



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Srovnání měření modulů tuhosti na válcových tělesech a trámcích

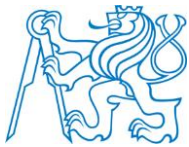
Comparison of measurement stiffness modules on cylindrical test specimens and beams

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: **Ing. Petr Mondschein, Ph.D.**

Tomáš Pekník



Zadání:



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma „Srovnání měření modulů tuhosti na válcových tělesech a na trámcích“ vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího bakalářské práce. A uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských státních závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této bakalářské práce, či její části.

V Praze dne

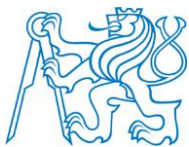
.....

Tomáš Pekník



Poděkování

Děkuji panu Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce za rady, připomínky a pomoc při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům silniční laboratoře Českého vysokého učení technického v Praze, zvláště panu Ing. Janu Valentinovi, Ph.D., Ing. Janu Sudovi, Ing. Ondřejovi Rynešovi, Ing. Pavle Vackové, Bc. Janu Mastnému, Bc. Tomášovi Královi, Jaroslavu Kasalickému za ochotu kdykoliv pomoci, či poradit s jakýmkoliv problémem v silniční laboratoři.



Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou zkoušení modulu tuhosti na zařízeních definovaných v ČSN EN 12697-26, konkrétně praktické srovnání modulu tuhosti na vybraných asfaltových směsích na válcích a trámcích. Zkouška na válcích se provádí v příčném tahu (IT-CY) a Zkouška na trámcích zase na čtyřbodový ohyb (4PB-PR). Úvodní kapitoly jsou věnovány jednotlivým zkušební metodám pro asfaltové směsi. V další části jsou popisovány vstupní materiály pro zkoušení modulu tuhosti, výroba zkušebních těles a následné laboratorní zkoušky zkušebních těles. Cílem této práce je srovnání měření modulu tuhosti na vybraných asfaltových směsích zkoušených na válcích a trámcích za definovaných okrajových podmínek.

Klíčová slova

Moduly tuhosti, Zkouška v příčném tahu na válcích, Zkouška čtyřbodovým ohybem na trámcích



Abstrakt

This thesis deals with the stiffness modulus testing on the devices defined in EN 12697-26, namely on practical comparison of stiffness modulus on selected asphalt mix on the rollers and beams. The test on the cylinders is performed in transverse tensile strength (IT-CY) and test on beams is on the four-point bending (4PB-PR). Introductory chapters are devoted to individual test methods for asphalt. In the next section the input materials for testing the stiffness modulus, production of test specimens and subsequent laboratory tests of specimens. The aim of this study is to compare the stiffness modulus measurements on selected asphalt mixtures tested on cylinders and beams with defined boundary conditions.

Key words

Stiffness modulus, tensile test in a cross on the reels, to test four-point bending beams



Obsah

1	Úvod.....	9
1.1	Cíle a motivace bakalářské.....	9
1.2	Modul tuhosti.....	10
1.2.1	Komplexní modul.....	10
1.2.2	Sečný modul.....	11
1.3	Měření modulu tuhosti.....	12
2	Zkušební metody měření.....	14
2.1	Zkoušky ohybem.....	14
2.1.1	Dvoubodová zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu (2PB-TR)	14
2.1.2	Dvoubodová zkouška ohybem na tělesech tvaru trámečku (2PB-PR).....	18
2.1.3	Zkouška čtyřbodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku (4PB-PR)	19
2.1.4	Zkouška třibodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku (3PB-PR).....	24
2.2	Zkoušky v příčném tahu.....	24
2.2.1	Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT-CY).....	24
2.2.2	Zkouška cyklickým namáháním v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (CIT-CY).....	30
2.3	Zkoušky jednoosým tahem a tlakem.....	33
2.3.1	Zkouška jednoosým tahem a tlakem na válcových zkušebních tělesech (DTC – CY) 33	
2.3.2	Zkouška v přímém tahu na válcových zkušebních tělesech (DT – CY).....	35
2.3.3	Zkouška v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku (DT – PR).....	39
3	Výroba zkušebních tělech	40
3.1	Výroba asfaltových směsí.....	40
3.2	Hutnění těles Marshallovým pěchem	41
3.3	Stanovení objemové hmotnosti	41
3.3.1	Postup.....	41
3.3.2	Výpočet.....	42



3.4	Výroba trámečků.....	42
4	Stanovení modulů tuhostí.....	44
4.1	Měření v příčném tahu na válcových tělesech IT – CY	44
4.2	Měření za ohybu na trámečcích 4PB – PR	46
5	Srovnání naměřených modulů tuhostí.....	50
5.1	Porovnání měření mezi IT – CY a 4PB – PB	50
5.2	Porovnání modulů tuhostí za dané teploty a při odchylce o 1 °C na zařízení IT – CY 56	
5.3	Porovnání měření při horizontální deformaci 5 μm a 3 μm	57
6	Závěr.....	59
	Použité zdroje	60
	Seznam obrázků.....	61
	Seznam tabulek.....	63
	PŘÍLOHY	65



1 Úvod

1.1 Cíle a motivace bakalářské

V současné době se spekuluje, že všechny zkušební metody pro určení modulů tuhosti podle ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka, udávají totožné výsledky měření za různých okrajových podmínek. Každá zkušební metoda má svoje okrajové podmínky podle, kterých se určuje modul tuhosti za určité teploty a frekvence zatěžování.

Tato bakalářská práce nazvaná Srovnávání modulů tuhosti na válcových tělesech a na trámcích se zaměřuje především na rešerši v metodách měření modulu tuhosti, a porovnávání naměřených hodnot, podle kterých se stanovují okrajové podmínky pro jednotlivé metody měření modulů tuhosti. V našem případě budeme porovnávat na daných směsích moduly tuhosti, a to na metodě Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT–CY) za definované okrajové podmínky zkoušky: teplota 15°C, horizontální deformace 5μm, a doba náběhu 124±4ms, a na metodě Zkouška čtyřbodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku (4PB-PR) za definované okrajové podmínky zkoušky: teplota 20°C a frekvence zatěžování 8Hz. Dále práce bude porovnávat rozdíl modulů tuhosti na teplotách 0°C, 15°C, 27°C, 40°C, a jak moc ovlivní modul tuhosti zvýšení teploty o +1°C na všech daných teplotách. Poslední cíl práce je u metody Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT–CY) je jestli má vliv na modul tuhosti horizontální deformace, když změníme z 5μm na 3μm u teplot 15°C a 40°C.

Hlavní motivací je ověřit okrajové podmínky na modulech tuhosti podle metod Zkouška v příčném tahu na válcových tělesech (IT-CY) a Zkouška čtyřbodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku (4PB-PR) a popřípadě zjistit za jakých podmínek se shodují moduly tuhostí těchto metod. Další motivací je zjištění rozdílů výsledků modulů tuhostí vlivem teploty zvýšení o +1°C od původních standartních měřených teplot a poukázat na patrný vliv podle, kterých se určují okrajové podmínky. Poslední motivace má ověřit, že při metodě Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT–CY) by se modul tuhosti měl lišit jen nepatrně při změně horizontální deformace z 5μm na 3μm.



1.2 Modul tuhosti

Modul tuhosti je podle ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost definován jako absolutní hodnota komplexního modulu nebo sečného modulu. Modul 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 [1].

1.2.1 Komplexní modul

Komplexní modul určuje vztah mezi napětím a přetvořením pro lineárně viskoelastický materiál vystavený vynucenému ustálenému harmonickému (sinusovému) zatížení v čase t , s použitím napětí:

$$\sigma \times \sin(\omega \times t) \quad (1)$$

Kde: σ použité napětí, v MPa;
 ω úhlová rychlost, v rad/s;
 t doba zatěžování, v s.

jehož výsledkem je poměrné přetvoření, které má posun o fázový úhel φ v porovnání s průběhem napětí:

$$\varepsilon \times \sin(\omega \times (t - \varphi)) \quad (2)$$

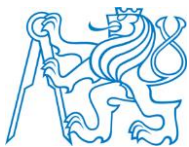
Kde: ω úhlová rychlost, v rad/s;
 t doba zatěžování, v s;
 φ fázový úhel, ve stupních ($^\circ$);
 ε použité přetvoření, v $\mu\text{m}/\text{m}$.

[2]

Z důvodů viskoelastických vlastností asfaltových směsí dochází k fázovému opoždění mezi σ a ε . Fázový posun φ způsobují setrvačné síly, vznikající při harmonickém kmitání při zkoušce, kdy se zkušební těleso pohybuje při vychýlení volného konce jedním směrem a setrvačné síly působí opačným směrem.

Velikost harmonického zatěžování odpovídá maximálnímu přetvoření (střídavé protažení a stlačení) krajních vláken zkušebního tělesa o velikosti do 5×10^{-5} m/m. Při těchto přetvořeních se neprojevuje únava materiálu [3].

Komplexní modul je charakterizován dvěma složkami. Tyto složky lze vyjádřit dvěma způsoby: reálná složka komplexního modulu E_1 a imaginární složka komplexního modulu E_2 .



$$E^* = E_1 + iE_2 \quad (3)$$

$$E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon} \times \cos\varphi \quad (4)$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon} \times \sin\varphi \quad (5)$$

- Kde: E^* komplexní modul, v MPa;
 E_1 reálná složka komplexního modulu, v MPa;
 E_2 imaginární složka komplexního modulu, v MPa;
 σ použité napětí, v MPa;
 ε použité přetvoření, v $\mu\text{m}/\text{m}$;
 φ fázový úhel, ve stupních ($^\circ$).

Absolutní hodnota komplexního modulu $|E^*|$ a fázového úhlu φ .

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (6)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (7)$$

- Kde: E^* komplexní modul, v MPa;
 E_1 reálná složka komplexního modulu, v MPa;
 E_2 imaginární složka komplexního modulu, v MPa;
 φ fázový úhel, ve stupních ($^\circ$).

[2]

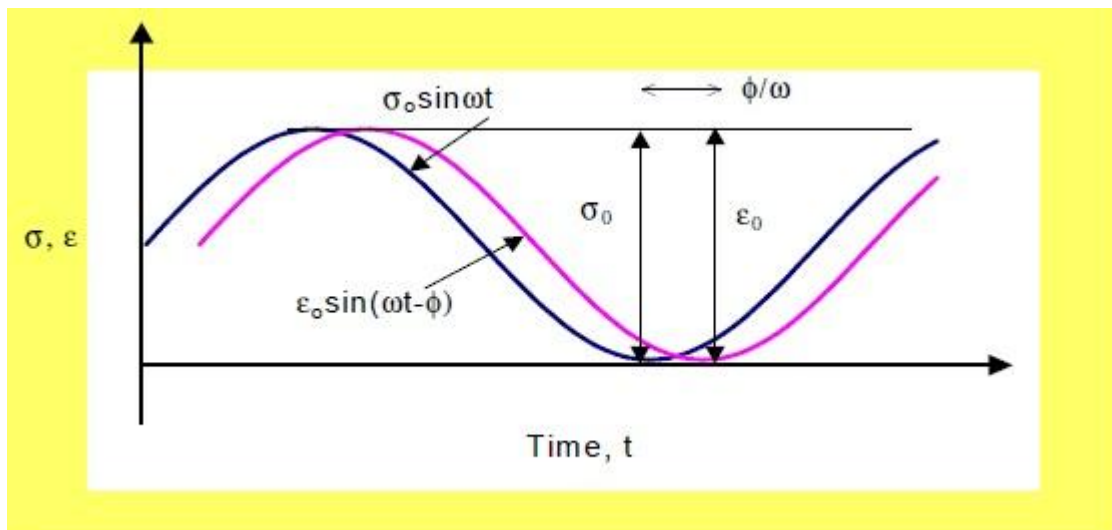
1.2.2 Sečný modul

Sečný modul definuje vztah mezi napětím a poměrným přetvořením po dobu zatěžování t , pro materiál zatěžovaný konstantním přetvořením, s napětím $\sigma(t)$ a poměrným přetvořením $\varepsilon(t)$ v čase t :

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} \quad (8)$$

- Kde: E tuhost (modul), v MPa;
 σ použité napětí, v MPa;
 ε použité přetvoření, v $\mu\text{m}/\text{m}$.

[2]



Obrázek. 1.2.2.1 Průběh napětí a přetvoření v čase [1]

1.3 Měření modulu tuhosti

Modul tuhosti charakterizuje chování směsi pro danou rychlost zatěžování. Nelze ho proto srovnávat s moduly tuhosti stanovenými za jiných zkušebních podmínek.

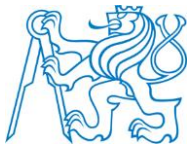
Měření modulu tuhosti je podstatou laboratorních zkoušek pro asfaltové směsi. Jde o moderní metody stanovení modulu tuhosti asfaltových směsí pomocí opakovaného dynamického zatěžování nebo řízené rychlosti zatěžování. Vzorky definovaného tvaru jsou deformovány v rozsahu lineárního přetvoření, a to buď při vyvozování stejného zatěžování, nebo při zatěžování konstantním přetvořením. Při zkoušce se měří a zaznamenává amplituda napětí a poměrného přetvoření s fázovým rozdílem mezi napětím a poměrným přetvořením. Zkoušky se provádí podle platných norem a předpisů. Zkoušku provádíme několika různými způsoby:

Zkoušky ohybem:

- 2PB-TR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu, viz kapitola 2.1.1
- 2PB-TR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého trámečku, viz kapitola 2.1.2
- 4PB-TR: čtyřbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku, viz kapitola 2.1.3
- 3PB-TR: tříbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku, viz kapitola 2.1.4

Zkoušky v příčném tahu:

- IT-CY: zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech, viz kapitola 2.2.1
- CIT-CY: zkouška cyklickým namáháním v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech, viz kapitola 2.2.2



Zkoušky jednoosým tahem a tlakem:

- DTC-CY: zkouška jednoosým tahem a tlakem na válcových zkušebních tělesech, viz kapitola 2.3.1
- DT-CY: zkouška v přímém tahu na válcových zkušebních tělesech, viz kapitola 2.3.2
- DT-PR: zkouška v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku, viz kapitola 2.3.3



2 Zkušební metody měření

Zkušební metody lze použít s pomocí relativních faktorů tvaru a hmotností. Zkušební postupy jsou popsány v kapitolách 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.2.1, 2.2.2, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3. Pokud se pro zjištění charakteristik tuhosti asfaltových směsí použijí jiné zkušební postupy, musí se nejdříve ověřit ekvivalence těchto postupů porovnáním s jedním z postupů uvedených v následujících kapitolách a musí se vydat prohlášení o shodě a připojit jej k protokolům o zkoušce [2].

2.1 Zkoušky ohybem

2.1.1 Dvoubodová zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu (2PB-TR)

Metoda pro měření modulu tuhosti asfaltové směsi zkouškou ohybem jednostranně vetknutého komolého klínu. Zkušební těleso je přilepeno svou spodní základnou k podkladní desce a upevněné k pevnému rámu. Na volný konec zkušebního tělesa působí sinusová síla F nebo sinusový průhyb z .

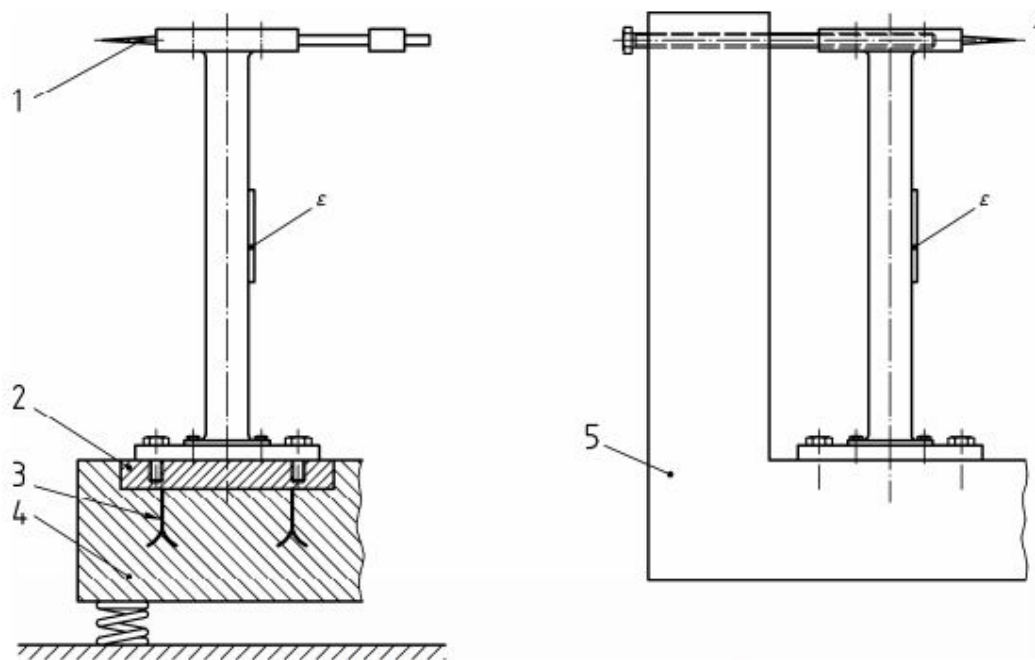
$$F = F_0 \times \sin(\omega \times t) \quad (9)$$

$$z = z_0 \times \sin(\omega \times t) \quad (10)$$

Kde: F zatěžovací síla, v N;
 z posun, v mm;
 ω úhlová rychlost, v rad/s;
 t doba zatěžování, v s.

Síla F_0 nebo průhyb z_0 musí mít takovou velikost, aby přetvoření, které způsobují, mělo v nejméně namáhané části zkušebního vzorku hodnotu $\varepsilon \leq 50 \times 10^{-6}$. 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 od 3 Hz do 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 rámu tvaru L vyrobené z oceli o tloušťce minimálně 80 mm při síle přibližně 50 N [2].



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

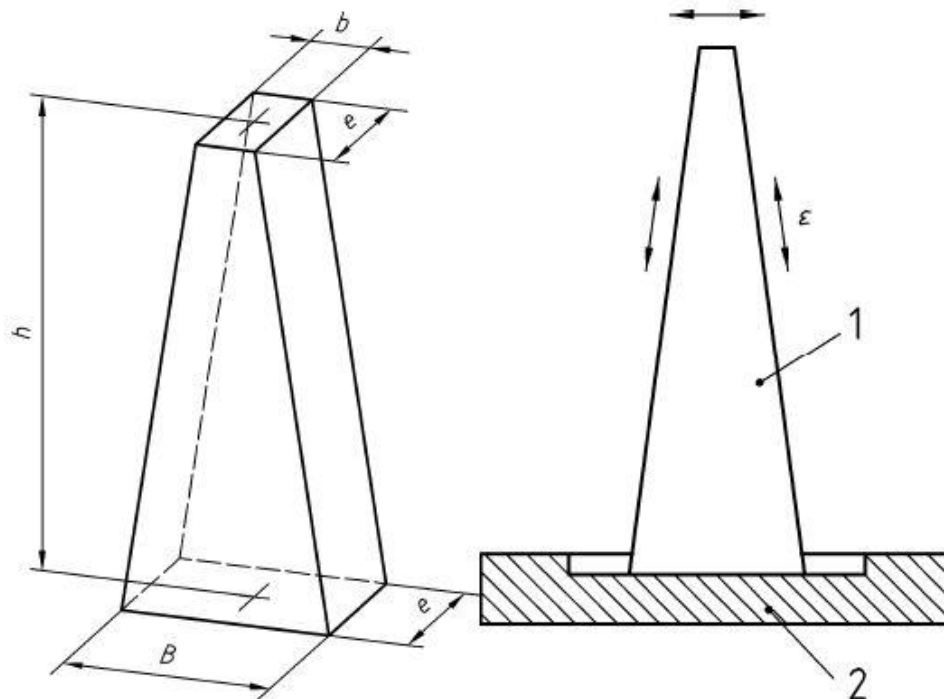
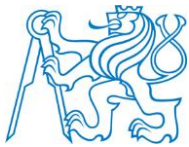
Obrázek 2.1.1.1 Kontrola ukotvení [2]

Zkušební zařízení by mělo být uloženo v termostatické odvětrávané komoře, která umožňuje ustálit průměrnou teplotu proudu vzduchu na $\pm 0,3^\circ\text{C}$ 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 musí mít tvar komolého klínu (viz obrázek 2.1.1.2) s konstantní tloušťkou a rozměry uvedenými v tabulce 2.1.1.1.

Tabulka 2.1.1.1 Minimální rozměry zkušebních těles tvaru komolého jehlanu [2]

Rozměry zkušebních těles mm	Zkušební tělesa tvaru komolého klínu mm		
	$D \leq 14 \text{ mm}$	$14 < D \leq 20 \text{ mm}$	$20 < D \leq 40 \text{ mm}$
B	56 ± 1	70 ± 1	70 ± 1
b	25 ± 1	25 ± 1	25 ± 1
e	25 ± 1	25 ± 1	25 ± 1
h	250 ± 1	250 ± 1	250 ± 1



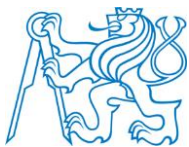
Obrázek 2.1.1.2 Rozměry zkušebních těles a upevnění zkušebního tělesa [2]

Legenda:

- 1 drážka, 2 mm
- 2 kovová podkladní deska

Příprava zkušebních těles tvaru komolého klínu dle ČSN EN

Zkušební tělesa se získají vyřezáváním z desky vyrobené v lamelovém zhutňovači (viz obrázek 2.1.1.3) 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 směsí. Komolý jehlan se uchovávají při teplotě 30°C, chráněná před přímým sluncem a postavena na rovné povrchu, aby se zabránilo jejich ohybu. Sada zkušebních těles musí obsahovat alespoň 4 vzorky o rozměrech uvedených v tabulce 2.1.1.1. Rozměry vzorků se měří a zapisují s přesností na 0,1mm hmotnost každého vzorku 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 hmotnostní sady. Pokud ano, vzorek se vyloučí.



Obrázek 2.1.1.3 Lamelový zhutňovač pro zhutnění desek

Každé zkušební těleso se potom nalepí, ke spodní části kovové podkladní desky viz obrázek 2.1.1.2 takovým způsobem, aby bylo zaručeno dobré geometrické uložení zkušebního tělesa k jeho podstavci. Přichytka upevňující zkušební těleso k zatěžovacímu zařízení pro měnění napětí se nalepí k horní části zkušebního tělesa. Podkladní deska musí mít minimální tloušťku 10 mm [2].

Postup zkoušky

Zkouška je provedena jako dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu. Zkušební tělesa se vloží do temperovací komory na dobu 4 hodin, aby dosáhla potřebné zkušební teploty. Poté se zkušební těleso upevní do zkušebního zařízení tak, že spodní část je vetknuto přes podkladní kovovou desku a horní část se upne k táhlu se snímačem síly a deformace. Do počítače s programem se vyplní rozměry a hmotnost zkušebního tělesa a spustí se zkušební zařízení [4].

Zkušební tělesa se vystaví harmonické (sinusové) síle požadované frekvence $\pm 5\%$, působící na jejich volný konec po dobu minimálně 30 s a maximálně 2 min při průhybu odpovídajícímu přetvoření ϵ menšímu než 50 mikrostrain. Síla F_0 , průhyb z_0 a fázový úhel φ se měří po dobu posledních 10 s zkoušky. Komplexní modul smí být určen pro požadované teploty a pro požadované frekvence. Pokud se stanovuje hlavní křivka, měří se komplexní model nejméně při čtyřech teplotách a odstupňovaných minimálně po 10°C a pro každou teplotu při minimálně 3 frekvencích rovnoměrně rozložených na logaritmickém měřítku s minimálním poměrem 10 mezi mezními frekvencemi [2].



