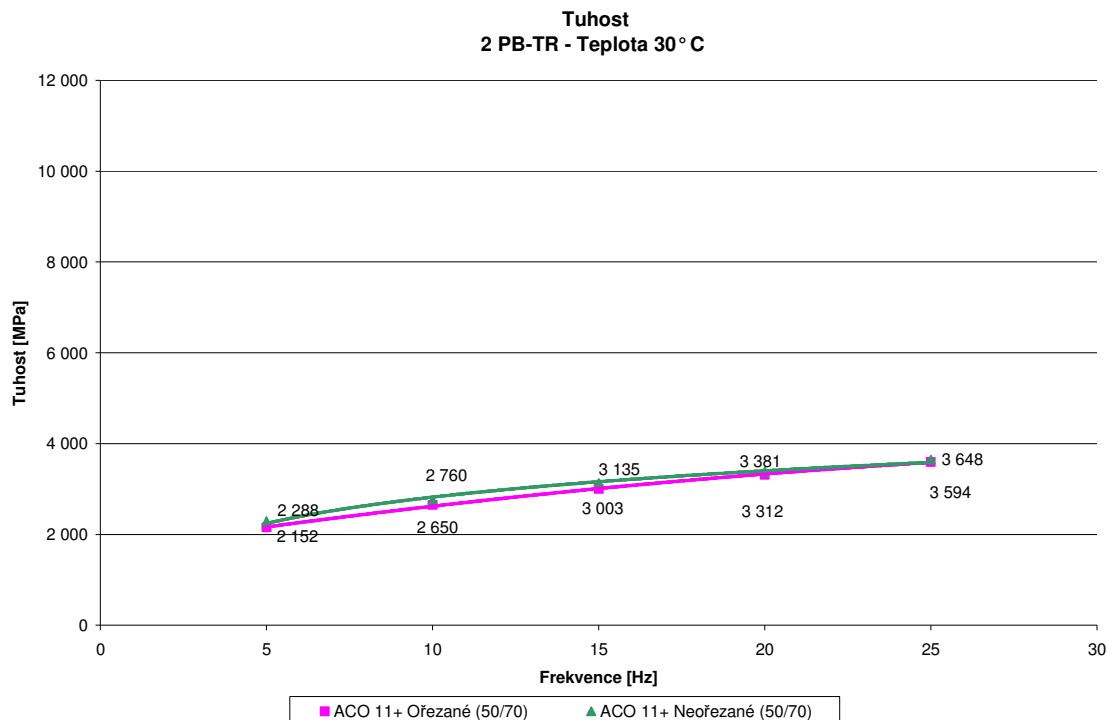
- Grafické znázornění modulů tuhosti při teplotách 0, 15, 30 °C a frekvencích 5, 10, 15, 20, 25 Hz



Graf 1 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACO 11+ při teplotě 0 °C



Graf 2 - Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACO 11+ při teplotě 15 °C



Graf 3 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACO 11+ při teplotě 30 °C