Komplexní modul tuhosti při dané frekvenci zatěžování a teplotě je určen aritmetickým průměrem naměřených výsledků počtu zkoušených těles. Celkový komplexní modul tuhosti je pak aritmetický průměr celé sady těles. Jako návrhová hodnota podle TP 170 je modul při frekvenci zatěžování 10 Hz a teplotě 15 °C. [4]



Obrázek 2.1.1.4 Přístroj na měření modulu tuhosti [5]

2.1.2 Dvoubodová zkouška ohybem na tělesech tvaru trámečku (2PB-PR)

Metoda pro měření modulu tuhosti asfaltové směsi zkouškou ohybem jednostranně vetknutého trámečku, má stejný postup jako metoda zkoušky na jednostranně vetknutém komolém jehlanu viz kapitola 2.1.1. Liší se pouze rozměry zkušebních těles viz tabulka 2.1.2.1.

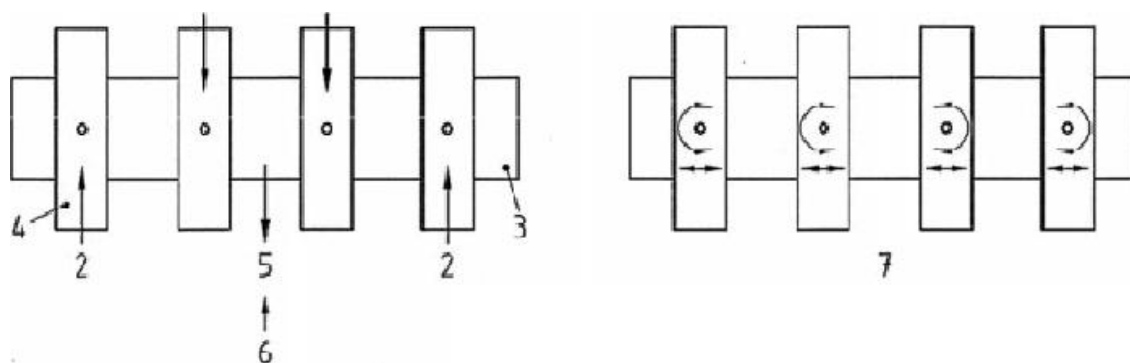
Tabulka 2.1.2.1 Minimální rozměry zkušebních těles tvaru trámečku [2]

Rozměry zkušebních těles mm	Zkušební tělesa tvaru trámečku	
	mm	
	$D \leq 22 \text{ mm}$	$D > 22 \text{ mm}$
b	40 ± 1	80 ± 1
e	40 ± 1	80 ± 1
h	120 ± 1	240 ± 1



2.1.3 Zkouška čtyřbodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku (4PB-PR)

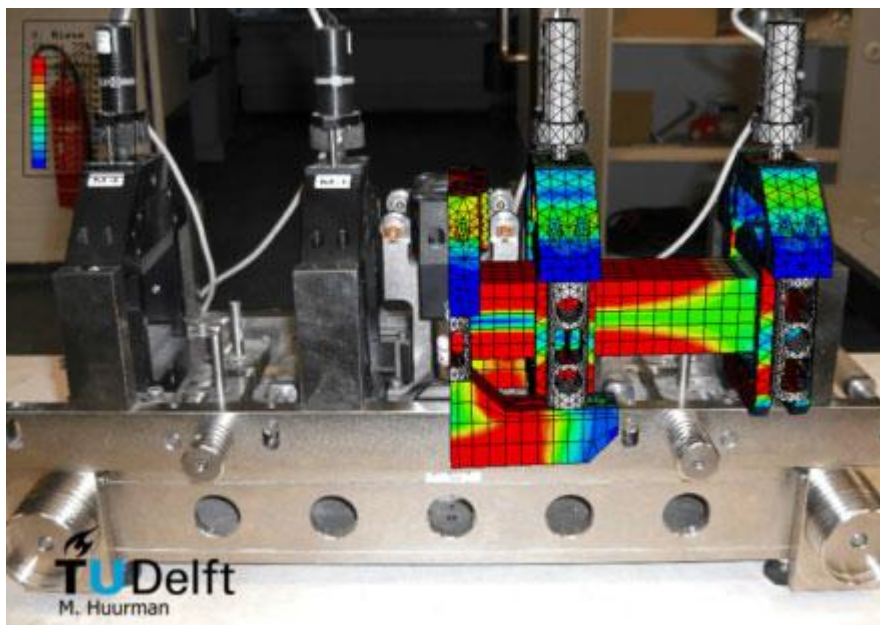
Vývoj této metody v České republice lze sledovat posledních 8 let. Metoda měření tuhosti na asfaltové směsi pomocí zkoušky čtyřbodovým ohybem. Zkušební těleso ve tvaru trámečku je vystaveno opakovanému ohybu ve čtyřech bodech s volnou rotací a (horizontálním) posunem na všech zatěžovacích a podpěrných bodech. Ohyb se vyvozuje pohybem středního zatěžovacího bodu (nebo bodů) ve svislém směru kolmo k podélné ose zkušebního tělesa. Svislá poloha dvou koncových bodů zůstává neměnná. Vyvozovaná opakovaná výchylka na obě strany je symetrická k základní nulové poloze a sinusová amplituda musí být konstantní v čase. V průběhu zkoušky se síla potřebná k deformaci tělesa měří jako funkce času stejně tak jako fázové zpoždění mezi signálem síly a signálem výchylky. Z toho se vypočítá modul tuhosti zkoušeného materiálu [2].



Obrázek 2.1.3.1 Princip zkoušky čtyřbodovým ohybem [2]

Legenda:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| 1 | aplikované zatížení | 5 | průhyb |
| 2 | podpora | 6 | návrat do původní polohy |
| 3 | zkušební těleso | 7 | volná rotace a přenos |
| 4 | upnutí zkušebního tělesa | | |



Obrázek 2.1.3.2 Přehled 4PB zařízení [6]

Nosná konstrukce se skládá z vertikálního pohonu připojeného k pohyblivému ventilu, který umožňuje aplikovat dynamické zatížení s frekvencí až 50 Hz. Na konci pohyblivého ventilu je siloměr (snímač síly) s kapacitou 25 kN a s rozsahem alespoň 2 kN a s přesností 1%. Síla se měří uprostřed, mezi dvěma středovými podpěrami. Uplatnění tohoto zatížení se provádí pomocí sinusového zatížení podle rovnice (1). Vyznačuje se stejnou frekvencí, ale s určitým zpožděním k zatížení podle rovnice (2). Tyto zpoždění způsobuje fázový úhel φ [7]. Zatížení působí na zkušební těleso pomocí zatěžovacích úchytů přes zatěžovací nosník takto:

- dva úchyty na vnitřní podpěře při $x = A$ a $x = L - A$, kde A volíme $L/3$

Upnutí schopné uchytit zkušební trámeček v zatěžovacím rámu tak, aby umožňovalo horizontální posun a volnou rotaci na všech podporách. Zpětně vypočítaný modul tuhosti pro referenční trámeček se známým modulem tuhosti se musí nacházet do 2% pro modul tuhosti a do $0,5^\circ$ pro fázové zpoždění.

Celkový ohyb mezi dvěma vnitřními podpěrami zkontrolovat měřením průhybu na vnitřní podpěře ($x = A$) a uprostřed zkušebního tělesa ($x = L/2$). Poměr amplitud středního průhybu na vnitřních podporách musí být konstantní, což se definuje jako:

$$\frac{Z(\frac{L}{2})}{Z(A)} = \frac{R(A)}{R(\frac{L}{2})} = \frac{3L^2 - 4A^2}{4A \times (3L - 4A)} \quad (11)$$

Kde: L efektivní délka, v mm;
 A $L/3$, v mm.



Zařízení pro elektronický záznam dat, nízko šumové zesilovače s rozsahem, který přibližně odpovídá maximálním hodnotám rozsahu měření snímačů. Měřicí zařízení s analogovým nebo digitálním výstupem musí být takové, aby měřicí zesilovače byly schopny odečítat s rozlišením 1 N pro sílu 1 μ m pro výchylku. U zařízení se doporučuje prověřit specifikace udávané dodavatelem, kvůli možným chybám v měření. Další důležitý faktor je, zda elektronické zařízení je náležitě chráněno proti vlivu externích rušivých elektrických a magnetických zdrojů schopných způsobit chyby měření [2].

Zařízení je instalováno v dostatečně velké termostatické komoře, která umožňuje regulaci teploty od -20°C do +70°C s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$. To je nezbytné pro udržení konstantní teploty v průběhu zkoušky a temperování zkušebních těles [7].



Obrázek 2.1.3.3 4PB-PR zařízení v klimatizační komoře



Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa se získají, vyřezáním z desky o rozměrech 305 × 405 × 50 mm vyrobené segmentovým zhutňovačem viz obrázek 2.1.3.1.1 podle ČSN EN 12697-33 nebo z desek odebraných z vozovky. Deska vyrobená v laboratoři musí mít alespoň tloušťku požadované výšky $H + 20$ mm. Trámečky se řezají od středu. Vzdálenost trámeček od okraje desky musí být nejméně 20 mm. Stejný postup se dodržuje pro trámečky řezané z desek odebraných z vozovky. Pokud je tloušťka vozovky příliš malá ke splnění požadavku respektování poměru mezi výškou H a maximální velikostí zrna D , trámečky musí být otočeny o úhel 90° . V takovém případě šířka trámečky B nesmí být respektována a musí být zaznamenána. Podélná osa zkušebního tělesa musí být rovnoběžná s hlavním směrem hutnění [2].

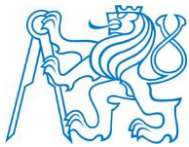


Obrázek 2.1.3.3 Segmentový zhutňovač

Z desek se získají zkušební tělesa ve tvaru trámečky s rozměry 50 × 50 × 405 mm. Celková délka L_{tot} nesmí překročit účinnou délku o více než 10%. Rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou u každého rozměru musí být nejvíce 1,0 mm. Úhel mezi přilehlými podélnými povrchy se nesmí lišit od pravého úhlu více než o 1° [2].

Postup zkoušky

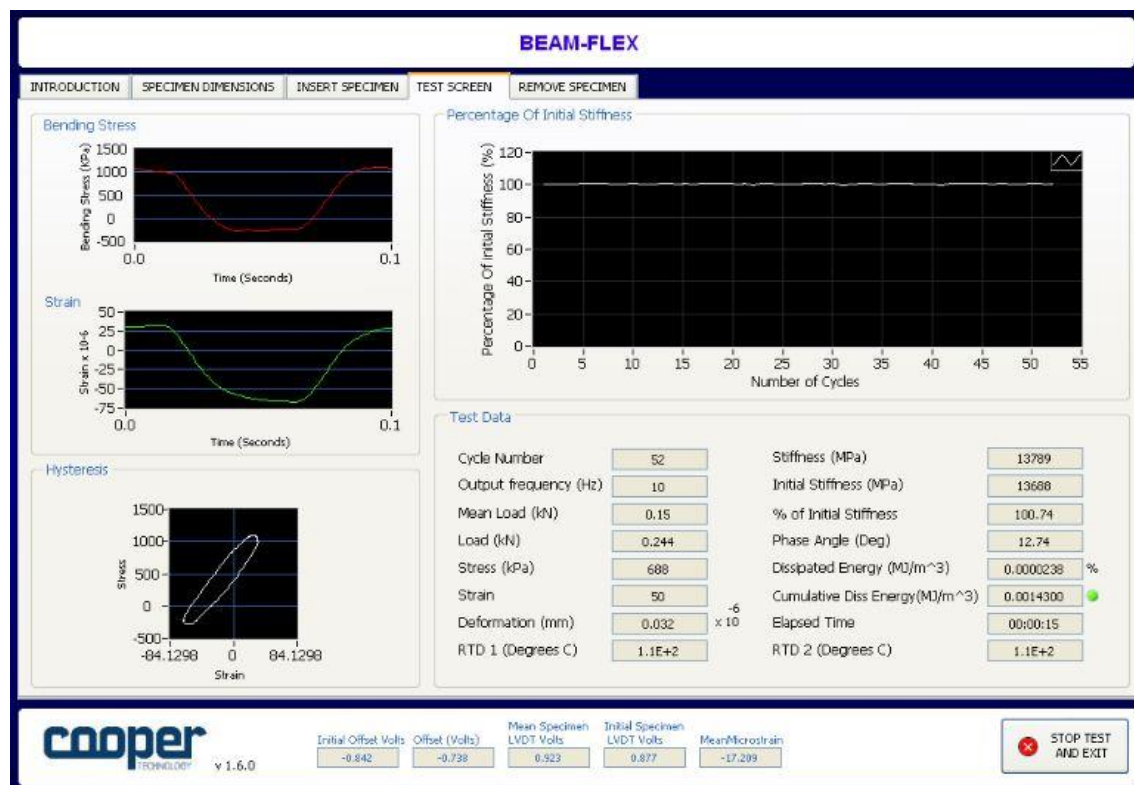
Zkušební těleso se nechá temperovat v klimatizační komoře na určitou teplotu minimálně po dobu 3 hodiny. Poté se zkušební těleso vloží do 4PB zařízení. Čtyři úchyty se upevní ke zkušebnímu tělesu ve stejných rozestupech (střed na střed) v místech $L/2$ a $L/2$ pro zkoušku 4PB L-2A a A. Tolerance rozestupů musí být ± 2 mm.



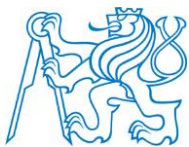
Ve zkušební sestavě je zkušební těleso uloženo v poloze otočené o 90° kolem jeho podélné osy s ohledem na jeho polohu v desce, vyrobené v laboratoři nebo získané z vozovky. Trámeček se zváží stejně tak, jako všechny pohyblivé části mezi snímačem síly a trámečkem (např. Pohyblivý rám, podpěry, a snímače průhybu) a body, ve kterých mají tyto hmoty vliv, se musí stanovit, aby se mohl správně vypočítat faktor hmotnosti.

Pomocí připojeného počítače k zařízení spustíme příslušný program. Po seřízení 4PB zařízení pomocí programu a nastavení hodnot zkoušeného zkušebního tělesa se zapne měření za určité teploty a dané frekvence.

Zkušební těleso se vystaví sinusové síle, aby e dosáhlo požadované amplitudy přetvoření (50 ± 3) mikrostrain. Amplituda průhybu musí zůstat v rozmezí 2% jmenovité hodnoty. Síla F_0 , průhyb z_0 , a fázový úhel φ , se musí zaznamenat společně se zkušební teplotou a frekvencí. Počáteční modul tuhosti je stanoven jako modul pro cyklus zatížení mezi 45. a 100. opakovaným zatížení. Vlastní modul je při této zkoušce vždy stanoven pro každou frekvenci při 100. zatěžovacím cyklu. Požadované parametry musí být konstantní v cyklu, při kterém je modul tuhosti stanoven [2].



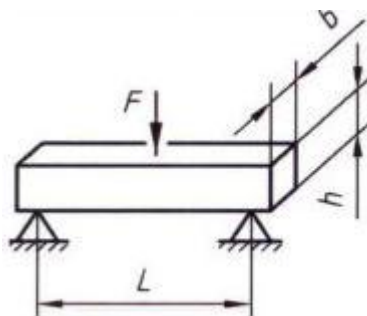
Obrázek 2.1.3.4 Průběh měření pomocí programu BEAM-FLEX



2.1.4 Zkouška třibodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku (3PB-PR)

Metoda pro měření modulu tuhosti asfaltové směsi zkouškou třibodovým ohybem ve tvaru trámečku, má stejný postup jako metoda zkoušky čtyřbodovým ohybem ve tvaru trámečku viz kapitola 2.1.3. Liší se v zatížení působící na těleso pomocí zatěžovacích úchytů přes zatěžovací nosník

- Jeden úchyt na střední podpěře při $x = L/2$

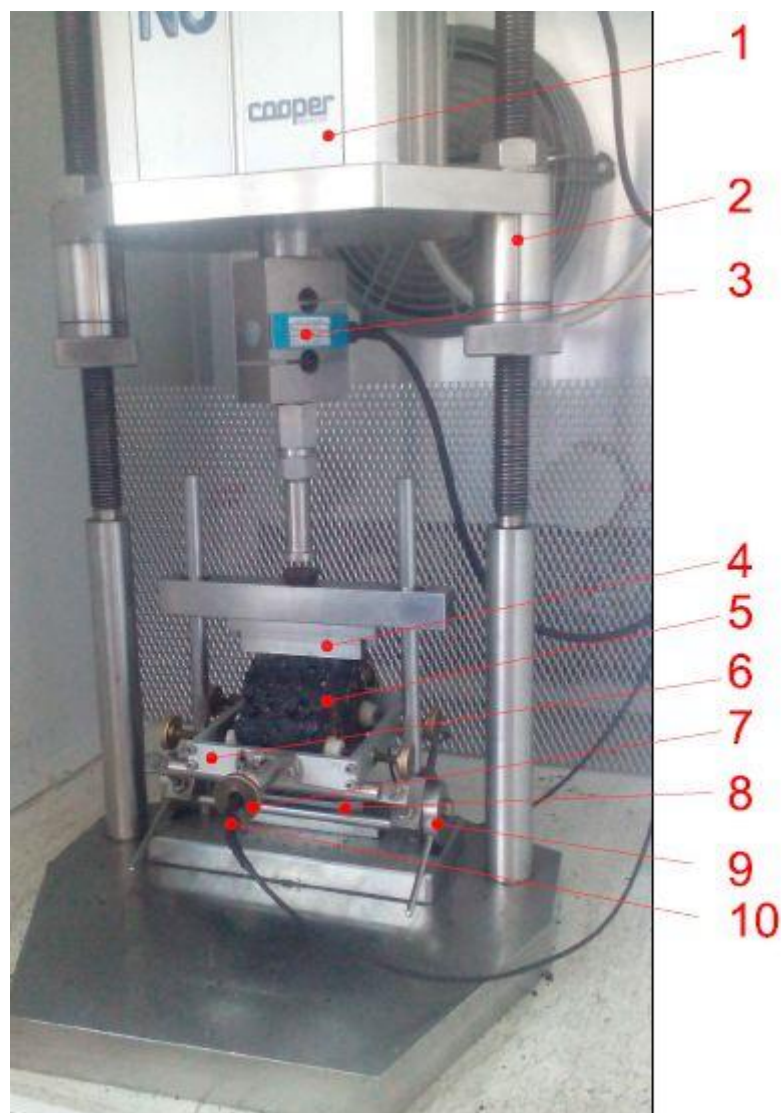


Obrázek 2.1.4.1 Metoda měření 3PB-PR [2]

2.2 Zkoušky v příčném tahu

2.2.1 Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT-CY)

Zkušební metoda je jednoduchá nedestruktivní zkouška prováděná na Marshallových tělesech. Vyrobených v laboratoři nebo odebraných z vozovky vývrtem. Metoda měření modulu tuhosti IT – CY používá přístroj NAT (Nottingham Asphalt Tester), který by na pracovišti katedry silničních staveb Fakulty stavební zprovozněn v roce 1993, v rámci projektu TEMPUS. NAT se skládá z pěti hlavních částí. Jde o zkušební rám, pneumatickou jednotku, řídicí a kontrolní jednotku, teplotní komoru s rozsahem pracovních teplot od -10°C do 40°C a osobní počítač [8].



Obrázek 2.2.1.1 Zkušební zařízení

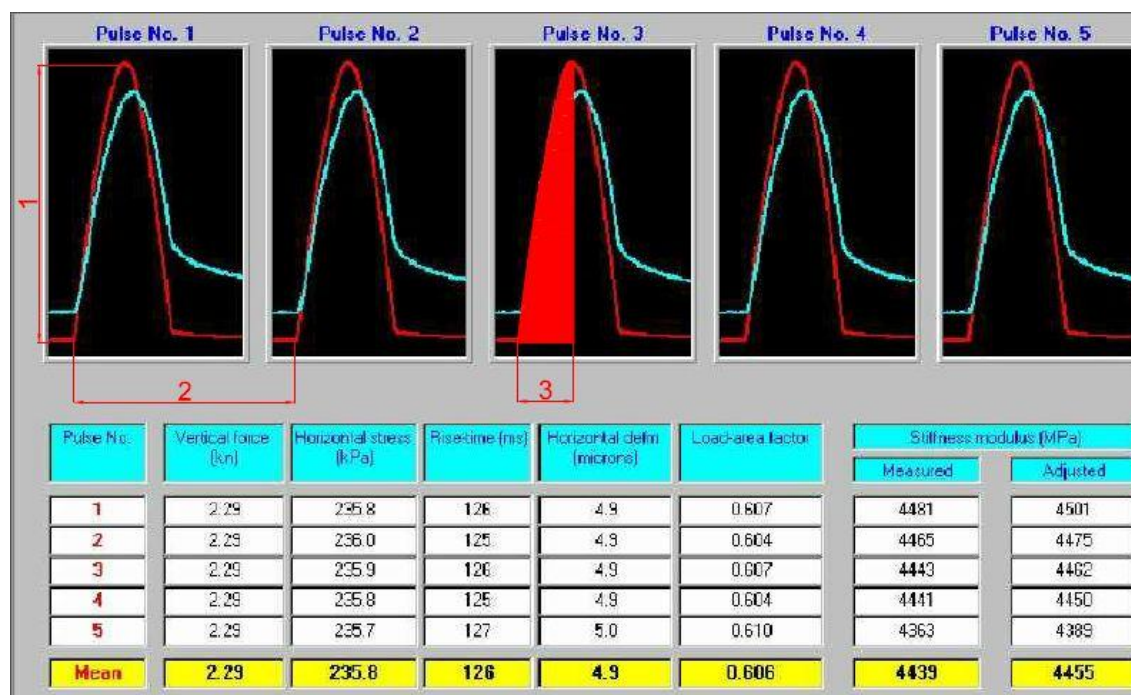
Legenda:

- | | | | |
|---|----------------------------|----|-----------------------------|
| 1 | Pneumatický zdroj zatížení | 6 | Rámeček s LVDT |
| 2 | Ocelový zatěžovací rám | 7 | LVDT nastavovací šroub |
| 3 | Snímač síly | 8 | Spodní zatěžovací pás |
| 4 | Horní zatěžovací pás | 9 | Nastavovací podpěra rámečku |
| 5 | Zkušební těleso | 10 | LVDT |

Po přípravných pulzech je zkušební těleso zatíženo v pěti cyklech. Doba náběhu, která se měří od začátku působení zatěžovacího pulzu a je dobou vyžadovanou pro zvýšení působícího zatížení z počátečního kontaktního zatížení na maximální hodnotu, musí být 124 ± 4 ms. Maximální hodnota zatížení musí být nastavena tak, aby byla dosažena požadovaná příčná maximální horizontální deformace 0,005% průměru tělesa. Vyvozené zatížení se změří snímačem síly s přesností 2%. Perioda opakování pulzů, musí být $3,0 \pm 0,1$ s. Vybere se takový zatěžovací pulz, který



dosáhne očekávaného maxima horizontální deformace $7 \pm 2 \mu\text{m}$ pro zkušební těleso s daným průměrem.

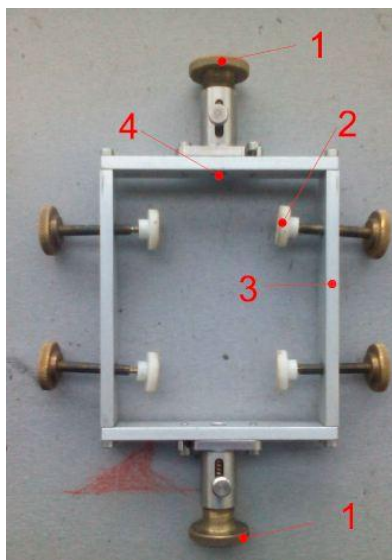
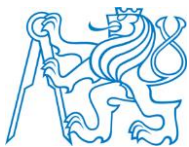


Obrázek 2.2.1.2 Zatěžovací pulzy ukazující dobu náběhu a výsledky měření z počítače

Legenda:

- 1 Špička zatížení
- 2 Perioda opakování zatěžovacího pulzu
- 3 Doba náběhu zatížení

Systém měření deformace, schopný sledovat příčnou horizontální deformaci zkušebního tělesa v průběhu působení zatěžovacího pulzu. Přesnost měření musí být větší než $2 \mu\text{m}$ v rozsahu $\pm 50 \mu\text{m}$. Zaznamenané maximum horizontální deformace musí být amplitudou změny horizontálního průměru tělesa. Záznamové zařízení, obsahující jednotku digitálního rozhraní připojenou k mikropočítači, které sleduje a zaznamenává elektrické signály ze snímačů zatížení a deformace. Rychlost přenosu dat musí být taková, aby signál každého snímače během zatěžovacího pulzu byl snímán při frekvenci nejméně 500 Hz [2].



Obrázek 2.2.1.3 Sestava pro měření vodorovné deformace

Legenda:

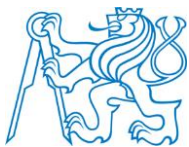
- | | | | |
|---|------------------------|---|-----------------------|
| 1 | nastavovací šroub LVDT | 3 | rámeček LVDT |
| 2 | upínací šrouby | 4 | Místo pro snímač LVDT |



Obrázek 2.2.1.4 Nastavovací podpěra rámečku

Legenda:

- | | | | |
|---|----------------------|---|------------------------|
| 1 | vodící drážka | 3 | zajišťovací matky |
| 2 | podpěra LVDT rámečku | 4 | uvolňovací mechanismus |



Příprava zkušebních těles

Válcová zkušební tělesa o tloušťce od 30 mm do 75 mm a jmenovitého průměru 80 mm, 100 mm, 120 mm, 150 mm nebo 200 mm. Oba rozměry se musí zvolit příslušně k jmenovité maximální velikosti zrna kameniva ve směsi. Doporučuje se tloušťka zkušebního tělesa nejbližší tloušťce konstrukční vrstvě vozovky, ale nesmí překračovat daný tloušťky od 30mm do 75 mm [2].

V silniční laboratoři se připravují zkušební tělesa pomocí Marshallova pěchu.



Obrázek 2.2.1.5 Marshallův pěch

Rozměry každého zkušebního tělesa musí být změřena podle ČSN EN 12697-29. Vhodným značkovačem se narýsuje průměr na jednom rovném povrchu tělesa, Narýsuje se druhý průměr pootočený o $(90 \pm 10)^\circ$ od prvního. Oba průměry se náležitě označí [2].

Postup zkoušky

Zkušební těleso dáme temperovat do klimatizační místnosti s kontrolovatelnou teplotou na určitou teplotu po dobu minimálně 4 hodiny. Po temperování umístíme zkušební těleso do přístroje NAT na obrázku 2.2.1.1 do polohy zkoušení s jedním z označených průměrů ve svislém směru. Umístíme do určené polohy a upevníme těleso pomocí upínacími šrouby a nastavíme snímače LVDT do správně polohy. Pomocí připojeného počítače k zařízení spustíme příslušný program ITSM (Indirect Tensile Stiffness Modulus). Zadáme výšku a průměr zkušebního tělesa, Poissonovo číslo závislý na teplotě a danou teplotu do programu a seřídíme LVDT snímače (na obrazovce se dá sledovat rozpětí snímání).



Použije se alespoň deset kontrolních zatěžovacích pulzů tak, aby se nastavilo zařízení na velikost zatížení a dobu pulzu k dosažení stanovené horizontální deformace průměru a doby náběhu. V případě potřeby se uvedou zařízení pro měření deformace zpět do přibližně střední části jejich pracovního rozsahu. Vyvodí se dalších pět zatěžovacích pulzů na těleso a při každém zatěžovacím pulzu se změří a zaznamená průběh vyvozeného zatížení v čase a horizontální deformace zkušební tělesa určí se součinitel zatěžovací plochy. Součinitel plochy zatížení musí být v rozmezí 0,50 až 0,70. Doporučená hodnota součinitele plochy zatížení je 60. Horizontální deformace musí být v rozmezí 3 μm až 20 μm . Svislé zatížení nesmí být menší než 0,5 kN. Výsledek měření z počítače viz obrázek 2.2.1.2.

Na základě měření z 5 zatěžovacích pulzů se vypočítá naměřený modul tuhosti pro každý zatěžovací pulz pomocí rovnice:

$$E = \frac{F \times (v + 0,27)}{(z \times h)} \quad (12)$$

- Kde: E naměřený modul tuhosti, v MPa;
F maximální hodnota použitého svislého zatížení, v N;
z amplituda horizontální deformace zjištěná v průběhu zatěžovacího cyklu, v mm;
h průměrná tloušťka zkušební tělesa, v mm;
v Poissonovo číslo.

Pokud není stanoveno Poissonovo číslo, předpokládá se pro všechny teploty hodnota 0,35 [2].

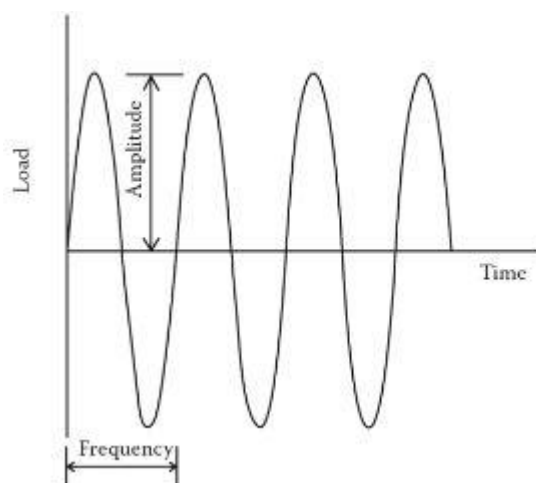
Po prvním měření se zkušební těleso vyjme ze zkušební zařízení a otočí se o $90^\circ \pm 10^\circ$ kolem horizontální osy a znovu se připevní ke zkoušení podle postupu výše popsaného. Zkouška a výpočet (rovnice 12) se opakuje stejně jako v předešlém kroku.

Průměrná hodnota modulu tuhosti z této zkoušky musí být v rozmezí +10% až -20% průměrné hodnoty zaznamenané pro první zkoušku. Pro tyto dvě zkoušky se vypočítá aritmetický průměr a zaznamená se jako modul tuhosti zkušební tělesa [2].



2.2.2 Zkouška cyklickým namáháním v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (CIT-CY)

Modul tuhosti asfaltových směsí se stanoví při sinusovém zatížení použitím zkoušky opakovaného namáhání v příčném tahu (CITT). Metoda je použitelná na zkušební tělesa tvaru válce vyrobená v laboratoři nebo odebrána vývrtem z vozovky. Během víceúrovňových zkoušek jsou na zkušební tělesa aplikovány různé teploty a zatěžovací frekvence za účelem stanovení hlavní křivky [2].

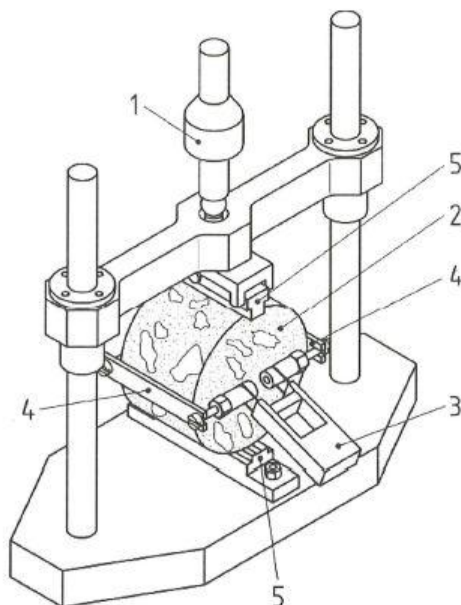


Obrázek 2.2.2.1 Sinusové (harmonické) zatížení [9]

Zkušební zařízení umožňuje sinusové zatěžování vzorku s požadovanou přesností. K zařízení je připojený počítač s příslušným softwarem pro měření a ukládání dat.

Měřicí systém k záznamu horizontální deformace zkušebního tělesa má zahrnovat minimálně 2 snímače přetvoření nebo 1 tenzometr, jenž je nutné připojit přímo ke zkušebnímu tělesu nebo ho přilepit k povrchu tělesa. Snímače přetvoření musí být umístěny centricky na plochu příčného řezu. Minimální měřicí rozsah pro snímače přetvoření musí být 4 mm (každý snímač přetvoření 2 mm) s přesností 0,1 μm . Třída přesnosti snímače přetvoření (minimálně 0,3) a extenzometru (minimálně 0,2) musí být příslušně zaznamenány v protokolu o zkoušce.

Za účelem stanovení Poissonova čísla a fázového úhlu může být navíc měřena vertikální deformace zkušebního tělesa snímači přetvoření, které musí být umístěny na horní zatěžovací pás. Jakékoliv měření na zatěžovacím válci nebo na zatěžovacích tyčích není dovoleno. Měřicí rozsah pro snímače přetvoření musí být minimálně 7 mm s přesností alespoň 1 μm . Pro přírůstek zatěžování je požadována měřicí jednotka. Měřicí rozsah má být 50 kN s přesností ± 50 N [2].



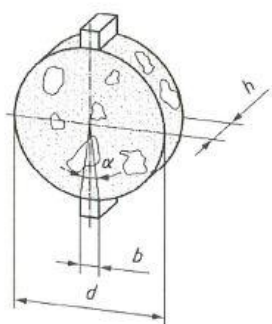
Obrázek 2.2.2.2 Zatěžovací pásy s extenzometrem – Měření horizontální deformace [2]

Legenda:

- 1 zatěžovací píst
- 2 zkušební těleso
- 3 extenzometr
- 4 deformační pásek
- 5 zatěžovací pásy

Zařízení je umístěno v dostatečně velké klimatizační komoře kde je udržována zkušební teplota s přesností $\pm 0,5$ °C při které se budou temperovat zkušební tělesa.

Záznamové a měřicí zařízení pro stanovení tlakové síly a horizontální deformace, které musí být schopno měřit alespoň 10 měřících bodů pro každý cyklus působení síly. Síla a přetvoření mohou být měřeny a zaznamenávány současně ve stejnou dobu. Jsou požadovány zkušební pásy s konkávní částí vyrobené z temperované oceli (doporučení: tvrdost podle Rockwella HRC 56 až 58). Poloměr zaoblení a šířka zatěžovacích pásů b má být vybrána v závislosti na poloměru zkušebního tělesa. Rozměry zatěžovacích pásů jsou uvedeny na obrázku 2.2.2.3. Horní a dolní zatěžovací pásy tvoří jednu rovinu. Zatěžovací pásy musí být upevněny k zatěžovacímu rámečku a zatěžovacímu pístu bez jakýkoliv závěsů.



	Zkušební těleso Ø 100 mm	Zkušební těleso Ø 150 mm
Zatěžovací pásy	$r = (50 \pm 1,0)$ mm $b = (12,7 \pm 0,2)$ mm délka $> h + 20$ mm	$r = (75 \pm 1,0)$ mm $b = (19,1 \pm 0,2)$ mm délka $> h + 20$ mm

Obrázek 2.2.2.3 Rozměry zatěžovacích pásů [2]

Příprava zkušební tělesa

Pro každou zkušební teplotu musí připravena ke zkoušení 4 zkušební tělesa. Další vzorky mohou být použity pro odhad požadovaných zatěžovaných podmínek. Válcová zkušební tělesa můžeme získat z laboratorně připravené desky z asfaltové směsi podle ČSN EN 12697 – 33. Druhým způsobem je získání z jádrového vrtu získaného z vozovky podle ČSN EN 12697 – 27. Vývrty musí být získány z vozovky pouze ve vertikálním směru. Jsou získané vývrty složeny z různých vrstev vozovky je potřeba separovat vrstvy řezáním.

Rozměry zkušebních těles musí splňovat hodnoty uvedené v tabulce 2.2.2.1. Výška a průměr zkušebních těles se měří podle ČSN EN 12697 – 29. Odchylka pravého úhlu by neměla být maximálně menší než 3°. Boční plocha zkušební tělesa musí mít povrch rovný. Poškozená tělesa se nezapočítávají do měření.

Tabulka 2.2.2.1 Rozměry zkušební tělesa [2]

Maximální velikost zrna mm	Průměr tělesa mm	Výška tělesa mm
≤ 16	100 ± 3	40 ± 2
> 16 to < 32	150 ± 3	60 ± 2
≥ 32	150 ± 3	90 ± 2

Postup zkoušky

Připravíme zkušební tělesa do klimatizační komory s kontrolovatelnou teplotou a dáme temperovat. Musí být vybrány minimálně 4 teploty -10 °C; 0 °C; 10 °C a 20 °C. Může se vybrat i více zkušebních teplot pokud je potřeba, ale musí být v rozmezí -10 °C až 20 °C. Zkušební teploty musí být v rozmezí ± 5 °C od cílové teploty. Po dosažení temperování zkušebních těles se správně usadí mezi zatěžovací pásy bez nadměrného pohybu tak, že dvě čela zkušebních těles jsou jmenovitě kolmá k zatěžovacímu pásu. Horní zatěžovací pás se umístí na vrchol zkušební tělesa tak, aby nedocházelo k nadměrnému pohybu. Seřídí se systém k měření horizontální



deformace. Snímač deformace LVDT se uchyťí k tělesu stejnoměrně a bezpečně k tělesu. Upínací svorky nesmí být utaheny tak, aby nedocházelo k nadměrnému namáhání.

Zkušební těleso je obvykle vystaveno síle ovládané harmonickým sinusovým zatížením bez doby klidu. Zkoušky musí být prováděny při konstantní síle a různé zatěžovací frekvenci minimálně v rozsahu mezi 0,1 Hz až 10 Hz (vhodněji 60 Hz) a určitém počtu zatěžovacích cyklů (viz tabulka 2.2.2.2) pro každé zkušební těleso a zkušební teplotu. Dolní úroveň napětí zkoušky musí být 0,035 MPa. Horní hranice zatížení musí být stanovený takovým způsobem, že počáteční horizontální napětí uprostřed zkušebního tělesa jsou v rozsahu mezi 0,05 ‰ až 0,10 ‰. Stanovení horní hranice zatížení následujícím způsobem může být použito pro všechny zkušební teploty. Během zkoušení bylo zabráněno jakémukoliv poškození zkušebních vzorků. Kontrola se provede pomocí aplikování stejných zkušebních podmínek pro první a poslední zkoušku. Pokud se výsledky liší o více jak 15 %, výsledky víceúrovňové zkoušky se nepoužijí. Použije se nové zkušební těleso [2].

Tabulka 2.1.2.2 Požadované cykly pro víceúrovňové zkoušky [2]

Zatěžovací frekvence	Počet zatěžovacích cyklů	Rozbor zatěžovacího cyklu
10 Hz	110	98 až 102
5 Hz	100	93 až 97
1 Hz	20	13 až 17
0,1 Hz	10	3 až 7

2.3 Zkoušky jednoosým tahem a tlakem

2.3.1 Zkouška jednoosým tahem a tlakem na válcových zkušebních tělesech (DTC – CY)

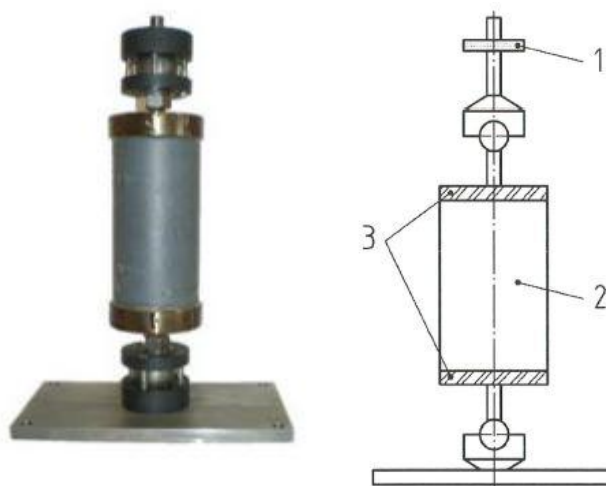
Sinusové přetvoření (rovnice 13) se vyvozuje na válcové zkušební těleso nalepené na dvě ocelové desky přišroubované k zatěžovacímu zařízení. Maximální přetvoření (amplituda) ε_0 má být $\leq 25 \times 10^{-6}$, aby zkouška probíhala v lineární oblasti namáhání asfaltových směsí. Na základě měřené síly F_0 a fázového úhlu φ , se vypočítá komplexní modul při různých teplotách a frekvencích.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \times \sin(\omega \times t) \quad (13)$$

Kde: ε použité přetvoření, v $\mu\text{m}/\text{mm}$;
 ε_0 maximální přetvoření, v $\mu\text{m}/\text{mm}$;
 ω úhlová rychlost, ve stupních ($^\circ$);
 t doba zatěžování, v s;

[2]

Zařízení umožňuje vyvození sinusové dynamické deformace, v rozmezí frekvencí od 0,1 Hz až 20 Hz, je umístěno do termostatické komory s udržovatelnou rovnoměrnou teplotou vzduchu proudícího v blízkosti zkušebních těles s přesností $\pm 0,5$ °C. Snímač síly se schopností měřit sílu v rozmezí 1 N až 6000 N s přesností 5% mezi 1 N a 200 N a zařízení měří fázový úhel, s přesností $\pm 1^\circ$.



Obrázek 2.3.1.1 Zařízení pro zkoušku DTC – CY [2]

Legenda

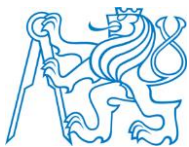
- 1 snímač síly
- 2 zkušební těleso
- 3 nalepené ocelové desky

Příprava zkušebních těles

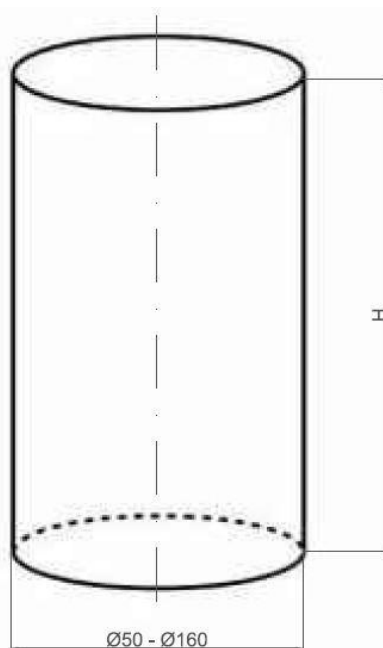
Zkušební tělesa musí být ve tvaru kolmého válce (viz obrázek 2.3.1.2) získaných jádrovým vývrtem nebo z výřezem desek vyrobených v laboratoři podle ČSN EN 12697 – 33 nebo gyrátorem podle ČSN EN 12697 – 31. Rozměry zkušebního tělesa jsou definovány:

- Průměr (\varnothing) 50 mm až 160 mm, zároveň musí být průměr větší nebo roven čtyřnásobku D (jmenovitá velikost zrna), měření by mělo mít maximální odchylku $\pm 0,5$ mm;
- Délka (H) mezi 1,8 násobkem a 3 násobkem průměru zkušebního tělesa.

Na každé zkušební těleso se nalepí na obou koncích ocelové desky. Pro dobré osazení zkušebního tělesa musí mít na koncích kulový kloub správnou polohu. Po dosažení správné polohy se musí omezit otáčení kulových kloubů. Osa válce musí být různoběžná s osou pohybu hutničního zařízení. Na horní desku je povolen pouze pohyb jednoosým zatěžováním v tahu a tlaku. Spodní deska se musí připevnit k rámu



a na horní desku se vyvozuje sinusové přetvoření. Pro každou asfaltovou směs se musí provést nejméně 4 opakování [2].



Obrázek 2.3.1.2 Rozměry zkušebního tělesa

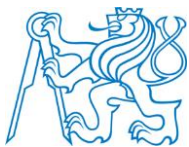
Postup zkoušky

Zkušební tělesa musí být před zkouškou uskladněna po dobu dvou týdnů až dvou měsíců. Pro každou danou zkušební teplotu musí být zkušební tělesa umístěna do klimatizační komory s udržovatelnou teplotou a nechat temperovat po dobu nejméně 4 hodiny. Zkouška začíná při nejnižší teplotě. Zkušební těleso se vystaví sinusovému přetvoření s amplitudou $\epsilon_0 \leq 25$ mikrostrain. Komplexní modul tuhosti se stanovuje pro zadanou teplotu a zadanou frekvenci. Pro stanovení hlavní křivky musí se komplexní modul stanovit nejméně na 4 teplotách odstupňovaných o ne více než 10 °C a pro každou teplotu při nejméně 3 frekvencích rovnoměrně rozložených rovnoměrně na logaritmickém měřítku s minimálním poměrem 10 mezi extrémními frekvencemi. Většinou se používají 4 teploty 10 °C; 20 °C; 30 °C; 40 °C a šest frekvencí 0,1 Hz; 0,3 Hz; 1,0 Hz; 3,0 Hz; 10 Hz a 20 Hz [2].

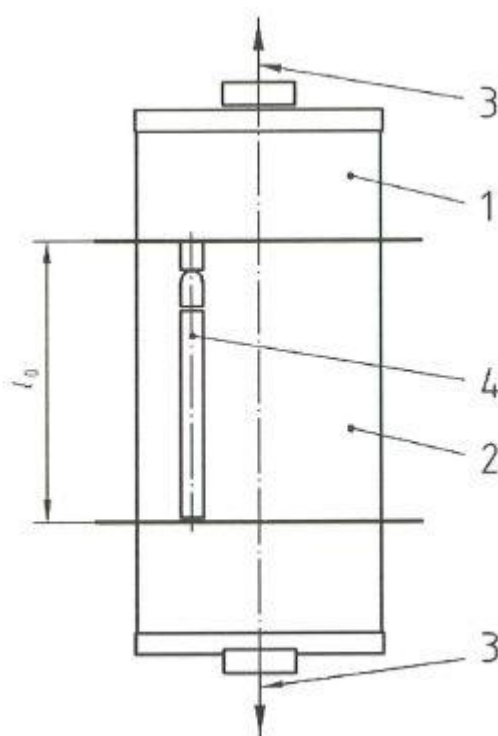
2.3.2 Zkouška v přímém tahu na válcových zkušebních tělesech (DT – CY)

Zkouška spočívá ve vystavení zkušebního tělesa jednoosému zatížení v tahu při daných teplotách a dobách zatěžování podle zákona o monotónním zatěžování a nárůstu poměrné deformace a ; t . Zkušební těleso se musí stabilizovat před a po každé části zkoušky.

Zařízení se skládá z několika částí pro zatěžování v tahu, umožňující aplikaci deformace, která se zvyšuje s lineárním nárůstem, $z = a$; t . Obsahuje měřicí zařízení, snímač síly se schopností měřit sílu s přesností 5 % mezi 50 N až 200 N, a 1% nad 200 N. Dále průtahoměr zahrnující tři snímače pro měření deformace nastavené po



120°, oblast měření je mezi 45 mm a 205 mm. Délka oblasti měření (l_0) musí být známa s přesností na 1 mm. Prodloužení (Δl) se měří s přesností $\pm 1 \mu\text{m}$. Po přechodné době musí být chyby linearity použitých deformačních zákonů menší než $0,3 \mu\text{m}$. Přechodná doba je dobou od zahájení zkoušky do dosažení deformace $1,5 \mu\text{m}$. Na krajích jsou umístěna upevňovací zařízení se schopností spojit dané části na koncích zkušebního tělesa tak, že se setkají jejich odpovídající osy. Poslední část je termostatická komora s udržovatelnou zkušební teplotou s přesností $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ v jednom bodě umístěném uprostřed oblasti měření s maximální vzdáleností 30 mm od zkušebního tělesa v přední části komory. Pro teploty $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ musí být maximální rozsah teplot měřených na nejméně čtyřech bodech situovaných na okraji zkušebního tělesa nižší než $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [2].