▪ **Výsledné moduly tuhosti neořezaných a ořezaných vzorků směsi ACP 22S**

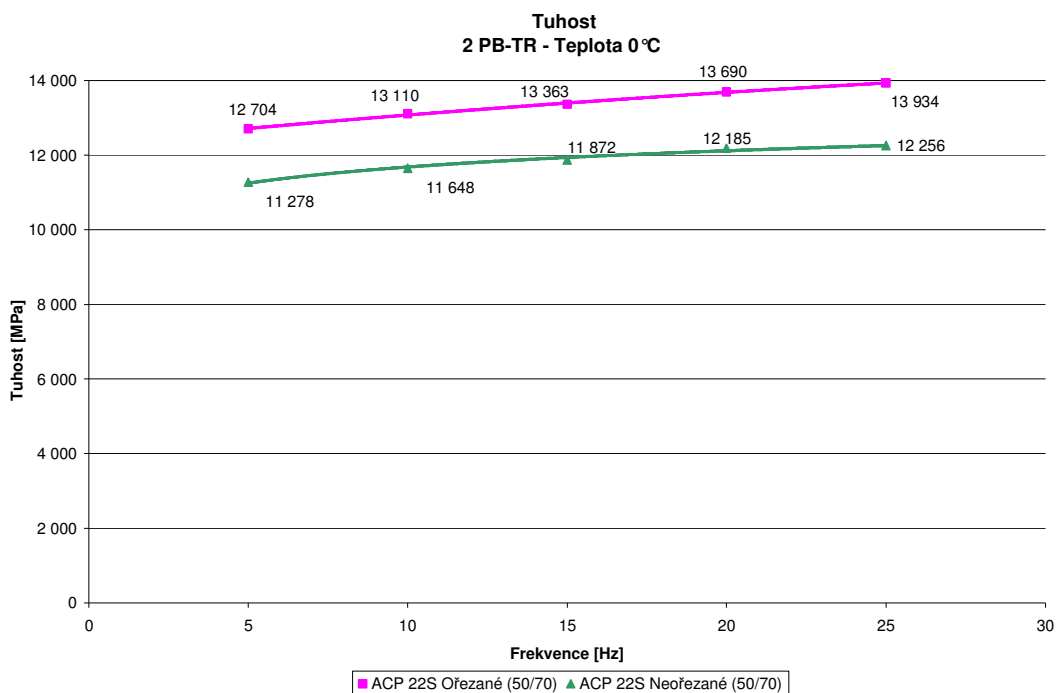
ACP 22S Neořezané		5 Hz	10Hz	15Hz	20Hz	25Hz
0 °C	Vzorek č.1	11 863	12 217	12 396	12 716	12 874
	Vzorek č.2	9 946	10 335	10 483	10 785	10 837
	Vzorek č.3	12 281	12 679	12 972	13 140	13 299
	Vzorek č.4	12 228	12 600	12 884	13 457	13 356
	Vzorek č.5	10 071	10 409	10 625	10 827	10 914
	Průměr	11 278	11 648	11 872	12 185	12 256
15 °C	Vzorek č.1	8 336	9 083	9 351	9 654	9 815
	Vzorek č.2	7 984	8 515	8 855	9 209	9 199
	Vzorek č.3	8 763	9 324	9 729	10 071	10 227
	Vzorek č.4	8 445	9 034	9 370	9 765	9 926
	Vzorek č.5	7 393	7 928	8 250	8 522	8 624
	Průměr	8 184	8 777	9 111	9 444	9 558
30 °C	Vzorek č.1	4 129	4 705	5 027	5 400	5 675
	Vzorek č.2	3 674	4 240	4 606	4 998	5 191
	Vzorek č.3	4 003	4 809	5 230	5 628	5 882
	Vzorek č.4	3 803	4 189	4 710	5 108	5 383
	Vzorek č.5	3 309	3 882	4 243	4 524	4 765
	Průměr	3 784	4 365	4 763	5 132	5 379