Obrázek 2.3.2.1 Zařízení DT – CY [2]

Legenda

1	Vzorek	3	síla
2	oblast měření	4	snímač

Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa musí být ve tvaru kolmého válce (viz obrázek 2.3.1.2) získaných jádrovým vývrtem nebo z výřezem desek vyrobených v laboratoři podle ČSN EN 12697 – 33 nebo gyrátorem podle ČSN EN 12697 – 31. Rozměry zkušebního tělesa jsou definovány:



- Průměr (ϕ) 50 mm až 160 mm, zároveň musí být průměr větší nebo roven čtyřnásobku D (jmenovitá velikost zrna), měření by mělo mít maximální odchylku $\pm 0,5$ mm;
- Délka (H) mezi dvojnásobkem a trojnásobkem průměru zkušební tělesa.

Zkušební těleso odebrané z vozovky nebo z desek vyrobených z laboratoří musí být osa rovnoběžná s osou pohybu hutního zařízení. Pro každou asfaltovou směs se musí zkouška nejméně 4krát opakovat [2].

Postup zkoušky

Stabilizuje se zkušební těleso. Před sérií zatěžování se zkušební těleso dá temperovat na danou teplotu po dobu minimálně 4 hodiny do klimatizační komory s přesností ± 1 °C pro zkušební tělesa o průměru nebo šířce menší nebo rovno 100 mm a pro jiné případy musíme nechat temperovat minimálně na 8 hodin. Zkušební komora musí být udržována ve zkušební teplotě minimálně 4 hodiny před zahájením prvního měření. Zkušební tělesa se osadí do zkušebního zařízení, během osazování nesmí vyvozené zatížení překročit 100 N. Zkušební tělesa se musí ponechat bez působení napětí nejméně po dobu 30 minut. Zkušební tělesa se musí ponechat bez posunu zkušebního zařízení po dobu nejméně 60 minut pro zkušební teploty nižší než -5 °C a po dobu nejméně 30 minut pro ostatní zkušební teploty. Po zkoušce daného prvku se musí deformace zrušit vyvozením zatížení tlaku, které se rovná nebo je nižší než 300 N. Zkušební tělesa se udržují bez jednoosého zatěžování po dobu nejméně 100 s.

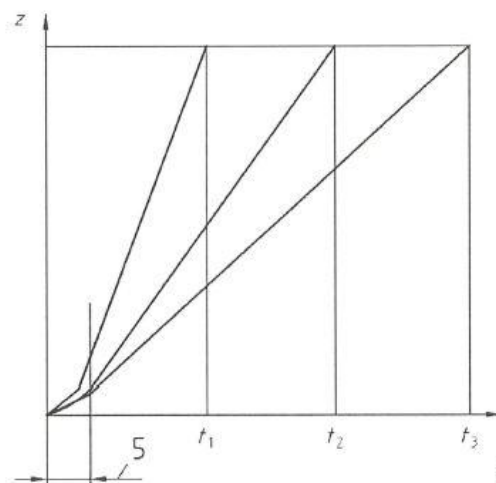
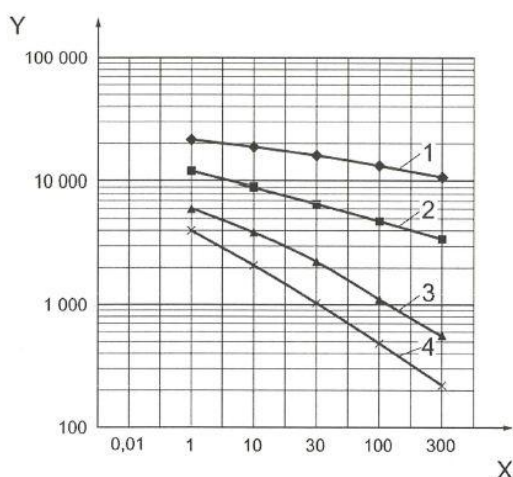
Zkouška prvku se definuje volbou:

- Zkušební teploty Θ_j ;
- Úrovně alternativní deformace;
- Dobou zatěžování t_i (s přesností 2%).

Zkouška prvku se provede při napětí σ (t_i , Θ_j) stanovené pro deformaci ϵ_j .

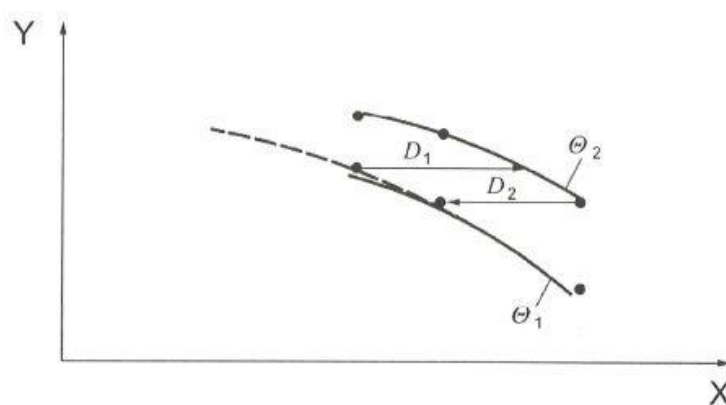
Odvození hlavní křivky, izoterm pro jednu zkušební teplotu jsou zapotřebí minimálně 4 doby zatěžování a pro další zkušební teploty nejméně 2 doby zatěžování (viz obrázek 2.3.2.2). Hodnoty tuhosti se znázorňují v logaritmickém měřítku ve formě izoterm tuhosti jako funkce dob zatěžování, a to podle zásad v ČSN EN 12697 – 26, příloha G použitím doby zatěžování místo frekvence. Při stálé teplotě se musí hlavní křivka vytvořit posunem izoterm zakreslených při dalších teplotách přesně podél stupnice doby zatížení. Faktor posunu mezi izotermou při teplotě Θ_1 a izotermou při teplotě Θ_2 se stanoví výpočtem, jak je uvedeno na obrázku 2.3.2.4, aby se dosáhlo nepřetržité křivky při požadované teplotě.

[2]



Obrázek 2.3.2.2 Příklad y izoterm při 15 °C

Obrázek 2.3.2.3 Podstata zkoušky DT – CY



Obrázek 2.3.2.4 Určení faktoru posunu

[2]

Legenda

Y	tuhost, v MPa;	4	+15 °C;
X	doba zatěžování, v s;	5	Doba přechodu
1	-0,5 °C;		
2	0 °C;		
3	+10 °C;		



2.3.3 Zkouška v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku (DT – PR)

Metoda pro měření modulu tuhosti asfaltové směsi zkouškou v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku, má stejný postup jako metoda zkoušky na válcových zkušebních tělesech viz kapitola 2.3.2. Liší se pouze přípravou zkušebních těles.

Zkušební těleso tvaru trámečku se získá výřezem z desek odebraných z vozovky nebo vyrobených v laboratoři podle ČSN EN 12697 – 33.

Rozměry zkušebních těles musí mít:

- Obdélníkovou část s hranami 20 mm až 100 mm a vyšší než dvojnásobek D (jmenovité velikosti zrna kameniva). Delší strana musí být alespoň 1,7 násobkem kratší strany obdélníkové části. Tolerance na stranách oblasti měření musí být $\pm 0,5$ mm.
- Délku (H) mezi 1,8 násobkem a 3 násobkem delší strany obdélníkové části.

Osa trámečku musí být rovnoběžná s osou pohybu hutnicího zařízení [2].



3 Výroba zkušebních tělech

3.1 Výroba asfaltových směsí

První receptura VMT 22 obsahuje, množstevní složení jednotlivých složek odpovídalo následující tabulce:

Tabulka 3.1.1 Složení Směsi A

Směs A	
Litice 16/22	19,0%
Litice 8/16	23,7%
Litice 4/8	16,1%
Litice 2/4	12,3%
Litice 0/2	19,0%
JMV	4,7%
Pojivo AZALT 30/45	5,2%
Celkem	100,0%

Nejprve se dalo nahřát kamenivo a pojivo v laboratorní peci na 160 °C po dobu minimálně 2 hodiny. Během nahřátí kameniva a pojiva byla zapnuta laboratorní míchačka a teplota nastavena na 160 °C.

Po několika hodinách, kdy se míchačka nahřála na požadovanou teplotu, do ní bylo vloženo kamenivo a spuštěn první cyklus (180 sekund) míchacího programu. Když se program ukončil, bylo do bubnu míchačky odměřeno požadované množství pojiva a spuštěno opět míchání. Dále se přidal filer (JMV) a spustil se poslední cyklus míšení. Před další prací se pro jistotu celá směs ještě jednou promíchala ručně lopatkou.



Obrázek 3.1.1 Laboratorní míchačka



Druhá receptura SMA byla převzata od ing. Pavly Vackové, množstevní složení jednotlivých složek odpovídalo následující tabulce:

Tabulka 3.1.2 Složení Směsi B

Směs B %	
Litice 8/11	49,0%
Litice 4/8	18,8%
Litice 2/4	4,7%
Litice 0/2	11,3%
JMV	10,4%
Pojivo 50/70	5,8%
S CEL	0,3%
Celkem	100,3%

Postup výroby asfaltové směsi B je stejný jako u směsi A s menšími rozdíly. Výrobní teplota se změní ze 160 °C na 155 °C. Při míchání směsi v laboratorní míchačce se přidá přísada S CEL (vláknitý granulát pro silniční stavitelství s přísadou speciálního vosku).

3.2 Hutnění těles Marshallovým pěchem

Po navážení se ocelová s miska s navážkou umístila do laboratorní pece, kde se temperovala na teplotu hutnění 160 °C pro směs A, a/nebo na teplotu hutnění 155 °C pro směs B. Po vytemperování byla asfaltová směs hutněná v předehřáté válcové formě o průměru $101,5 \pm 0,1$ mm Marshallovým pěchem (viz obrázek 2.2.1.5), hutnění zkušebních těles odpovídalo normě ČSN EN 12697 – 30+A1. Pro směs A bylo hutněno 2 x 75 úderů a pro směs B bylo hutněno 2 x 50 úderů.

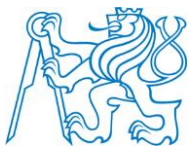
Po dokončení hutnění se forma s horkými zkušebními tělesy nechala vychladnout. Následně se označili pro pozdější identifikaci a poté byly z formy vysunuty hydraulickým lisem. Tímto způsobem bylo vyrobeno 20 zkušebních od každé směsi.

3.3 Stanovení objemové hmotnosti

Norma ČSN EN 12697 – 6+A1 uvádí několik různých postupů, jak se dá měřit. V tomto případě se použil postup B: Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD) a postup D: Objemová hmotnost podle rozměrů.

3.3.1 Postup

U objemové hmotnosti – nasycenému suchému povrchu (SSD) byla nejdříve zjištěna hmotnost suchého zkušebního tělesa (m_1), následně bylo těleso ponořeno do kádě s vodou. V kádi se těleso nechalo nasytit vodou alespoň 30 minut. Teplota vody byla změřena a stanovena hustota vody (ρ_w) dle Tabulky 1 – Hustota vody z ČSN EN 12697 – 6+A1 na straně 9. Dále bylo zváženo ponořené a nasycené těleso (m_2). Poté



se těleso vyjmulo z vody a povrchově osušilo vlhkou jelenicí, ihned poté se těleso opět zvažilo, pro zjištění hmotnosti tělesa nasyceného vodou (m_3).

Postup D: Objemová hmotnost podle rozměrů se prováděla odměřením rozměrů zkušební tělesa posuvným měřítkem s přesností na 0,01 mm a změřením hmotnosti suchého tělesa (m_1) [10].

Pro měření rozměrů zkušebních těles je napsána samostatná norma ČSN EN 12697 – 29. V této práci se jednalo o válcovitá zkušební tělesa. Výška se změřila na čtyřech místech rovnoměrně od sebe vzdálených po obvodu. Konečná hodnota výšky je definována jako průměr všech čtyř měření. Dále byl měřen průměr a to na horní a dolní části vždy dvakrát ve směrech na sebe kolmých [3].

3.3.2 Výpočet

Objemová hmotnost SSD (ρ_{bssd}) se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w \quad [kg/m^3] \quad (14)$$

Kde: m_1 je hmotnost suchého tělesa v g;
 m_2 hmotnost tělesa ve vodě v g;
 m_3 hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného v g;
 ρ_w hustota vody při zkušební teplotě stanovená s přesností na 0,1 kg/m³.

Objemová hmotnost podle rozměrů válcového tělesa ($\rho_{b,dim}$) se vypočítala podle vzorce následujícího:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^6 \quad [kg/m^3] \quad (15)$$

Kde: m_1 je hmotnost suchého tělesa v g;
 h výška zkušební tělesa v mm;
 d průměr zkušební tělesa v mm.

[3]

3.4 Výroba trámečků

Po stanovení objemové hmotnosti (viz kapitola 3.3.2) z Marshallových těles se stanoví navážka na výrobu desky 305 × 405 × 50 mm, z které se nařezou trámečky 50 × 50 × 405 mm. Po výrobě asfaltové směsi (viz kapitola 3.1) se složí forma na výrobu desky. Temperovaná směs na danou teplotu se nasype do formy a pořádně rozprostře podél celé formy, aby nebyli nikde dutiny pro lepší zhutnění. Připravenou formu se směsí dáme do segmentového zhutňovače (viz obrázek 2.1.3.3) a spustíme program o 4 cyklech.



Po dokončení hutnění se forma s horkou směsí nechala vychladnout. Následně se deska vyndala z formy vyklepáním a připravila k nařezání. Trámečky se řezali od středu. Tímto způsobem bylo vyrobeno 5 trámečků od každé směsi.



4 Stanovení modulů tuhostí

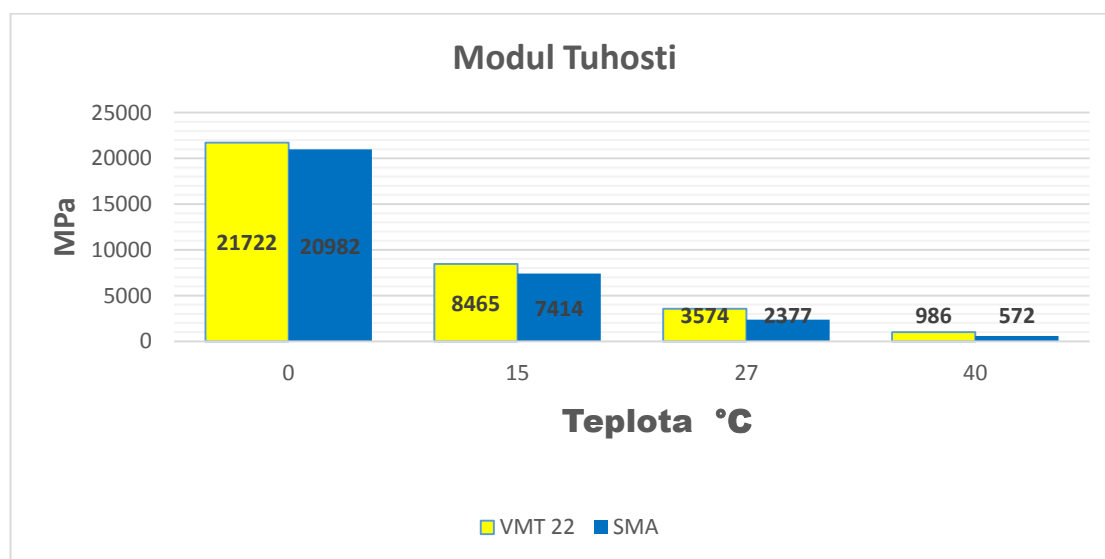
4.1 Měření v příčném tahu na válcových tělesech IT – CY

Zkouška byla provedena, jak je uvedeno v kapitole 2.2.1 v postupu zkoušky na zařízení NAT (viz obrázek 2.2.1.1), a v souladu s normou ČSN EN 12697 – 26. Každé měření obsahovalo od každé směsi 10 těles o průměru $101,5 \pm 5$ mm a výšce 65 ± 5 mm, temperované na danou teplotu. Zkoušky měření tuhostí byli prováděny za teplot $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $27\text{ }^{\circ}\text{C}$; $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, a také za $1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $16\text{ }^{\circ}\text{C}$; $28\text{ }^{\circ}\text{C}$; $41\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bylo měřeno za horizontální deformace $5\text{ }\mu\text{m}$. V Další měření byla změna horizontální deformace na $3\text{ }\mu\text{m}$ při teplotách $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Stanovení modulu tuhosti při teplotách $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $27\text{ }^{\circ}\text{C}$; $40\text{ }^{\circ}\text{C}$:

Tabulka 4.1.1 Výsledky modulů tuhostí při teplotách $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $27\text{ }^{\circ}\text{C}$; $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

přehled	teplota $^{\circ}\text{C}$	Modul tuhosti MPa	Deform. μm
VMT 22	0	21722	5,0
	15	8465	5,0
	27	3574	5,0
	40	986	5,0
SMA	0	20982	5,0
	15	7414	5,0
	27	2377	5,0
	40	572	5,0



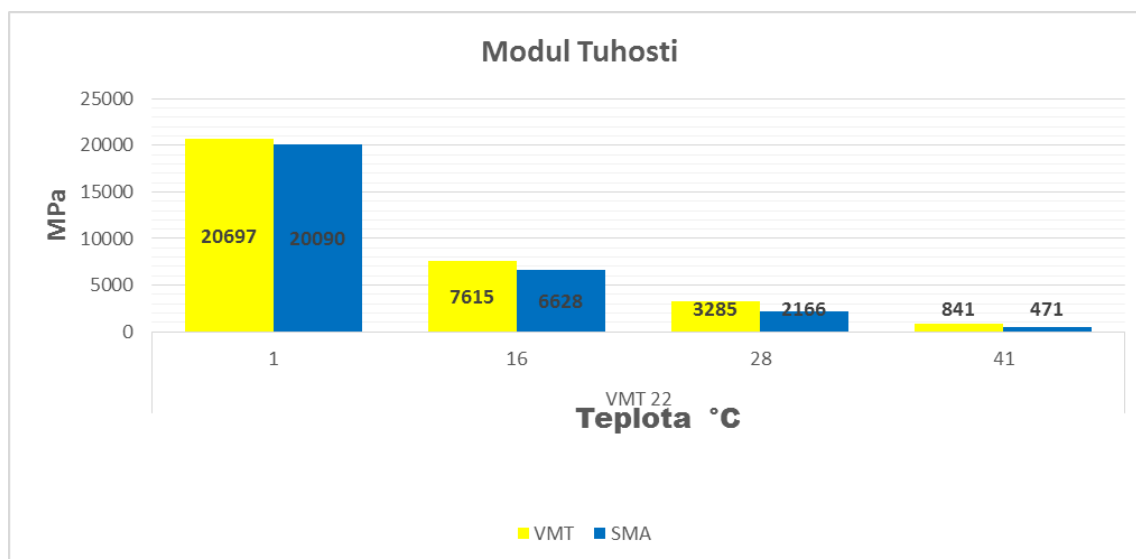
Obrázek 4.1.1 Modul tuhosti při teplotách $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $27\text{ }^{\circ}\text{C}$; $40\text{ }^{\circ}\text{C}$



Stanovení modulu tuhosti při teplotách 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C:

Tabulka 4.1.2 Výsledky modulů tuhostí při teplotách 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C

přehled	teplota °C	Modul tuhosti MPa	Deform. μm
VMT 22	1	20697	5,0
	16	7615	5,0
	28	3285	5,0
	41	841	5,0
SMA	1	20090	5,0
	16	6628	5,0
	28	2166	5,0
	41	471	5,0

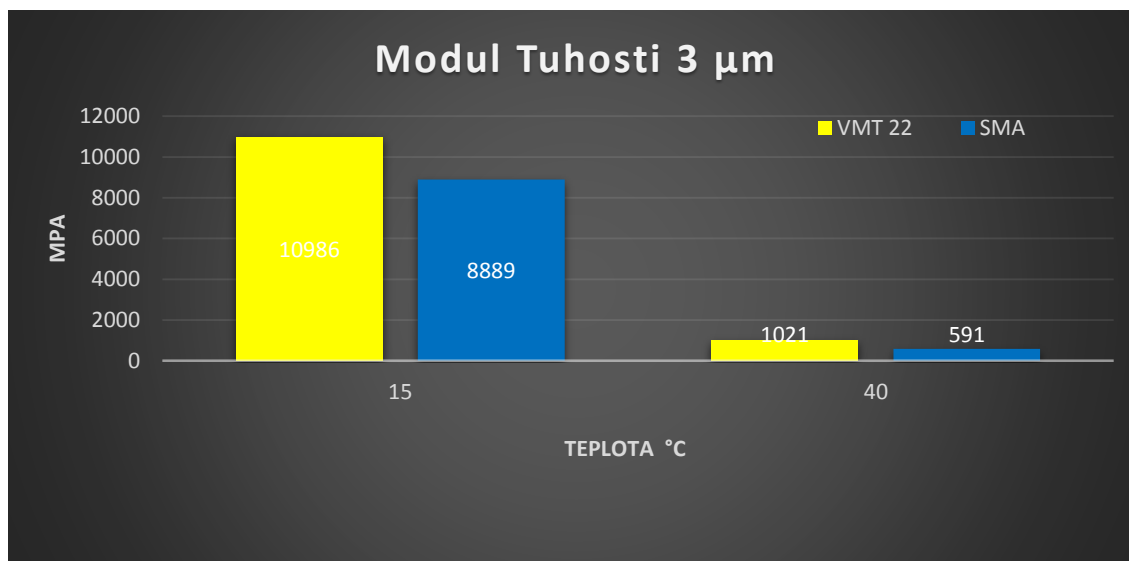


Obrázek 4.1.2 Modul tuhosti při teplotách 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C

Stanovení modulu tuhosti při změně horizontální deformace z 5μm na 3μm při teplotách 15 °C a 40 °C:

Tabulka 4.1.3 Výsledky modulů tuhostí při horizontální deformaci 3μm.

přehled	teplota °C	Modul tuhosti MPa	Deform. μm
VMT	15	10986	3,0
	40	1021	3,0
SMA	15	8889	3,0
	40	591	3,0

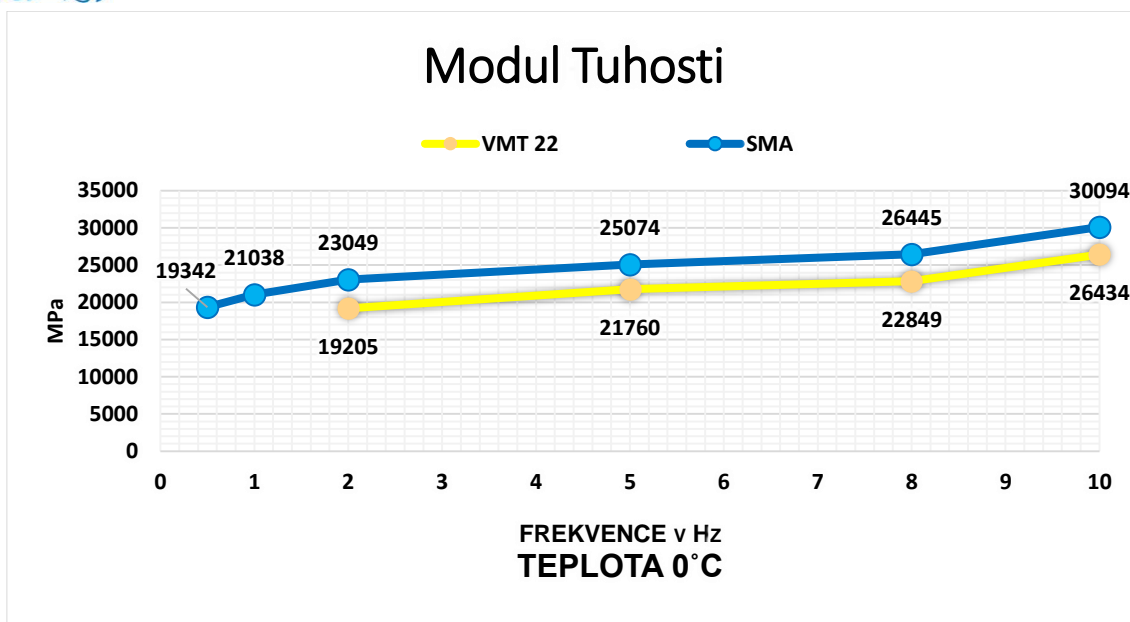
Obrázek 4.1.3 Modul tuhosti při horizontální deformaci 3 μm