Tabulka 14 – Výsledné moduly tuhosti neořezaných vzorků směsi ACP 22S

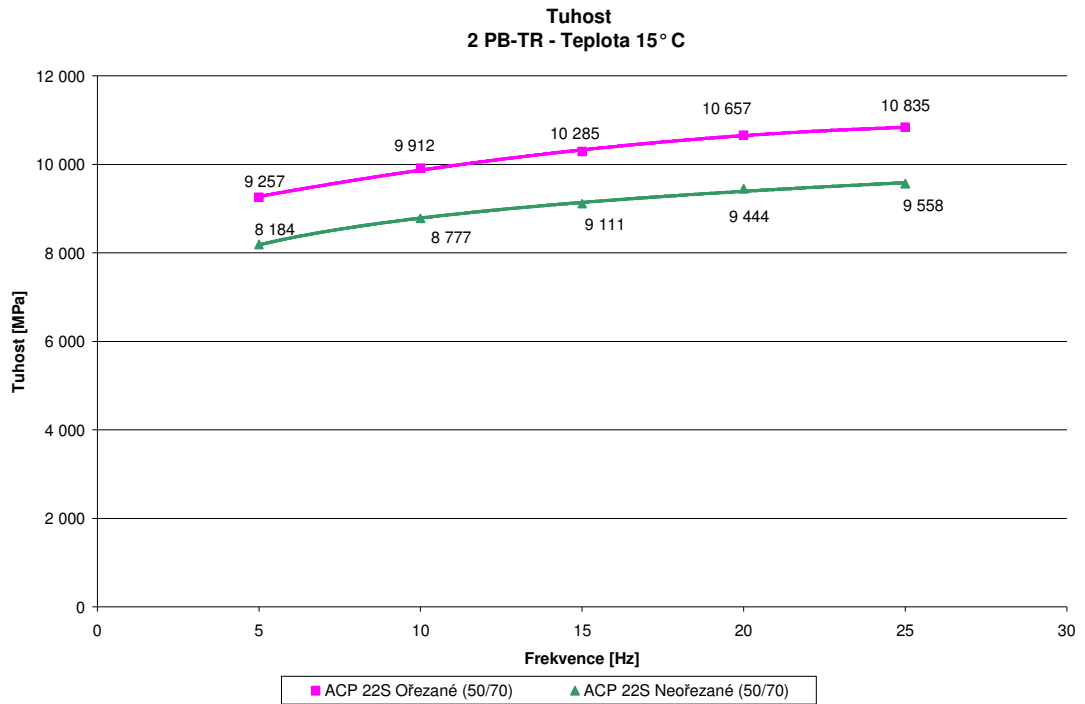
ACP 22S Ořezané		5 Hz	10Hz	15Hz	20Hz	25Hz
0 °C	Vzorek č.1	13 487	13 863	14 129	14 482	14 514
	Vzorek č.2	12 209	12 527	12 801	13 132	13 176
	Vzorek č.3	12 541	13 064	13 447	13 767	13 893
	Vzorek č.4	11 875	12 167	12 392	12 573	12 583
	Vzorek č.5	13 407	13 931	14 045	14 496	15 502
	Průměr	12 704	13 110	13 363	13 690	13 934
15 °C	Vzorek č.1	9 834	10 593	10 937	11 390	11 589
	Vzorek č.2	9 735	10 314	10 653	11 038	11 150
	Vzorek č.3	9 257	9 962	10 381	10 667	10 939
	Vzorek č.4	8 235	8 816	9 205	9 530	9 675
	Vzorek č.5	9 222	9 875	10 251	10 662	10 824
	Průměr	9 257	9 912	10 285	10 657	10 835
30 °C	Vzorek č.1	4 581	5 447	5 961	6 443	6 830
	Vzorek č.2	4 760	5 637	5 815	6 171	6 496
	Vzorek č.3	4 180	4 998	5 502	5 967	6 302
	Vzorek č.4	3 897	4 617	5 087	5 469	5 810
	Vzorek č.5	3 997	4 778	5 251	5 604	5 985
	Průměr	4 283	5 095	5 523	5 931	6 285

Tabulka 15 – Výsledné moduly tuhosti ořezaných vzorků směsi ACP 22S

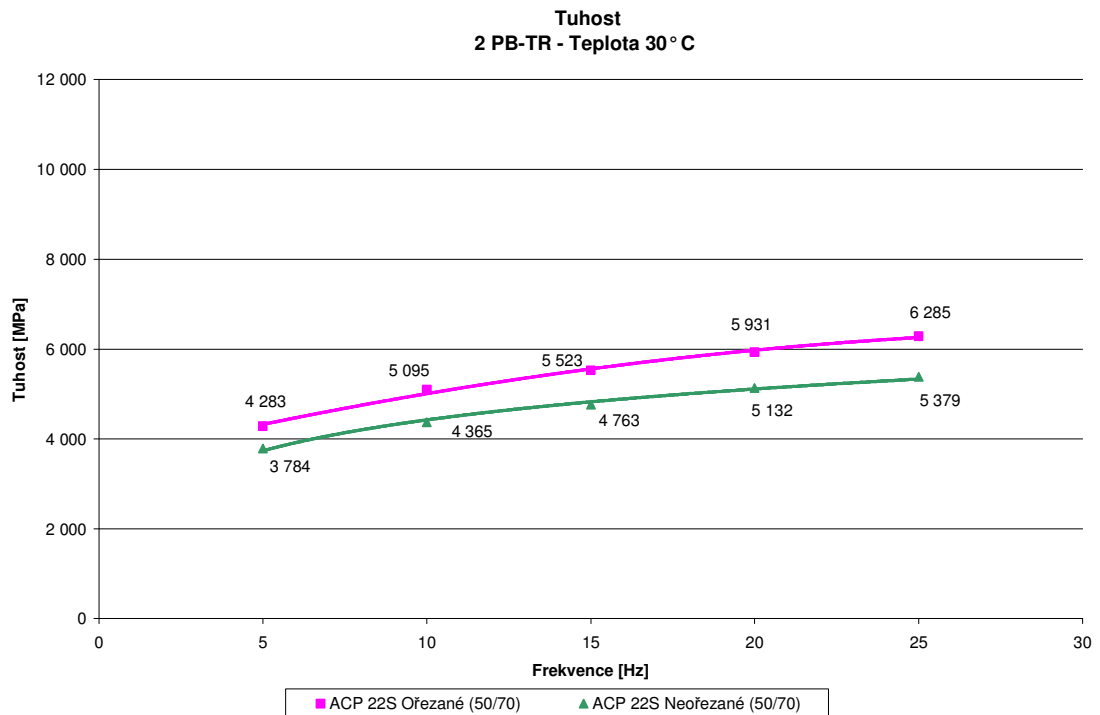
- **Grafické znázornění modulů tuhosti při teplotách 0, 15, 30 °C a frekvencích 5, 10, 15, 20, 25 Hz**