4.2 Měření za ohybu na trámcích 4PB – PR

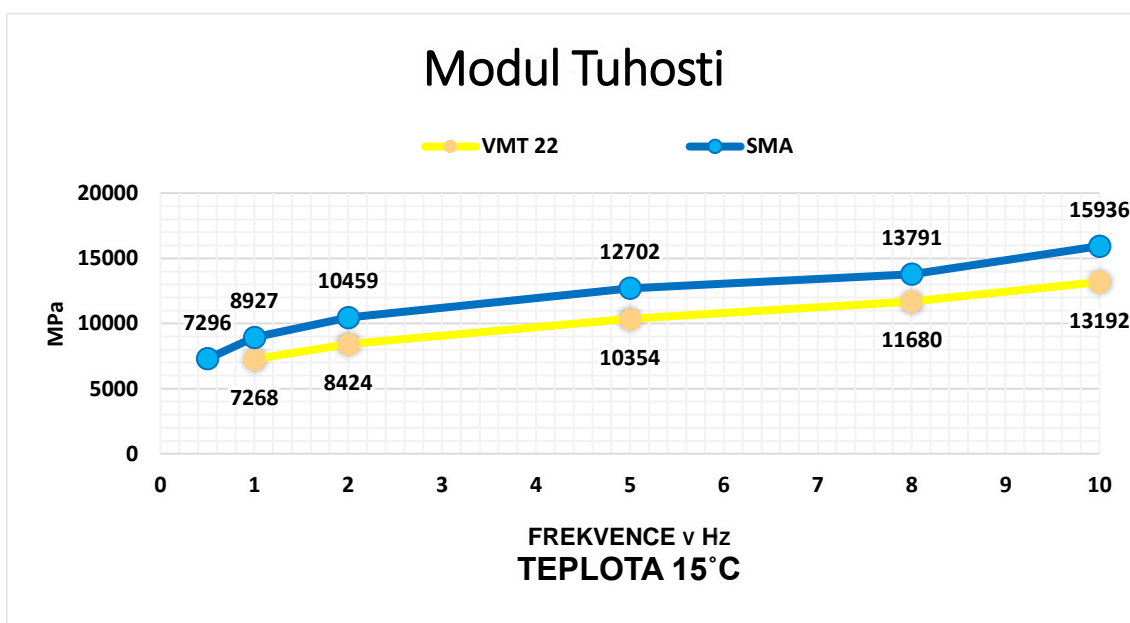
Zkouška byla provedena, jak je uvedeno v kapitole 2.1.3 v postupu zkoušky na zařízení 4PB (viz obrázek 2.1.3.3), a v souladu s normou ČSN EN 12697 – 26. Většinu měření obsahovalo 5 zkušebních těles od každé směsi o šířce 50 ± 5 mm, výšce 50 ± 5 mm a délce 405 ± 1 mm, temperované na danou teplotu. Kvůli nefunkčnosti programu pro měření modulů tuhostí, se měřila tělesa na únavu pomocí programu BEAM-FLEX (viz obrázek 2.1.3.4) a brali se pouze hodnoty tuhostí při daných frekvencích. Měření se dělalo za určitých teplot a frekvencí. Měřilo se za teplot 0 °C ; 15 °C ; 27 °C ; 40 °C a 16 °C , a při frekvencích 0,1 Hz; 0,5 Hz; 1 Hz; 2 Hz; 5 Hz; 8 Hz; 10 Hz. Po všech daných měření se určili moduly tuhostí.

Tabulka 4.2.1 Výsledky modulů tuhostí

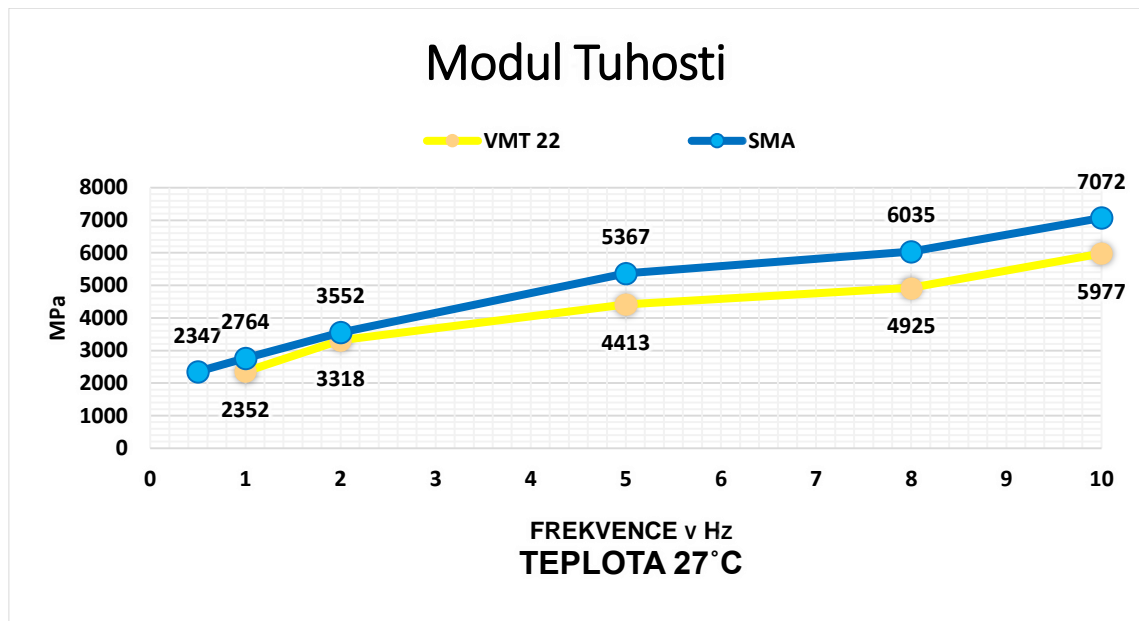
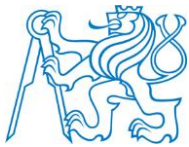
	Frekvence Hz						
	0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
VMT 22 směs A							
Teplota °C							
0 °C	-	-	-	19205	21760	22849	26434
15 °C	-	-	7268	8424	10354	11680	13192
27 °C	-	-	2352	3318	4413	4925	5977
40 °C	-	916	1101	1465	1885	2112	2273
16 °C	-	-	6593	7960	9903	10649	12738
SMA směs B							
Teplota °C							
0 °C	-	19342	21038	23049	25074	26445	30094
15 °C	-	7296	8927	10459	12702	13791	15936
27 °C	-	2347	2764	3552	5367	6035	7072
40 °C	543	927	1250	1833	2271	2338	2465
16 °C	-	6527	7890	9228	11366	12394	14616



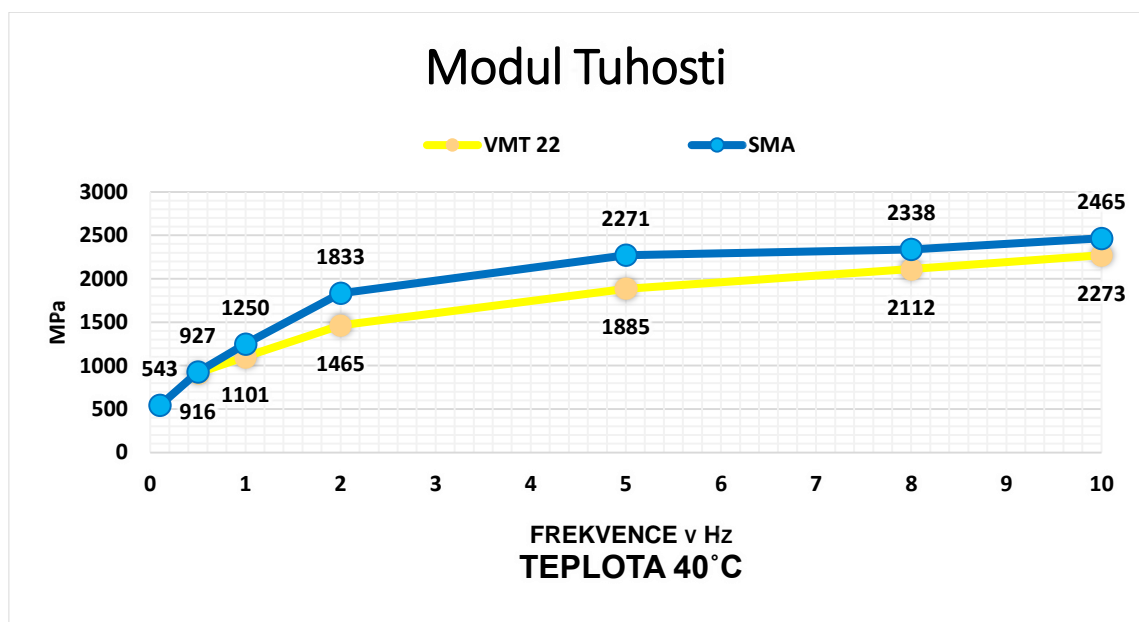
Obrázek 4.2.1 Modul tuhosti při teplotě 0 °C



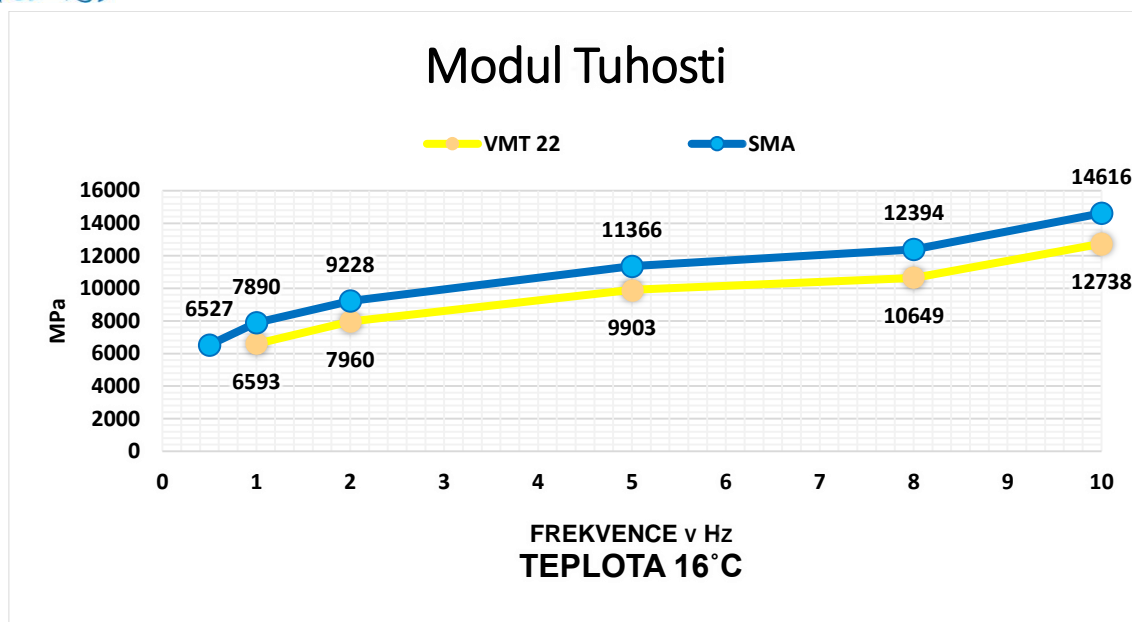
Obrázek 4.2.2 Modul tuhosti při teplotě 15 °C



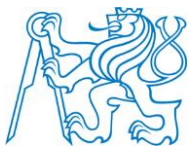
Obrázek 4.2.3 Modul tuhosti při teplotě 27 °C



Obrázek 4.2.4 Modul tuhosti při teplotě 40 °C



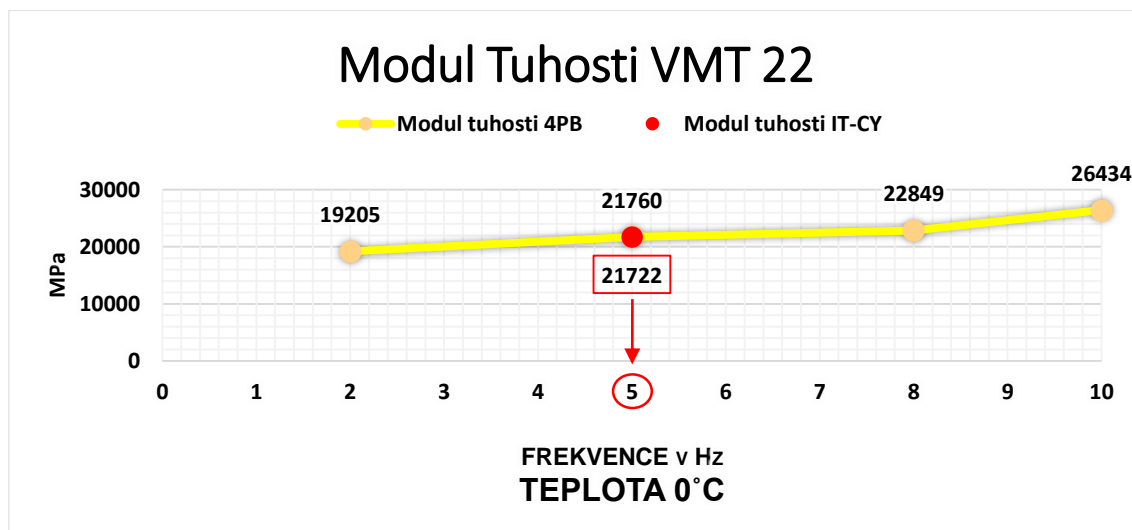
Obrázek 4.2.5 Modul tuhosti při teplotě 16 °C



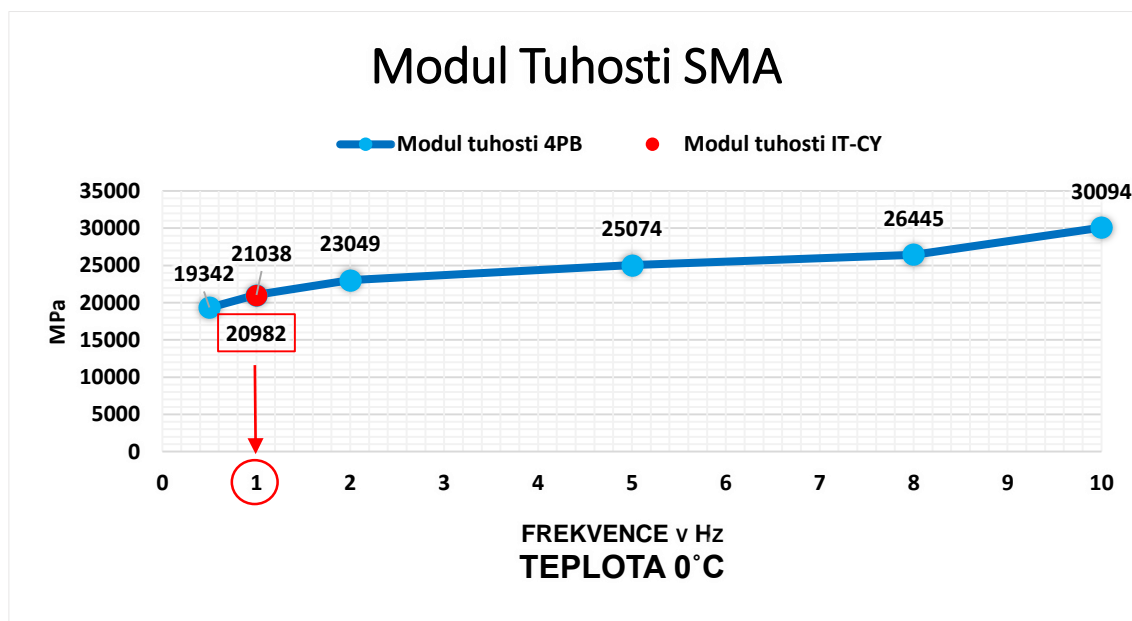
5 Srovnání naměřených modulů tuhostí

5.1 Porovnání měření mezi IT – CY a 4PB – PB

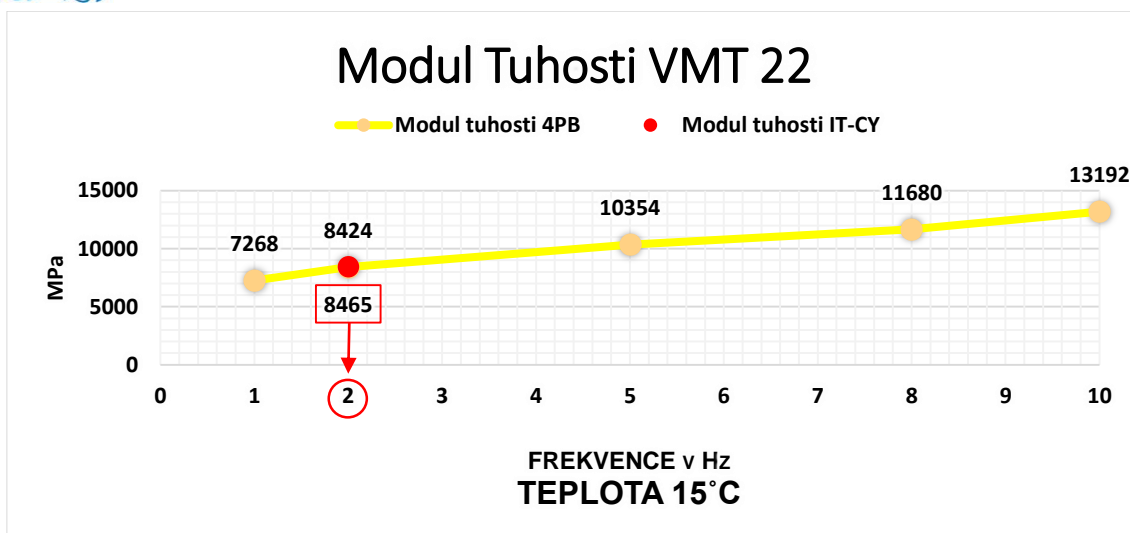
V tomto případě se porovnávali moduly tuhostí obou směsí z měření na zařízení NAT (IT – CY) a na zařízení 4PB – PR. Podle modulů tuhostí naměřených z metody IT – CY se hledalo u metody 4PB – PR, za jaký frekvence se shodují moduly tuhostí za daných teplot. Frekvence se zjišťovali za teplot 0 °C; 15 °C; 27 °C; 40 °C a 16 °C.



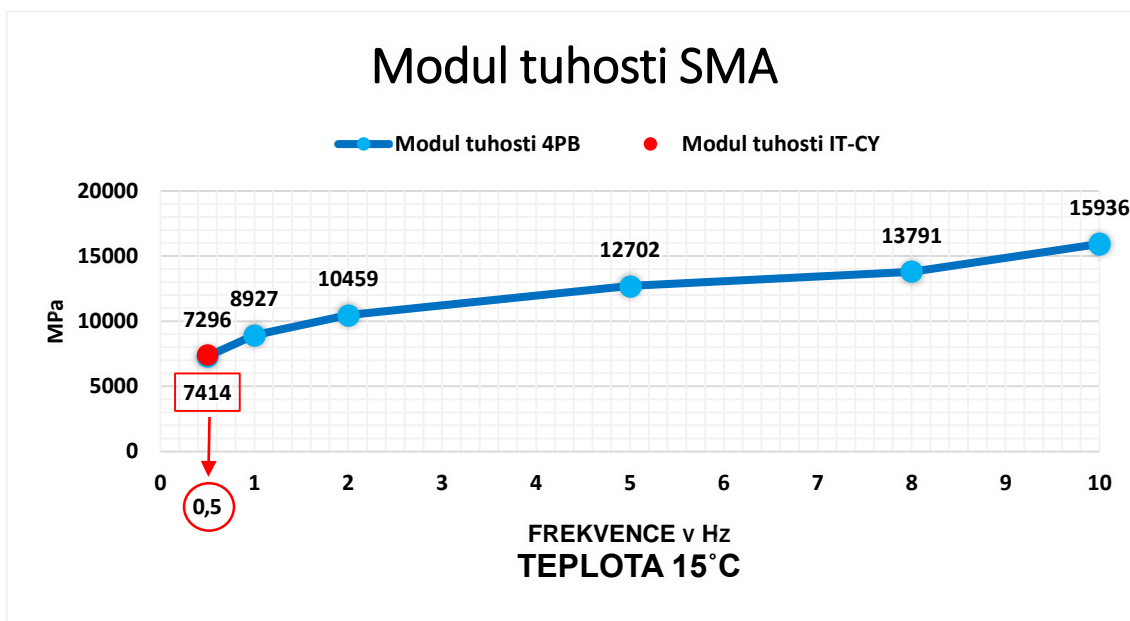
Obrázek 5.1.1 Výsledná frekvence 5,0 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 0 °C



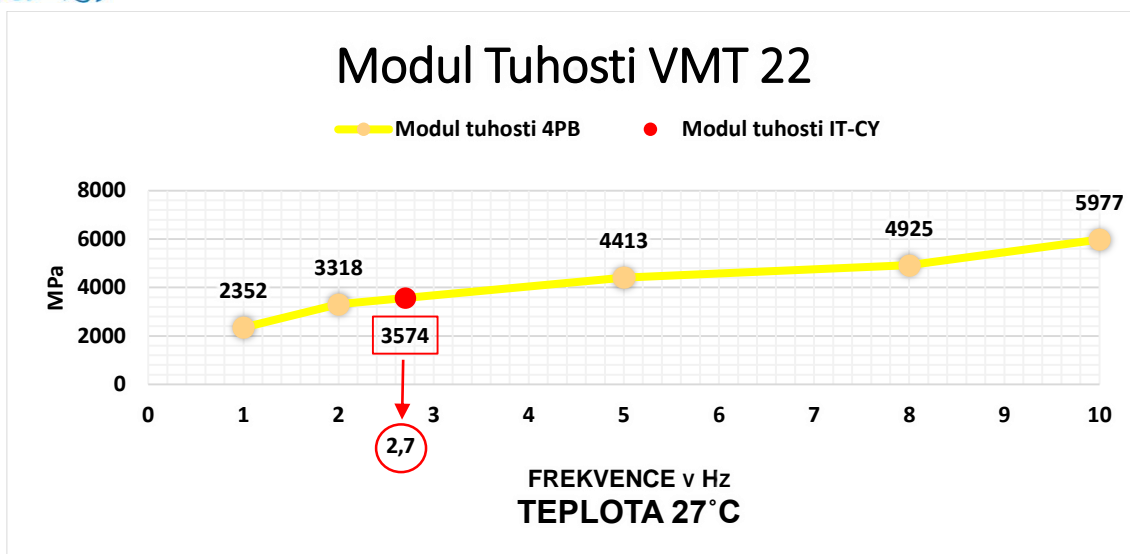
Obrázek 5.1.2 Výsledná frekvence 1,0 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 0 °C