Graf 4 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACP 22S při teplotě 0 °C



Graf 5 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACP 22S při teplotě 15 °C



Graf 6 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACP 22S při teplotě 30 °C

6 Závěr

Z výsledných tabulek je patrné, že zjištěné hodnoty modulů tuhosti jsou u jemnozrnné směsi ACO 11+ menší, než u hrubozrnné směsi ACP 22S, čímž se potvrdil původní předpoklad.

Z grafického znázornění, které vždy obsahuje porovnání zkušební vzorku neořezaného a ořezaného ze všech stran, vyplývá, že ořezané zkušební vzorky hrubozrnné směsi ACP 22S mají znatelně větší modul tuhosti oproti neořezaným zkušebním vzorkům při všech zkoušených teplotách. U jemnozrnné směsi ACO 11+ už je tento rozdíl mnohem menší a při teplotách 15 a 30 °C je již nepatrný až zcela zanedbatelný.

Z výše uvedeného vyplývá, že u směsí nad velikost maximálního zrna 11 mm je nutno provádět vždy ořezání vzorků pro dosažení objektivních výsledků.

7 Seznam použité literatury

- [1] ČSN 73 6177 Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek
- [2] ČSN 73 6175 Měření a hodnocení nerovností povrchů vozovek
- [3] BM02 Pozemní komunikace II – Přednášky text 11 – Údržba a poruchy netuhých vozovek
- [4] ČSN EN 12 697 – 22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem
- [5] (http://www.mogul.eu/cs/sd/novinky/firemni-novinky-2011/25_11_2011_silnice.html)
- [6] BM02 Pozemní komunikace II – Přednášky text 10 – Cementobetonové kryty
- [7] BM02 Pozemní komunikace II – Přednášky text 3 – Nestmelené podkladní vrstvy
- [8] BM02 Pozemní komunikace II – Přednášky prezentace 3 – Nestmelené podkladní vrstvy
- [9] BM02 Pozemní komunikace II – Přednášky prezentace 4 – Stmelené podkladní vrstvy
- [10] ČSN EN 13 108 – 1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton
- [11] Přednáška 4 asfaltové směsi - <http://files.mondy.webnode.cz/200000384-3e50c3f4a9/p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka%20-%20ASFALTOV%C3%89%20SM%C4%9ASI%20student%20podklady.pdf>
- [12] BM02 Pozemní komunikace II – Přednášky prezentace, text, poznámky 7 – Asfaltové směsi
- [13] ČSN EN 13 108 – 5 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový
- [14] ČSN EN 13 108 – 7 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 7: Asfaltový koberec drenážní
- [15] ČSN EN 13 108 – 6 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 6: Lítý asfalt
- [16] ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí
- [17] ČSN EN 12 697 – 26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost
- [18] (http://www.casopisstavebnictvi.cz/funkcni-zkousky-asfaltovych-smesi_N278, Ing. Petr Hýzl, Ph.D.)