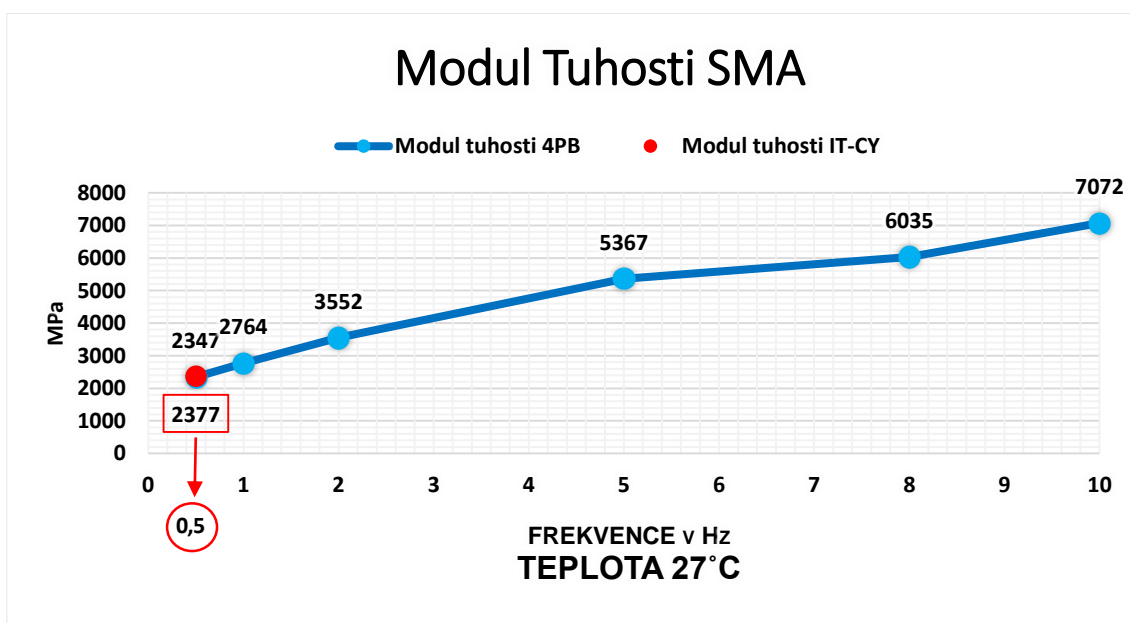
Obrázek 5.1.3 Výsledná frekvence 2,0 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 15 °C



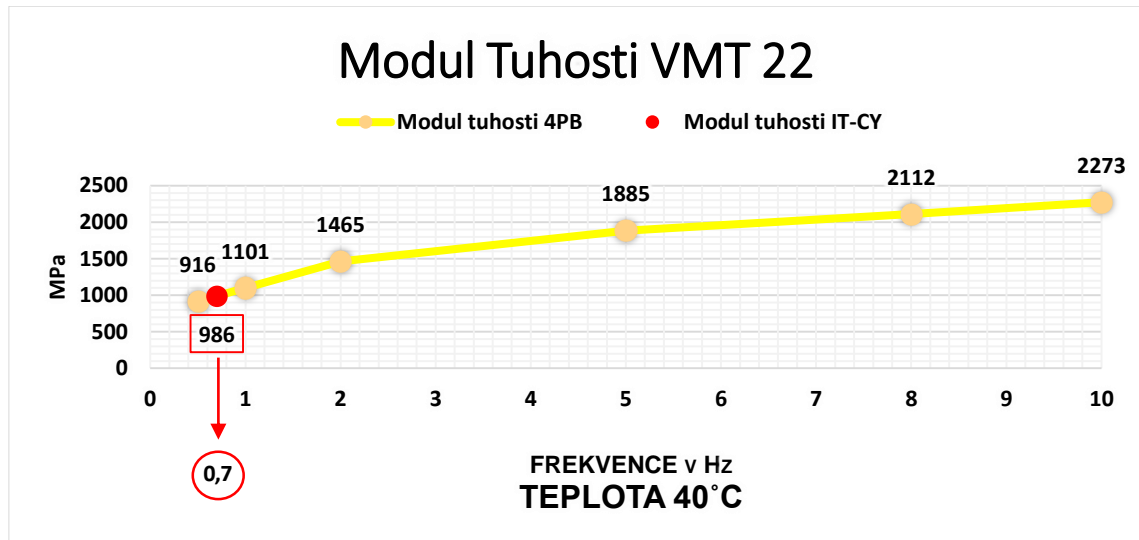
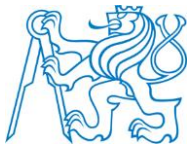
Obrázek 5.1.4 Výsledná frekvence 0,5 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 15 °C



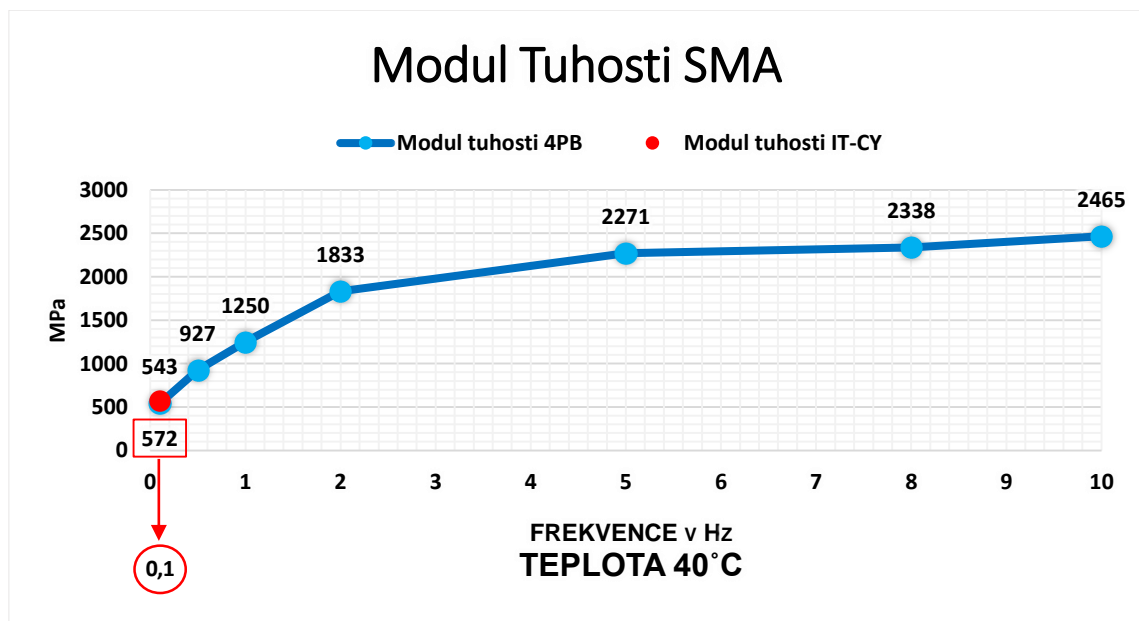
Obrázek 5.1.5 Výsledná frekvence **2,7 Hz** pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C



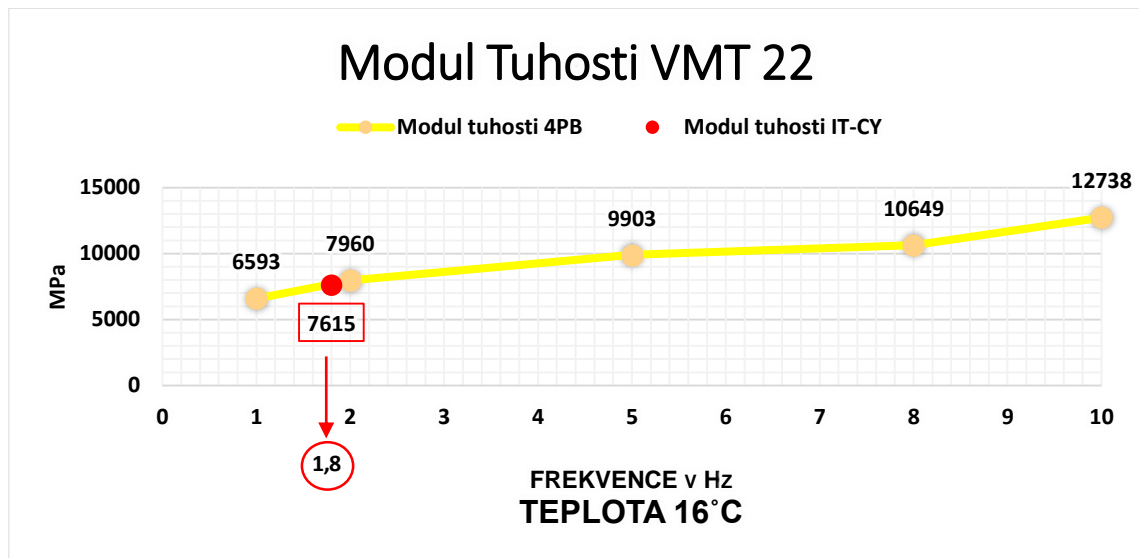
Obrázek 5.1.6 Výsledná frekvence **0,5 Hz** pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C



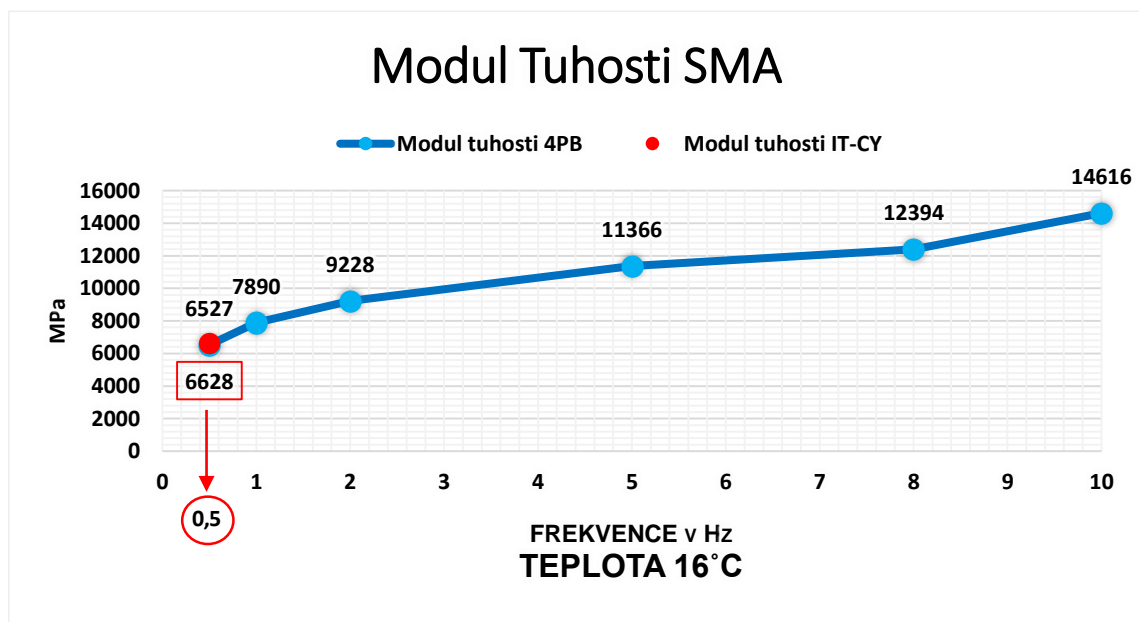
Obrázek 5.1.7 Výsledná frekvence **0,7 Hz** pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C



Obrázek 5.1.8 Výsledná frekvence **0,1 Hz** pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C



Obrázek 5.1.9 Výsledná frekvence 1,8 Hz pro zjištění modul tuhosti při teplotě 16 °C



Obrázek 5.1.10 Výsledná frekvence 0,5 Hz pro zjištění modul tuhosti při teplotě 16 °C



Tabulka 5.1.1 Výsledný moduly tuhostí a frekvence směsi A

VMT 22	IT - CY	4PB - PR		
Teplota	Modul tuhosti	Modul tuhosti	Průměr	Frekvence
°C	MPa	MPa	MPa	Hz
0	21722	21760	21741	5,0
15	8465	8424	8445	2,0
27	3574	3574	3574	2,7
40	986	990	988	0,7
16	7615	7687	7651	1,8

Tabulka 5.1.2 Výsledný moduly tuhostí a frekvence směsi B

SMA	IT - CY	4PB - PR		
Teplota	Modul tuhosti	Modul tuhosti	Průměr	Frekvence
°C	MPa	MPa	MPa	Hz
0	20982	21038	21010	1,0
15	7414	7296	7355	0,5
27	2377	2347	2362	0,5
40	572	543	558	0,1
16	6628	6527	6578	0,5

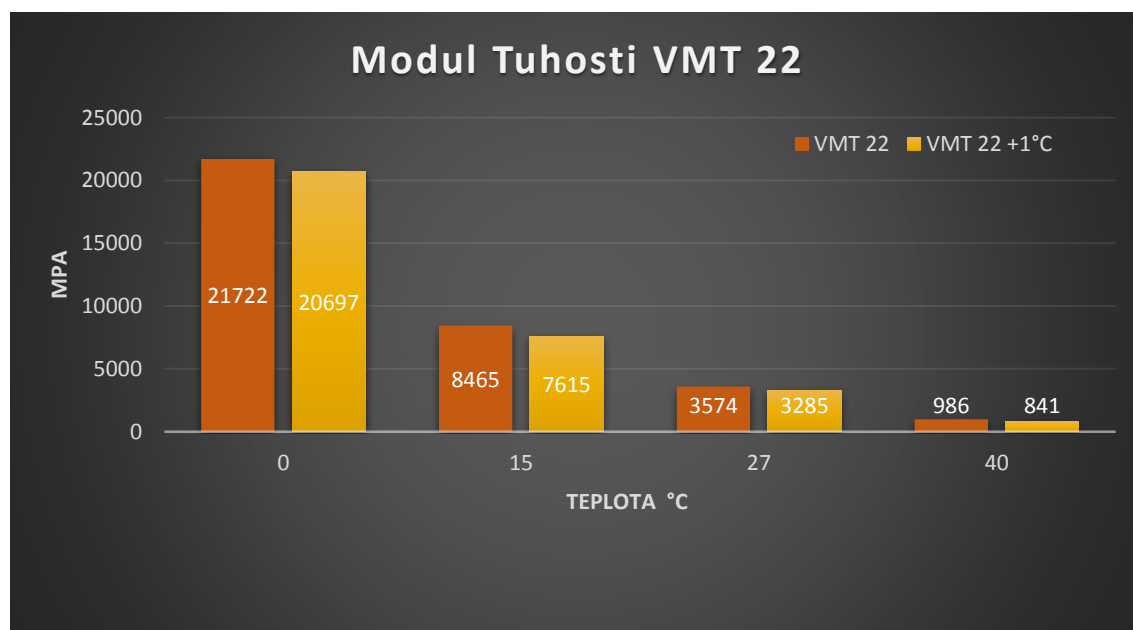
Z výsledků se dá vyčíst, že pro směs VMT 22 a směs SMA se výsledný modul tuhosti měřený na 4PB – PR dá určit podle vyzkoumané frekvence za dané teploty, jak je uvedeno v tabulkách 5.1.1. a 5.1.2. U směsi A je vidět při vzrůstající teplotě, že výsledná frekvence klesá, pouze při teplotě 27 °C frekvence vzrostla na 2,7 Hz. Během měření mohlo dojít k porušení zkušebních těles, kvůli stálému vystavování dynamickému zatížení, nebo mohlo dojít k vychýlení zkušebního zařízení během měření při teplotě 27 °C. U směsi B je vidět, že frekvence u teplot 15 °C; 27 °C a 16 °C se nemění. Frekvence se mění pouze u teploty 0 °C na 1 Hz a u teploty 40 °C na 0,1 Hz, ale platí, že při vzrůstající teplotě frekvence klesá.

Porovnání těchto dvou metod ke stanovení modulu tuhosti za určitých teplot a dané frekvenci, by rozhodně chtělo rozsáhlejší výzkum. Kvůli stanovení okrajových podmínek pro metodu 4PB – PR.

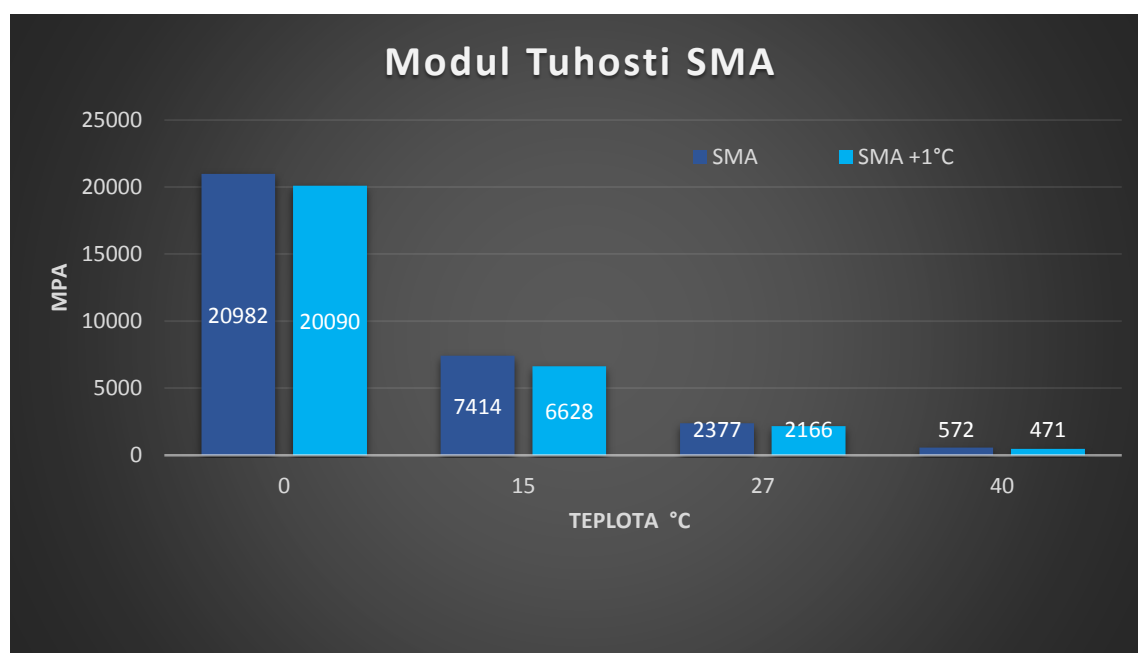


5.2 Porovnání modulů tuhostí za dané teploty a při odchylce o 1 °C na zařízení IT – CY

Po stanovení modulů tuhostí na obou směsích pro teploty 0 °C; 15 °C; 27 °C; 40 °C, a 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C, se budou porovnávat tyto dvě varianty teplot a zjišťovat jak moc velký rozdíl bude dělat změna teploty o 1 °C na modulech tuhostí.



Obrázek 5.2.1 Modul tuhosti směsi VMT 22 a VMT 22 + 1 °C



Obrázek 5.2.2 Modul tuhosti SMA a SMA + 1 °C



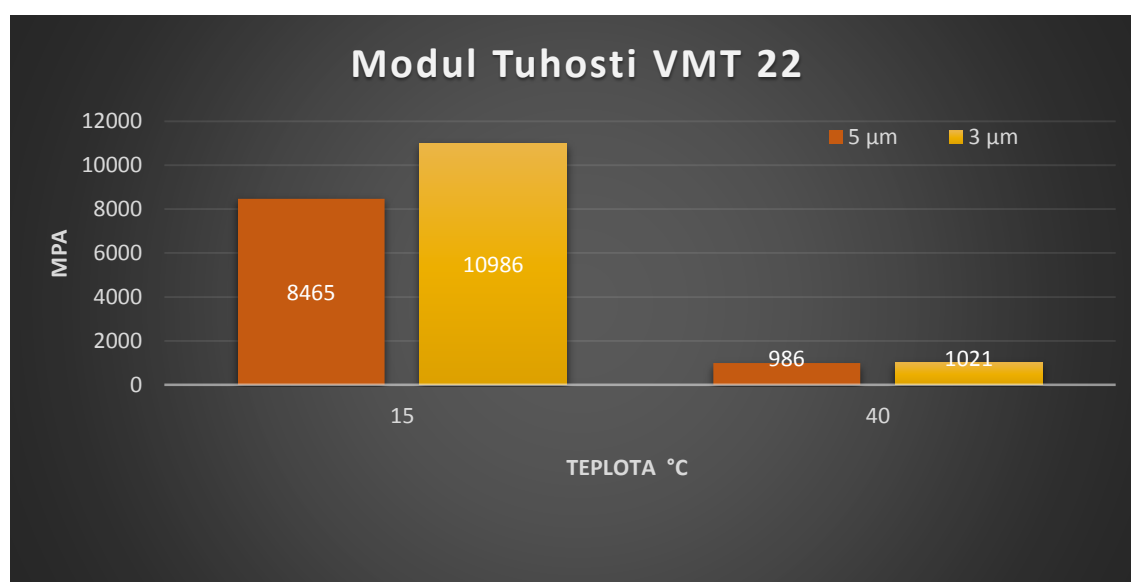
Tabulka 5.2.1 Výsledný rozdíl modulů tuhosti

přehled	teplota	Modul tuhosti	teplota	Modul tuhosti	Rozdíl
	°C	MPa	°C	MPa	
VMT 22	0	21722	1	20697	4,7
	15	8465	16	7615	10,0
	27	3574	28	3285	8,1
	40	986	41	841	14,7
SMA	0	20982	1	20090	4,3
	15	7414	16	6628	10,6
	27	2377	28	2166	8,8
	40	572	41	471	17,7

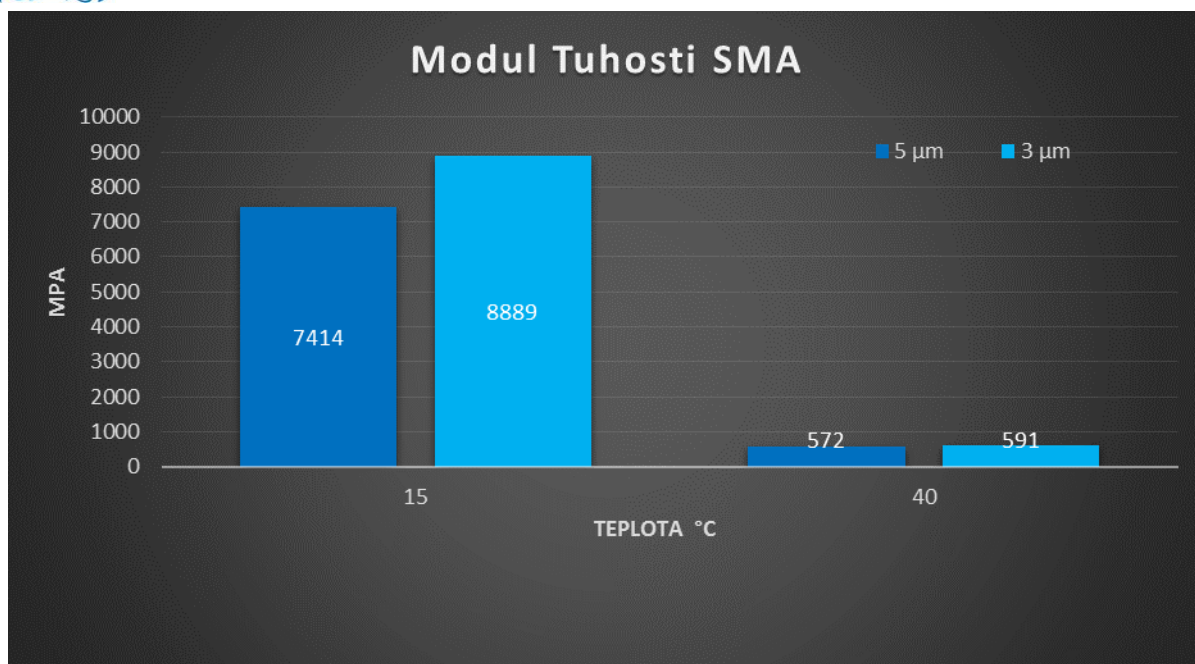
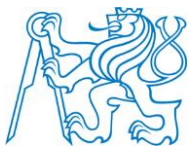
Z výsledků je vidět narůstající odchylka při zvýšených teplotách kromě teploty 27 °C a 28 °C. Během měření mohlo dojít k porušení zkušebních těles, kvůli stálému vystavování dynamickému zatížení, nebo mohlo dojít k vychýlení zkušebního zařízení během měření při teplotě 27 °C a 28 °C. Modul tuhosti při teplotách 27 °C a 28 °C, by chtělo více ověřit a pokud možno znova přeměřit na zkušebních tělesech pro obě směsi.

5.3 Porovnání měření při horizontální deformaci 5 μm a 3 μm

Během všech měření za daných teplot na zařízení NAT byla zadávána horizontální deformace 5 μm a stanoven modul tuhosti. Při teplotách 15 °C a 40 °C se stanovil modul tuhosti za horizontální deformace 3 μm a porovnal se rozdíl mezi horizontální deformací 5 μm.



Obrázek 5.3.1 Modul tuhosti VMT 22 při horizontální deformaci 5 μm a 3 μm



Obrázek 5.3.2 Modul tuhosti SMA při horizontální deformaci 5 µm a 3 µm

Tabulka 5.3.1 Výsledný rozdíl modulů tuhostí

přehled	teplota °C	Modul tuhosti MPa	Deform. µm	Modul tuhosti MPa	Deform. µm	Rozdíl %
VMT	15	10986	3,0	8465	5,0	23,0
	40	1021	3,0	986	5,0	3,4
SMA	15	8889	3,0	7414	5,0	16,6
	40	591	3,0	572	5,0	3,2

Maximální horizontální deformace při měření na zařízení NAT je $5 \pm 2 \mu\text{m}$. Moduly tuhostí při horizontální deformaci 5 µm a 3 µm by měli mít nepatrný rozdíl to podle výsledků je za teploty 40 °C, ale za teploty 15 °C je poměrně větší rozdíl.

Měření při teplotě 15 °C by chtělo více ověřit novým měřením na zkušebních tělesech. Porovnání těchto modulů tuhostí by vyžadovalo rozsáhlejší výzkum s rozsáhlejšími hodnotami.



6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala porovnáním modulů tuhostí zkoušky v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech IT – CY a zkoušky čtyřbodovým ohybem na tělesech tvaru trámečku 4PB – PR za okrajových podmínek. Snažila se získat, za jakých podmínek se moduly tuhostí těchto metod shodovali a porovnat s okrajovými podmínkami. Dále u zkoušky v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech IT – CY zjišťovala odchylku modulů tuhostí při zvýšení teploty o 1 °C od zkušebních teplot. Nakonec zjišťovala, když se změní horizontální deformace z 5 μm na 3 μm, a jak moc se budou moduly tuhostí odlišovat.

Moduly tuhostí prokázali za jakých podmínek, se shodují metody IT - CY a 4PB – PR. Po srovnání těchto metod je zřejmé za jaké frekvence (viz tabulky 5.1.1 a 5.1.2) se stanoví modul tuhosti na 4PB – PR za pomocí metody IT – CY za daných teplot. Lze vyčíst, že pro každou směs i teplotu je jiná frekvence, pro specifikovanější určení frekvence by byla potřeba rozsáhlejší výzkum na více směsích. Pomocí těchto výsledku by se dali stanovit okrajové podmínky za daných teplot, podle kterých by se dal určit modul tuhosti u metody 4PB – PR.

Při metodě zkoušky v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech IT – CY se stanovili moduly tuhostí při teplotách 0 °C; 15 °C; 27 °C; 40 °C. U každé z těchto teplot jsme udělali odchylku o 1° C a provedli měření při teplotách 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C a stanovili modul tuhosti. Po srovnání těchto měření se stanovil rozdíl odchylky v procentech (viz tabulka 5.2.1) z tabulky lze vyčíst, že při vzrůstající teplotě se odchylka zvyšuje a při největší teplotě u směsi VMT 22 se vyšplhala až na 14,7 % a u směsi SMA dokonce na 17,7 %. Z toho lze vyvodit jakou možnou přípustnou odchylku stanovit při stanovování modulů tuhostí za daných teplot 0 °C; 15 °C; 27 °C; 40 °C. Může se stanovit pro každou teplotu zvlášť nebo určit z největší hodnoty v tomto případě u VMT 22 je odchylka okolo 15% a u směsi SMA okolo 18%.

Při měření zkoušky v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech na zařízení NAT se zadávala horizontální deformace 5 μm. Provedlo se měření při teplotách 15 °C a 40 °C s horizontální deformací 3 μm, která by měla stanovit téměř stejný modul tuhosti jako u horizontální deformace 5 μm. Stanovili se moduly tuhostí a určil se rozdíl, která vyvodila změna horizontální deformace. U teploty 40 °C je rozdíl u směsi VMT 22 - 3,4 % a u směsi SMA - 3,2 %. Lze vyčíst, že u teploty 40 °C je rozdíl nepatrný. Bohužel u teploty 15 °C je rozdíl u směsi VMT 22 – 23,0% a u směsi SMA – 16,6%. U teploty 15 °C by chtělo ověřit novým měřením na zkušebních tělesech, zda rozdíl odpovídá. Tato problematika by chtěla rozsáhlejší výzkum za všech daných teplot.



Použité zdroje

1. Hýzl, Petr. Zkoušení asfaltových směsí - Funkční zkoušky, prezentace. Brno : autor neznámý.
2. ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost. **ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA**. Praha : Český normalizační institut, říjen 2012.
3. ČSN EN 1426 (657062)-Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou. **ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA**. Praha : Český normalizační institut, leden 2016.
4. Zavřel, Tomáš. Posouzení nízkohlučného asfaltového koberce mastixového s CRMB. *Diplomová práce*. Brno : Vysoké učení technické , 2012.
5. Palátová, Bc. Marcela. Nové trendy při výstavbě netuhých vozovek. *Diplomová práce*. Brno : Vysoké učení technické, 2013.
6. Pronk, M. Huurman & A.C. A detailed FEM simulation of a 4-point bending test device. [autor knihy] Jorge C. Pais & John T. Harvey. *Four-Point Bending*. London : Taylor & Francis Group, 2012.
7. Svehnický, J.B.Sousa & I. Ishai & G. Flexural fatigue test and predictions models - tools to investigate SMA mixes with new innovative binder stabilizers. [autor knihy] Jorge C. Pais & John T. Harvey. *Four-Point Bending*. London : Taylor & Francis Group, 2012.
8. Mondschein, Ing. Petr. Problematika chování asfaltových směsí za nízkých teplot. *Disertační práce*. Praha : České vysoké učení technické, 2009.
9. Nikolaidis, Athanassios. *Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality* . Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 13:978-1-4665-7997-2.
10. Valentin, Jan. *Užitné vlastnosti a reologie asfaltových pojiv a směsí - charakteristiky, nové zkušební metody, vývojové trendy*. Praha : autor neznámý, 2003.



Seznam obrázků

Obrázek 2.1.1.1	Kontrola ukotvení [2].....	15
Obrázek 2.1.1.2	Rozměry zkušebních těles a upevnění zkušebního tělesa [2]	16
Obrázek 2.1.1.3	Lamelový zhutňovač pro zhutnění desek	17
Obrázek 2.1.1.4	Přístroj na měření modulu tuhosti [5].....	18
Obrázek 2.1.3.1	Princip zkoušky čtyřbodovým ohybem [2]	19
Obrázek 2.1.3.2	Přehled 4PB zařízení [6].....	20
Obrázek 2.1.3.3	4PB-PR zařízení v klimatizační komoře	21
Obrázek 2.1.3.3	Segmentový zhutňovač	22
Obrázek 2.1.3.4	Průběh měření pomocí programu BEAM-FLEX.....	23
Obrázek 2.1.4.1	Metoda měření 3PB-PR [2]	24
Obrázek 2.2.1.1	Zkušební zařízení	25
Obrázek 2.2.1.2	Zatěžovací pulzy ukazující dobu náběhu a výsledky měření z počítače... ..	26
Obrázek 2.2.1.3	Sestava pro měření vodorovné deformace	27
Obrázek 2.2.1.4	Nastavovací podpěra rámečku.....	27
Obrázek 2.2.1.5	Marshallův pěch.....	28
Obrázek 2.2.2.1	Sinusové (harmonické) zatížení [9]	30
Obrázek 2.2.2.2	Zatěžovací pásy s extenzometrem – Měření horizontální deformace [2].. ..	31
Obrázek 2.2.2.3	Rozměry zatěžovacích pásů [2]	32
Obrázek 2.3.1.1	Zařízení pro zkoušku DTC – CY [2].....	34
Obrázek 2.3.1.2	Rozměry zkušebního tělesa	35
Obrázek 2.3.2.1	Zařízení DT – CY [2].....	36
Obrázek 2.3.2.2	Příklady izoterm při 15 °C	38
Obrázek 2.3.2.4	Určení faktoru posunu	38
Obrázek 3.1.1	Laboratorní míchačka	40
Obrázek 4.1.1	Modul tuhosti při teplotách 0 °C; 15 °C; 27 °C; 40 °C	44
Obrázek 4.1.2	Modul tuhosti při teplotách 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C	45
Obrázek 4.1.3	Modul tuhosti při horizontální deformaci 3 μm.....	46
Obrázek 4.2.1	Modul tuhosti při teplotě 0 °C.....	47
Obrázek 4.2.2	Modul tuhosti při teplotě 15 °C.....	47
Obrázek 4.2.3	Modul tuhosti při teplotě 27 °C.....	48
Obrázek 4.2.4	Modul tuhosti při teplotě 40 °C.....	48
Obrázek 4.2.5	Modul tuhosti při teplotě 16 °C.....	49
Obrázek 5.1.1	Výsledná frekvence 5,0 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 0 °C	50
Obrázek 5.1.2	Výsledná frekvence 1,0 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 0 °C	50
Obrázek 5.1.3	Výsledná frekvence 2,0 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 15 °C	51
Obrázek 5.1.4	Výsledná frekvence 0,5 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 15 °C	51
Obrázek 5.1.5	Výsledná frekvence 2,7 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C	52
Obrázek 5.1.6	Výsledná frekvence 0,5 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C	52
Obrázek 5.1.7	Výsledná frekvence 0,7 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C	53
Obrázek 5.1.8	Výsledná frekvence 0,1 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 27 °C	53
Obrázek 5.1.9	Výsledná frekvence 1,8 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 16 °C	54
Obrázek 5.1.10	Výsledná frekvence 0,5 Hz pro zjištěný modul tuhosti při teplotě 16 °C	54
Obrázek 5.2.1	Modul tuhosti směsi VMT 22 a VMT 22 + 1 °C	56
Obrázek 5.2.2	Modul tuhosti SMA a SMA + 1 °C.....	56



Obrázek 5.3.1 Modul tuhosti VMT 22 při horizontální deformaci 5 μm a 3 μm	57
Obrázek 5.3.2 Modul tuhosti SMA při horizontální deformaci 5 μm a 3 μm	58



Seznam tabulek

Tabulka 2.1.1.1 Minimální rozměry zkušebních těles tvaru komolého jehlanu [2].....	15
Tabulka 2.1.2.1 Minimální rozměry zkušebních těles tvaru trámečku [2]	18
Tabulka 2.2.2.1 Rozměry zkušebního tělesa [2]	32
Tabulka 2.1.2.2 Požadované cykly pro vícestupňové zkoušky [2].....	33
Tabulka 3.1.1 Složení Směsi A	40
Tabulka 3.1.2 Složení Směsi B	41
Tabulka 4.1.1 Výsledky modulů tuhostí při teplotách 0 °C; 15 °C; 27 °C; 40 °.....	44
Tabulka 4.1.2 Výsledky modulů tuhostí při teplotách 1 °C; 16 °C; 28 °C; 41 °C	45
Tabulka 4.1.3 Výsledky modulů tuhostí při horizontální deformaci 3 μ m.....	45
Tabulka 4.2.1 Výsledky modulů tuhostí.....	46
Tabulka 5.1.1 Výsledný moduly tuhostí a frekvence směsi A.....	55
Tabulka 5.1.2 Výsledný moduly tuhostí a frekvence směsi B.....	55
Tabulka 5.2.1 Výsledný rozdíl modulů tuhostí.....	57
Tabulka 5.3.1 Výsledný rozdíl modulů tuhostí.....	58
Tabulka 6.1.1 Stanovení rozměrů válcových zkušebních těles směsi VMT 22.....	65
Tabulka 6.1.2 Stanovení rozměrů válcových zkušebních těles směsi SMA.....	65
Tabulka 6.1.3 Stanovení objemové hmotnosti směsi VMT 22.....	66
Tabulka 6.1.4 Stanovení objemové hmotnosti směsi SMA.....	66
Tabulka 6.1.5 Sestavení těles pro lepší určení objemové hmotnosti směsi VMT 22	67
Tabulka 6.1.6 Sestavení těles pro lepší určení objemové hmotnosti směsi SMA	67
Tabulka 6.1.7 Maximální objemová hmotnost.....	68
Tabulka 6.1.8 Stanovení rozměrů trámečků směsi VMT 22.....	68
Tabulka 6.1.9 Stanovení rozměrů trámečků směsi SMA.....	68
Tabulka 6.1.10 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 0 °C	68
Tabulka 6.1.11 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 0 °C	69
Tabulka 6.1.12 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 1 °C	69
Tabulka 6.1.13 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 1 °C	70
Tabulka 6.1.14 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 15 °C	70
Tabulka 6.1.15 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 15 °C	71
Tabulka 6.1.16 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 16 °C	71
Tabulka 6.1.17 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 16 °C	72
Tabulka 6.1.18 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 27 °C	72
Tabulka 6.1.19 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 27 °C	73
Tabulka 6.1.20 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 28 °C	73
Tabulka 6.1.20 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 28 °C	74
Tabulka 6.1.21 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 40 °C	74
Tabulka 6.1.22 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 40 °C	75
Tabulka 6.1.23 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 41 °C	75
Tabulka 6.1.24 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 41 °C	76
Tabulka 6.1.25 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 15 °C a deformaci 3 μ m	76
Tabulka 6.1.26 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 15 °C a deformace 3 μ m.....	77
Tabulka 6.1.27 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 40 °C a deformace 3 μ m.....	77
Tabulka 6.1.28 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 40 °C a deformace 3 μ m.....	78
Tabulka 6.1.29 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 0 °C 4PB-PR.....	78



Tabulka 6.1.30 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 0 °C 4PB-PR.....	78
Tabulka 6.1.31 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 15 °C 4PB-PR.....	79
Tabulka 6.1.32 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 15 °C 4PB-PR.....	79
Tabulka 6.1.33 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 16 °C 4PB-PR.....	79
Tabulka 6.1.34 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 16 °C 4PB-PR.....	80
Tabulka 6.1.35 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 27 °C 4PB-PR.....	80
Tabulka 6.1.36 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 27 °C 4PB-PR.....	80
Tabulka 6.1.37 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 40 °C 4PB-PR.....	81



PŘÍLOHY

Tabulka 6.1.1 Stanovení rozměrů válcových zkušebních těles směsi VMT 22

Hutnění	Pojivo	Těleso		Výška					Průměr				
				h				výška	Ø				průměr
				(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
2x75	30/45	A	A1	62,75	63,19	62,62	63,27	62,96	100,37	100,93	101,10	100,62	100,76
			A2	61,45	62,20	61,75	62,07	61,87	101,52	101,27	101,30	101,52	101,40
			A3	63,76	63,71	62,97	63,23	63,42	100,93	101,32	101,43	101,13	101,20
			A4	63,79	62,40	62,27	63,10	62,89	101,94	101,98	102,57	102,57	102,27
			A5	63,55	63,33	62,27	62,23	62,85	100,98	100,87	101,13	100,96	100,99
			A6	62,95	62,81	63,98	63,53	63,32	100,87	100,42	100,85	100,55	100,67
			A7	63,71	63,95	63,25	62,51	63,36	101,20	100,22	101,14	100,10	100,67
			A8	62,09	62,90	63,97	62,71	62,92	101,04	101,34	101,60	101,26	101,31
			A9	62,08	62,04	63,02	63,15	62,57	101,52	101,18	100,47	101,71	101,22
			A10	62,81	62,27	62,87	62,71	62,67	101,79	101,70	101,41	100,00	101,23
			A11	62,89	62,93	63,70	62,23	62,94	101,62	101,42	101,73	101,49	101,57
			A12	64,80	64,56	64,09	65,28	64,68	100,28	101,12	101,12	101,37	100,97
			A13	65,24	64,89	63,80	64,31	64,56	101,70	101,62	101,39	100,45	101,29
			A14	64,23	64,72	65,41	65,95	65,08	100,59	100,50	101,04	100,41	100,64
			A15	62,98	63,16	63,43	63,47	63,26	100,79	100,37	101,13	101,43	100,93
			A16	64,35	63,87	63,96	64,16	64,09	100,69	100,98	100,66	100,53	100,72
			A17	61,99	62,61	62,74	63,11	62,61	101,21	100,55	100,83	101,37	100,99
			A18	62,14	62,94	63,46	64,54	63,27	100,99	100,95	101,08	100,44	100,87
			A19	65,73	65,21	64,21	64,36	64,88	99,13	101,33	101,44	101,45	100,84
			A20	64,23	64,95	65,34	64,71	64,81	101,18	101,33	100,34	101,14	101,00

Tabulka 6.1.2 Stanovení rozměrů válcových zkušebních těles směsi SMA

Hutnění	Pojivo	Těleso		Výška					Průměr				
				h				výška	Ø				průměr
				(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
2x50	50/70	B	B1	63,60	63,98	65,82	65,69	64,77	100,61	101,00	100,79	100,91	100,83
			B2	64,63	65,57	65,41	65,69	65,33	101,16	101,04	100,54	100,48	100,81
			B3	64,81	65,26	64,78	64,46	64,83	101,17	100,90	101,47	101,10	101,16
			B4	65,06	65,08	66,99	66,67	65,95	100,09	100,85	100,76	100,98	100,67
			B5	66,01	66,81	66,02	66,04	66,22	100,51	100,51	99,60	100,09	100,18
			B6	66,93	66,83	66,48	67,44	66,92	100,72	101,07	100,95	100,71	100,86
			B7	64,83	65,25	65,83	65,40	65,33	101,23	101,16	100,91	101,30	101,15
			B8	65,28	65,36	65,67	65,45	65,44	100,05	101,10	101,23	100,73	100,78
			B9	65,64	65,53	66,54	66,21	65,98	100,51	100,99	100,53	100,28	100,58
			B10	64,20	64,40	65,10	65,20	64,73	100,60	101,33	101,50	101,69	101,28
			B11	65,36	64,55	64,51	64,47	64,72	100,46	100,40	101,25	101,20	100,83
			B12	66,45	66,79	65,13	65,64	66,00	100,47	101,21	100,40	100,89	100,74
			B13	62,61	63,74	64,43	62,89	63,42	100,70	101,53	100,74	100,69	100,92
			B14	65,39	64,32	64,75	65,32	64,95	100,81	101,04	100,84	100,35	100,76
			B15	64,38	63,85	64,52	65,08	64,46	101,48	101,16	100,37	101,18	101,05
			B16	67,83	64,52	65,19	65,64	65,80	100,82	101,21	101,04	100,17	100,81
			B17	64,05	64,34	65,01	65,09	64,62	101,24	100,12	100,14	101,18	100,67
			B18	65,62	64,10	64,61	65,45	64,95	101,68	101,35	101,27	100,68	101,25
			B19	64,25	63,99	62,60	64,15	63,75	100,81	101,39	101,48	100,65	101,08
			B20	66,55	67,13	68,62	67,96	67,57	100,72	101,22	100,20	100,36	100,63

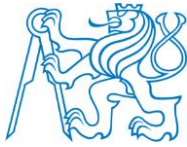


Tabulka 6.1.3 Stanovení objemové hmotnosti směsi VMT 22

Hutnění	Pojivo	Těleso	Výška	Průměr	Objem V	Objemová hmotnost		Hmotnost			Teplota	Hustota vody	Objemová hmotnost		
			h	Ø		r _{vm}		m _s	m _m	m _v	T	rw	r _{vz}		
			výška	průměr		(g.cm ⁻³)		(g)	(g)	(g)	(°C)	(g.cm ⁻³)	(g.cm ⁻³)		
2x75	30/45	A	A1	62,96	100,76	501,96	2,491	2,451	1250,5	759,8	1252,2	22,1	0,9977	2,534	
			A2	61,87	101,40	499,63	2,481		1239,6	752,4	1240,7			2,533	
			A3	63,42	101,20	510,13	2,448		1248,6	754,2	1250,2			2,511	
			A4	62,89	102,27	516,57	2,432		1256,4	762,8	1258,9			2,527	
			A5	62,85	100,99	503,35	2,482		1249,5	760,3	1251,6			2,537	
			A6	63,32	100,67	504,01	2,476		1247,8	761,1	1250,0			2,547	
			A7	63,36	100,67	504,23	2,479		1250,2	760,2	1251,7			2,538	
			A8	62,92	101,31	507,18	2,448		1241,4	755,8	1242,9			2,543	
			A9	62,57	101,22	503,51	2,467		1242,2	757,8	1244,8			2,545	
			A10	62,67	101,23	504,30	2,432		1226,7	748,2	1232,0			2,530	
			A11	62,94	101,57	509,90	2,440		1244,2	758,8	1247,2	2,542			
			A12	64,68	100,97	517,94	2,422		1254,7	764,5	1259,8	2,528			
			A13	64,56	101,29	520,22	2,395		1245,9	756,1	1251,1	21,3	0,9979	2,512	
			A14	65,08	100,64	517,63	2,423		1254,1	768,6	1258,5			2,554	
			A15	63,26	100,93	506,13	2,456		1243,1	753,2	1247,5			2,510	
			A16	64,09	100,72	510,55	2,454		1252,8	758,1	1255,7			2,512	
			A17	62,61	100,99	501,54	2,485		1246,4	759,1	1249,8			2,535	
			A18	63,27	100,87	505,56	2,463		1245,1	757,4	1248,4			2,530	
			A19	64,88	100,84	518,12	2,428		1258,1	762,8	1264,7			2,501	
			A20	64,81	101,00	519,20	2,411		1251,8	760,9	1256,9			2,518	

Tabulka 6.1.4 Stanovení objemové hmotnosti směsi SMA

Hutnění	Pojivo	Těleso	Výška	Průměr	Objem V	Objemová hmotnost		Hmotnost			Teplota	Hustota vody	Objemová hmotnost		
			h	Ø		r _{vm}		m _s	m _m	m _v	T	rw	r _{vz}		
			výška	průměr		(g.cm ⁻³)		(g)	(g)	(g)	(°C)	(g.cm ⁻³)	(g.cm ⁻³)		
2x50	50/70	B	B1	64,77	100,83	517,18	2,410	2,391	1246,2	747,5	1247,6	21,2	0,9979	2,487	
			B2	65,33	100,81	521,35	2,389		1245,4	744,9	1248,3			2,469	
			B3	64,83	101,16	521,03	2,398		1249,2	748,0	1251,9			2,474	
			B4	65,95	100,67	524,93	2,373		1245,8	741,9	1248,9			2,452	
			B5	66,22	100,18	521,94	2,392		1248,7	748,4	1252,3			2,473	
			B6	66,92	100,86	534,69	2,338		1250,0	743,9	1254,4			2,443	
			B7	65,33	101,15	524,95	2,387		1252,8	750,8	1254,8			2,480	
			B8	65,44	100,78	521,99	2,385		1244,9	746,2	1246,4			2,484	
			B9	65,98	100,58	524,21	2,384		1249,6	749,1	1252,4			2,478	
			B10	64,73	101,28	521,45	2,392		1247,1	747,8	1249,4			2,481	
			B11	64,72	100,83	516,78	2,404		1242,5	748,3	1244,5	2,498			
			B12	66,00	100,74	526,11	2,371		1247,2	748,0	1250,3	2,477			
			B13	63,42	100,92	507,24	2,461		1248,1	749,8	1250,5	2,487			
			B14	64,95	100,76	517,86	2,415		1250,4	753,6	1252,3	2,501			
			B15	64,46	101,05	516,91	2,405		1243,3	750,1	1245,5	22,1	0,9977	2,504	
			B16	65,80	100,81	525,16	2,363		1241,1	745,5	1243,0			2,489	
			B17	64,62	100,67	514,37	2,424		1246,9	748,3	1249,0			2,485	
			B18	64,95	101,25	522,86	2,388		1248,6	749,3	1250,2			2,487	
			B19	63,75	101,08	511,57	2,427		1241,5	748,9	1242,9			2,507	
			B20	67,57	100,63	537,31	2,311		1241,8	736,9	1248,1			2,424	