- [19] ČSN EN 12 697 – 6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- [20] ČSN EN 12 697 – 33 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek
- [21] ČSN EN 12 697 – 34 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 34: Marshallova zkouška
- [22] ČSN EN 12 697 – 35 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi
- [23] materiály z Obalovny Boskovice

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Specifikace makrotextury a mikrotextury [1]	9
Obrázek 2 – Názvosloví z hlediska délky vlny [2].....	9
Obrázek 3 – Podélná nerovnost [2].....	10
Obrázek 4 – Postup měření podélné nerovnosti povrchu vozovky latí [2].....	10
Obrázek 5 – Příčný profil vozovky vykazující výšku hřbetu I_R , hrbolu I_B a poklesu I_D [2].....	11
Obrázek 6 – Rozdělení vrstev vozovky [7].....	13
Obrázek 7 – Kritérium filtrace a propustnosti [7].....	14
Obrázek 8 - Různé způsoby konstrukčního odvodnění asfaltového koberce drenážního [12].....	19
Obrázek 9 – Příklad grafu závislosti objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi a maximální objemové hmotnosti na obsahu pojiva v % hmotnosti [16] .	22
Obrázek 10 – Zkušební zařízení vyjždění kolem [4].....	25
Obrázky 11, 12 – 2 bodová zkouška a zkouška v příčném tahu.....	26
Obrázek 13 – 4 bodová zkouška.....	26
Obrázek 14 – Příklad Wöhlerova digramu [18]	27
Obrázek 15 - Kontrola (ověření) uložení (ukotvení).....	29
Obrázek 16 – Rozměry zkušebních těles	30
Obrázek 17 – Upevnění zkušebního tělesa.....	30
Obrázek 18 – Marshallův pěch v silniční laboratoři	31

Obrázek 19 – Lamelový zhutňovač pro hutnění desek	32
Obrázek 20 – Kotoučová pila k rozřezání desek na trapezoidy	34
Obrázek 21 – 4 sady po 5-ti tělesech od každé směsi, ořezané a neořezané.....	35
Obrázek 22, 23 – Ořezaný a neořezaný zkušební vzorek.....	35
Obrázek 24 – Zkušební zařízení a temperovací komora	36
Obrázek 25 – Vzorek připevněný ke zkušebnímu zařízení v temperovací komoře	36
Obrázek 26, 27 – Zařízení pro změnu frekvence a program na zjištění modulu tuhosti	37
Obrázek 28 – Složení asfaltové směsi ACO 11+.....	38
Obrázek 29 – Sítový rozbor kameniva	38
Obrázek 30 – Graf čáry zrnitosti kameniva	39
Obrázek 31 – Složení asfaltové směsi ACP 22S	39
Obrázek 32 – Sítový rozbor kameniva	40
Obrázek 33 – Graf čáry zrnitosti kameniva	40

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Propustnost asfaltových směsí v závislosti na mezerovitosti [11] ..	12
Tabulka 2 – Označení asfaltového betonu dle normy ČSN EN 13 108 – 1	16
Tabulka 3 – Označení asfaltového koberce mastixového (ČSN EN 13 108 – 5) [13]	17
Tabulka 4 – Označení asfaltového koberce drenážního [14]	18
Tabulka 5 – Označení litého asfaltu [15]	20
Tabulka 6 – Minimální rozměry zkušebních těles.....	30
Tabulka 7 – Zjištěné objemové hmotnosti těles	32
Tabulka 8 – Naměřené rozměry a hmotnosti neořezaných těles směsi ACO 11+	33
Tabulka 9 – Naměřené rozměry a hmotnosti ořezaných těles směsi ACO 11+ ..	33
Tabulka 10 – Naměřené rozměry a hmotnosti neořezaných těles směsi ACP 22S	33
Tabulka 11 – Naměřené rozměry a hmotnosti ořezaných těles směsi ACP 22S.	34
Tabulka 12 – Výsledné moduly tuhosti neořezaných vzorků směsi ACO 11+...	41

Tabulka 13 – Výsledné moduly tuhosti ořezaných vzorků směsi ACO 11+	41
Tabulka 14 – Výsledné moduly tuhosti neořezaných vzorků směsi ACP 22S....	43
Tabulka 15 – Výsledné moduly tuhosti ořezaných vzorků směsi ACP 22S.....	44

10 Seznam grafů

Graf 1 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACO 11+ při teplotě 0 °C.....	42
Graf 2 - Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACO 11+ při teplotě 15 °C.....	42
Graf 3 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACO 11+ při teplotě 30 °C.....	43
Graf 4 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACP 22S při teplotě 0 °C	44
Graf 5 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACP 22S při teplotě 15 °C	45
Graf 6 – Porovnání modulů tuhosti ořezaných a neořezaných vzorků směsi ACP 22S při teplotě 30 °C	45