Tabulka 6.1.5 Sestavení těles pro lepší určení objemové hmotnosti směsi VMT 22

Směs	Hutnění	Pojivo	Těleso		Výška	Průměr	Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost			Teplota	Hustota vody	Objemová hmotnost	
					h	Ø	V	r_{vm}	m_s	m_m	m_v	T	r_w	r_{vz}	
					výška	průměr	(cm ³)	(g.cm ⁻³)	(g)	(g)	(g)	(°C)	(g.cm ⁻³)	(g.cm ⁻³)	
VMT 22	2x75	30/45	A-1	A1	62,96	100,76	501,96	2,491	2,450	1250,5	759,8	1252,2	22,1	0,9977	2,534
				A3	63,42	101,20	510,13	2,448	2,450	1248,6	754,2	1250,2	22,1	0,9977	2,511
				A11	62,94	101,57	509,90	2,440	2,450	1244,2	758,8	1247,2	21,3	0,9979	2,542
				A4	62,89	102,27	516,57	2,432	2,450	1256,4	762,8	1258,9	22,1	0,9977	2,527
				A5	62,85	100,99	503,35	2,482	2,450	1249,5	760,3	1251,6	22,1	0,9977	2,537
				A14	65,08	100,64	517,63	2,423	2,450	1254,1	768,6	1258,5	21,3	0,9979	2,554
				A16	64,09	100,72	510,55	2,454	2,450	1252,8	758,1	1255,7	21,3	0,9979	2,512
				A19	64,88	100,84	518,12	2,428	2,450	1258,1	762,8	1264,7	21,3	0,9979	2,501
				A9	62,57	101,22	503,51	2,467	2,450	1242,2	757,8	1244,8	21,3	0,9979	2,545
				A10	62,67	101,23	504,30	2,432	2,450	1226,7	748,2	1232,0	21,3	0,9979	2,530
			A-2	A2	61,87	100,76	493,27	2,513	2,455	1239,6	752,4	1240,7	22,1	0,9977	2,533
				A12	64,68	100,97	517,94	2,422	2,455	1254,7	764,5	1259,8	21,3	0,9979	2,528
				A13	64,56	101,29	520,22	2,395	2,455	1245,9	756,1	1251,1	21,3	0,9979	2,512
				A8	62,92	101,31	507,18	2,448	2,455	1241,4	755,8	1242,9	21,3	0,9979	2,543
				A6	63,32	100,67	504,01	2,476	2,455	1247,8	761,1	1250,0	21,3	0,9979	2,547
				A15	63,26	100,93	506,13	2,456	2,455	1243,1	753,2	1247,5	21,3	0,9979	2,510
				A7	63,36	100,67	504,23	2,479	2,455	1250,2	760,2	1251,7	21,3	0,9979	2,538
				A18	63,27	100,87	505,56	2,463	2,455	1245,1	757,4	1248,4	21,3	0,9979	2,530
				A17	62,61	100,99	501,54	2,485	2,455	1246,4	759,1	1249,8	21,3	0,9979	2,535
				A20	64,81	101,00	519,20	2,411	2,455	1251,8	760,9	1256,9	21,3	0,9979	2,518

Tabulka 6.1.6 Sestavení těles pro lepší určení objemové hmotnosti směsi SMA

Směs	Hutnění	Pojivo	Těleso		Výška	Průměr	Objem	Objemová hmotnost	Hmotnost			Teplota	Hustota vody	Objemová hmotnost	
					h	Ø	V	r_{vm}	m_s	m_m	m_v	T	r_w	r_{vz}	
					výška	průměr	(cm ³)	(g.cm ⁻³)	(g)	(g)	(g)	(°C)	(g.cm ⁻³)	(g.cm ⁻³)	
SMA	2x50	50/70	B-1	B12	66,00	100,74	526,11	2,371	2,392	1247,2	748,0	1250,3	22,1	0,9977	2,477
				B14	64,95	100,76	517,86	2,415	2,392	1250,4	753,6	1252,3	22,1	0,9977	2,501
				B16	65,80	100,81	525,16	2,363	2,392	1241,1	745,5	1243,0	22,1	0,9977	2,489
				B4	65,95	100,67	524,93	2,373	2,392	1245,8	741,9	1248,9	21,2	0,9979	2,452
				B5	66,22	100,18	521,94	2,392	2,392	1248,7	748,4	1252,3	21,2	0,9979	2,473
				B13	63,42	100,92	507,24	2,461	2,392	1248,1	749,8	1250,5	22,1	0,9977	2,487
				B7	65,33	101,15	524,95	2,387	2,392	1252,8	750,8	1254,8	21,2	0,9979	2,480
				B17	64,62	100,67	514,37	2,424	2,392	1246,9	748,3	1249,0	22,1	0,9977	2,485
				B19	63,75	101,08	511,57	2,427	2,392	1241,5	748,9	1242,9	22,1	0,9977	2,507
				B20	67,57	100,63	537,31	2,311	2,392	1241,8	736,9	1248,1	22,1	0,9977	2,424
			B-2	B11	64,72	100,83	516,78	2,404	2,389	1242,5	748,3	1244,5	22,1	0,9977	2,498
				B1	64,77	100,83	517,18	2,410	2,389	1246,2	747,5	1247,6	21,2	0,9979	2,487
				B6	66,92	100,86	534,69	2,338	2,389	1250,0	743,9	1254,4	21,2	0,9979	2,443
				B8	65,44	100,78	521,99	2,385	2,389	1244,9	746,2	1246,4	21,2	0,9979	2,484
				B15	64,46	101,05	516,91	2,405	2,389	1243,3	750,1	1245,5	22,1	0,9977	2,504
				B3	64,83	101,16	521,03	2,398	2,389	1249,2	748,0	1251,9	21,2	0,9979	2,474
				B9	65,98	100,58	524,21	2,384	2,389	1249,6	749,1	1252,4	21,2	0,9979	2,478
				B10	64,73	101,28	521,45	2,392	2,389	1247,1	747,8	1249,4	21,2	0,9979	2,481
				B2	65,33	100,81	521,35	2,389	2,389	1245,4	744,9	1248,3	21,2	0,9979	2,469
				B18	64,95	101,25	522,86	2,388	2,389	1248,6	749,3	1250,2	22,1	0,9977	2,487



Tabulka 6.1.7 Maximální objemová hmotnost

Směs	V pikto.	W pikto.	Materiál	Pikto. + materiál	Piktometr + materiál + voda	Tepł. Vody	Vody rw	Maximální objemová
	(cm ³)	(g)	(g)	(g)	(g)	(°C)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
A	1316,61	696,79	1168,0	1 864,80	2 732,30	27,1	0,9966	2,618
B	1313,98	707,5	810,5	1 518,00	2 515,00	26,8	0,9966	2,584

Tabulka 6.1.8 Stanovení rozměrů trámečků směsi VMT 22

Směs	pojivo	těleso	Výška					Průměr	Šířka					Průměr	Hmotnost
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
VMT 22	30/45	A1-1	52,32	52,67	52,63	51,93	52,69	52,45	50,88	50,94	51,80	51,52	51,82	51,39	2623,7
		A1-2	53,24	51,56	51,75	50,98	51,17	51,74	52,78	53,48	51,41	52,14	51,71	52,30	2601,7
		A1-3	50,62	52,47	51,53	52,37	50,03	51,40	51,91	52,49	50,28	50,55	49,34	50,91	2517,3
		A1-4	51,53	52,65	53,10	51,54	49,70	51,70	48,10	50,32	49,60	49,71	50,60	49,67	2471,0
		A1-5	49,95	50,49	50,70	50,41	50,14	50,34	52,66	52,00	50,80	49,93	49,46	50,97	2527,9

Tabulka 6.1.9 Stanovení rozměrů trámečků směsi SMA

Směs	pojivo	těleso	Výška					Průměr	Šířka					Průměr	Hmotnost
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
SMA	50/70	B1-1	50,20	50,21	50,13	50,59	50,23	50,27	50,07	49,80	49,32	49,44	49,29	49,58	2488,1
		B1-2	50,87	50,92	50,90	50,64	50,42	50,75	48,34	48,12	47,82	48,03	47,49	47,96	2416,6
		B1-3	50,70	50,75	50,72	50,37	49,85	50,48	52,54	51,89	51,64	51,78	51,69	51,91	2620,5
		B1-4	50,72	51,34	50,24	50,20	49,97	50,49	48,92	48,97	49,60	50,03	50,88	49,68	2462,3
		B1-5	51,25	49,15	49,46	49,24	49,04	49,63	50,13	49,97	50,04	49,94	49,74	49,96	2430,5

Tabulka 6.1.10 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 0 °C

VMT 22									
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace			
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]	
0	A11	21024	21151	21088	21722	5,0	5,0	5,0	
	A12	22195	20830	21513		5,0	5,0		
	A13	19922	21609	20766		5,0	5,0		
	A14	22809	22540	22675		5,0	5,0		
	A15	20596	20142	20369		5,0	5,0		
	A16	23551	22553	23052		5,0	5,0		
	A17	25491	24915	25203		5,0	5,0		
	A18	22753	23473	23113		5,0	5,0		
	A19	21534	19521	20528		5,0	5,0		
	A20	21869	22924	22397		5,0	5,0		



Tabulka 6.1.11 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 0 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
0	B11	21367	19573	20470	20982	5,0	5,0	5,0
	B12	21669	22672	22171				
	B13	22115	20913	21514				
	B14	20071	20735	20403				
	B15	21940	22793	22367				
	B16	21034	22995	22015				
	B17	21596	20759	21178				
	B18	20254	20963	20609				
	B19	22591	21558	22075				
	B20	17150	16887	17019				

Tabulka 6.1.12 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 1 °C

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
1	A11	23079	20278	21679	20697	5,0	5,0	5,0
	A12	21214	19012	20113				
	A13	19672	19340	19506				
	A14	22037	20779	21408				
	A15	22027	21322	21675				
	A16	23333	20286	21810				
	A17	24822	23524	24172				
	A18	20093	22439	21266				
	A19	21695	21192	21444				
	A20	17469	17283	17376				



Tabulka 6.1.13 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 1 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
1	B11	18613	20903	19758	20090	5,0	5,0	5,0
	B12	18454	21602	20028		5,0	5,0	
	B13	19638	20034	19836		5,0	5,0	
	B14	20132	21780	20956		5,0	5,0	
	B15	20627	20842	20735		5,0	5,0	
	B16	19260	19308	19284		5,0	5,0	
	B17	21005	20101	20553		5,0	5,0	
	B18	19586	17631	18609		5,0	5,0	
	B19	22417	19971	21194		5,0	5,0	
	B20	18870	21019	19945		5,0	5,0	

Tabulka 6.1.14 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 15 °C

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
15	A1	7217	6968	7093	8465	5,0	5,0	5,0
	A2	6813	7554	7184		5,0	5,0	
	A3	9492	8845	9169		5,0	5,0	
	A4	8362	8483	8423		5,0	5,0	
	A5	7450	7751	7601		5,0	5,0	
	A6	8693	8955	8824		5,0	5,0	
	A7	10262	9862	10062		5,0	5,0	
	A8	9523	9942	9733		5,0	5,0	
	A9	10715	10623	10669		5,0	5,0	
	A10	9573	9813	9693		5,0	5,0	



Tabulka 6.1.15 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 15 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
15	B1	7936	7646	7791	7414	5,0	5,0	5,0
	B2	7971	7889	7930				
	B3	7865	7628	7747				
	B4	6491	6392	6442				
	B5	7677	8137	7907				
	B6	6907	7012	6960				
	B7	7918	7924	7921				
	B8	7120	7290	7205				
	B9	7430	7557	7494				
	B10	6696	6784	6740				

Tabulka 6.1.16 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 16 °C

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
16	A1	6745	6894	6820	7615	5,0	5,0	5,0
	A2	6475	6573	6524				
	A6	8068	7419	7744				
	A7	8427	7888	8158				
	A8	7953	8030	7992				
	A9	9528	8658	9093				
	A10	7890	8303	8097				
	A12	8137	7531	7834				
	A13	7592	7914	7753				
	A14	9636	8456	9046				



Tabulka 6.1.17 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 16 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
16	B1	7185	6861	7023	6628	5,0	5,0	5,0
	B2	6985	7156	7071		5,0	5,0	
	B3	6739	7747	7243		5,0	5,0	
	B4	6358	5768	6063		5,0	5,0	
	B5	6931	6558	6745		5,0	5,0	
	B6	6747	6386	6567		5,0	5,0	
	B7	6766	7348	7057		5,0	5,0	
	B8	4024	3348	3686		5,0	5,0	
	B9	5388	5628	5508		5,0	5,0	
	B10	6422	6330	6376		5,0	5,0	

Tabulka 6.1.18 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 27 °C

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
27	A1	3823	3932	3878	3574	5,0	5,0	5,0
	A2	2988	2832	2910		5,0	5,0	
	A3	3854	3993	3924		5,0	5,0	
	A4	3496	3526	3511		5,0	5,0	
	A5	3471	3478	3475		5,0	5,0	
	A6	3388	3598	3493		5,0	5,0	
	A7	3683	3947	3815		5,0	5,0	
	A8	3914	3468	3691		5,0	5,0	
	A9	3384	3579	3482		5,0	5,0	
	A10	3535	3596	3566		5,0	5,0	



Tabulka 6.1.19 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 27 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
27	B1	2512	2328	2420	2377	5,0	5,0	5,0
	B2	2235	2251	2243				
	B3	2556	2489	2523				
	B4	2311	2317	2314				
	B5	2440	2486	2463				
	B6	2443	2330	2387				
	B7	2369	2383	2376				
	B8	2327	2354	2341				
	B9	2404	2615	2510				
	B10	2201	2193	2197				

Tabulka 6.1.20 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 28 °C

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
28	A9	2963	3239	3101	3285	5,0	5,0	5,0
	A12	3174	2914	3044				
	A13	3026	2932	2979				
	A14	3457	3481	3469				
	A15	3250	3250	3250				
	A16	3431	3479	3455				
	A17	3445	3294	3370				
	A18	3783	3644	3714				
	A19	3450	3210	3330				
	A20	3537	3595	3566				



Tabulka 6.1.20 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 28 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
28	B11	2145	2159	2152	2166	5,0	5,0	5,0
	B12	2169	1896	2033				
	B13	2310	2273	2292				
	B14	2186	2291	2239				
	B15	2166	2288	2227				
	B16	2149	2084	2117				
	B17	2278	2084	2181				
	B18	2229	2189	2209				
	B19	2177	1916	2047				
	B20	1494	1578	1536				

Tabulka 6.1.21 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 40 °C

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
40	A1	804	756	780	986	5,0	5,0	5,0
	A2	981	941	961				
	A6	795	874	835				
	A7	1040	1039	1040				
	A8	1013	1061	1037				
	A9	1073	1094	1084				
	A10	1196	1159	1178				
	A11	1381	1401	1391				
	A12	963	974	969				
	A13	996	960	978				



Tabulka 6.1.22 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 40 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
40	B1	574	607	591	572	5,0	5,0	5,0
	B2	596	559	578		5,0	5,0	
	B3	666	592	629		5,0	5,0	
	B4	573	549	561		5,0	5,0	
	B5	578	578	578		5,0	5,0	
	B6	634	580	607		5,0	5,0	
	B7	552	544	548		5,0	5,0	
	B8	275	217	246		5,0	5,0	
	B9	582	576	579		5,0	5,0	
	B10	540	524	532		5,0	5,0	

Tabulka 6.1.23 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 41 °C

VMT 22 - A								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
41	A1	744	730	737	841	5,0	5,0	5,0
	A2	719	672	696		5,0	5,0	
	A6	790	733	762		5,0	5,0	
	A7	925	872	899		5,0	5,0	
	A8	919	887	903		5,0	5,0	
	A9	1132	917	1025		5,0	5,0	
	A10	875	881	878		5,0	5,0	
	A11	938	1087	1013		5,0	5,0	
	A12	941	931	936		5,0	5,0	
	A13	890	952	921		5,0	5,0	



Tabulka 6.1.24 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 41 °C

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
41	B1	498	478	488	471	5,0	5,0	5,0
	B2	448	494	471				
	B3	597	559	578				
	B4	483	460	472				
	B5	519	501	510				
	B6	445	479	462				
	B7	441	430	436				
	B10	435	467	451				
	B19	499	467	483				
	B20	467	473	470				

Tabulka 6.1.25 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 15 °C a deformaci 3 µm

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
15	A6	9698	10827	10263	10986	3,0	3,0	3,0
	A7	10859	11019	10939				
	A8	11235	10989	11112				
	A14	10587	10391	10489				
	A15	9868	10279	10074				
	A16	11291	11925	11608				
	A17	12865	12680	12773				
	A18	11364	12504	11934				
	A19	12162	11528	11845				
	A20	10749	10480	10615				



Tabulka 6.1.26 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 15 °C a deformace 3 µm

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
15	B11	8546	8245	8396	8889	3,0	3,0	3,0
	B12	8373	8516	8445		3,0	3,0	
	B13	9003	8710	8857		3,0	3,0	
	B14	9820	40019	9920		3,0	3,0	
	B15	8850	8868	8859		3,0	3,0	
	B16	9040	8513	8777		3,0	3,0	
	B17	8669	9113	8891		3,0	3,0	
	B18	9470	8788	9129		3,0	3,0	
	B3	9944	8827	9386		3,0	3,0	
	B4	9028	9492	9260		3,0	3,0	

Tabulka 6.1.27 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 40 °C a deformace 3 µm

VMT 22								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
40	A1	911	910	911	1021	3,0	3,0	3,0
	A2	1008	932	970		3,0	3,0	
	A8	1193	1014	1104		3,0	3,0	
	A9	4232	4307	4270		3,0	3,0	
	A10	4296	4094	4195		3,0	3,0	
	A11	1172	1093	1133		3,0	3,0	
	A12	951	910	931		3,0	3,0	
	A13	923	928	926		3,0	3,0	
	A14	1161	1166	1164		3,0	3,0	
	A15	1032	1037	1035		3,0	3,0	



Tabulka 6.1.28 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 40 °C a deformace 3 μm

SMA								
Teplota [°C]	Vzorek	Modul tuhosti				Horizontální deformace		
		1-směr [MPa]	2-směr [MPa]	Průměr [MPa]	Stiffness [MPa]	1-směr [micron]	2-směr [micron]	Průměr [micron]
40	B1	606	537	572	591	3,0	3,0	3,0
	B2	633	679	656		3,0	3,0	
	B3	707	703	705		3,0	3,0	
	B4	490	487	489		3,0	3,0	
	B5	564	531	548		3,0	3,0	
	B6	464	453	457		3,0	3,0	
	B7	553	607	580		3,0	3,0	
	B10	637	671	654		3,0	3,0	
	B19	622	676	649		3,0	3,0	
	B20	577	578	578		3,0	3,0	

Tabulka 6.1.29 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 0 °C 4PB-PR

VMT 22 směs A		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
0 °C	Vzorek č.1	-	-	-	20558	23826	25296	27316
	Vzorek č.2	-	-	-	18807	21650	22130	26201
	Vzorek č.3	-	-	-	18909	21595	22741	28181
	Vzorek č.4	-	-	-	17525	19027	20381	24278
	Vzorek č.5	-	-	-	20227	22704	23697	26194
	Průměr	-	-	-	19205	21760	22849	26434

Tabulka 6.1.30 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 0 °C 4PB-PR

SMA směs B		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
0 °C	Vzorek č.1	-	18967	20748	22537	24811	26877	30927
	Vzorek č.2	-	19874	20995	23617	25445	26055	30920
	Vzorek č.3	-	19745	21898	23242	25041	26658	30488
	Vzorek č.4	-	18937	20882	22874	24913	26317	29066
	Vzorek č.5	-	19187	20665	22975	25159	26317	29067
	Průměr	-	19342	21038	23049	25074	26445	30094



Tabulka 6.1.31 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 15 °C 4PB-PR

VMT 22 směs A		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
15 °C	Vzorek č.1	-	-	7693	8887	10894	11915	13628
	Vzorek č.2	-	-	7495	8343	10323	11717	13605
	Vzorek č.3	-	-	7322	8531	10641	11665	13538
	Vzorek č.4	-	-	6689	7805	9472	11852	12239
	Vzorek č.5	-	-	7140	8552	10442	11252	12952
	Průměr	-	-	7268	8424	10354	11680	13192

Tabulka 6.1.32 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 15 °C 4PB-PR

SMA směs B		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
15 °C	Vzorek č.1	-	7414	8717	10076	12129	13408	15581
	Vzorek č.2	-	7118	8890	10497	12744	13737	15995
	Vzorek č.3	-	7364	9319	10944	13340	14437	16664
	Vzorek č.4	-	7167	8594	10007	12064	12879	15118
	Vzorek č.5	-	7416	9116	10770	13232	14496	16323
	Průměr	-	7296	8927	10459	12702	13791	15936

Tabulka 6.1.33 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 16 °C 4PB-PR

VMT 22 směs A		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
16 °C	Vzorek č.1	-	-	6966	8097	10015	10898	12663
	Vzorek č.2	-	-	6631	7728	9734	10796	13072
	Vzorek č.3	-	-	6717	8044	9929	10562	12417
	Vzorek č.4	-	-	6219	7933	9887	10409	12456
	Vzorek č.5	-	-	6433	7997	9948	10582	13080
	Průměr	-	-	6593	7960	9903	10649	12738



Tabulka 6.1.34 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 16 °C 4PB-PR

SMA směs B		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
16 °C	Vzorek č.1	-	6503	8053	9546	11907	12986	15035
	Vzorek č.2	-	6802	8346	9401	11744	12931	14628
	Vzorek č.3	-	-	-	-	-	-	-
	Vzorek č.4	-	6447	7562	8883	10839	11805	14830
	Vzorek č.5	-	6356	7598	9083	10975	11854	13970
	Průměr	-	6527	7890	9228	11366	12394	14616

Tabulka 6.1.35 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 27 °C 4PB-PR

VMT 22 směs A		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
27 °C	Vzorek č.1	-	-	2315	3593	4365	5066	6167
	Vzorek č.2	-	-	2495	3219	4312	4740	5911
	Vzorek č.3	-	-	2340	3328	4617	5142	6039
	Vzorek č.4	-	-	2193	3228	4260	4772	5833
	Vzorek č.5	-	-	2417	3221	4511	4905	5937
	Průměr	-	-	2352	3318	4413	4925	5977

Tabulka 6.1.36 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 27 °C 4PB-PR

SMA směs B		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
27 °C	Vzorek č.1	-	2315	2763	3587	5532	6073	7129
	Vzorek č.2	-	2346	2787	3566	5371	6016	7063
	Vzorek č.3	-	-	-	-	-	-	-
	Vzorek č.4	-	2421	2789	3747	5160	6077	7194
	Vzorek č.5	-	2305	2717	3308	5403	5972	6903
	Průměr	-	2347	2764	3552	5367	6035	7072



Tabulka 6.1.37 Modul tuhosti směsi VMT 22 při teplotě 40 °C 4PB-PR

VMT 22 směs A		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
40 °C	Vzorek č.1	-	934	1172	1446	1892	2115	2236
	Vzorek č.2	-	852	1097	1407	1986	2104	2377
	Vzorek č.3	-	916	1022	1525	1896	2112	2220
	Vzorek č.4	-	932	1014	1365	1793	2153	2274
	Vzorek č.5	-	946	1201	1582	1858	2074	2256
	Průměr	-	916	1101	1465	1885	2112	2273

Tabulka 6.1.38 Modul tuhosti směsi SMA při teplotě 40°C

SMA směs B		0,1 Hz	0,5 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
40 °C	Vzorek č.1	536	926	1314	1714	2293	2351	2425
	Vzorek č.2	573	947	1209	1919	2286	2355	2505
	Vzorek č.3	-	-	-	-	-	-	-
	Vzorek č.4	521	908	1226	1865	2234	2308	2464
	Vzorek č.5	-	-	-	-	-	-	-
	Průměr	543	927	1250	1833	2271	2338	2465