



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra silničních staveb**

**Laboratorní simulace stárnutí asfaltové směsi a vliv na vybrané
funkční charakteristiky**

**Laboratory simulation of asphalt mix ageing and its impact on selected
functional characteristics**

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Jan Valentin, Ph.D.

Adriana Kotoušová

Praha, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci na téma „Laboratorní simulace stárnutí asfaltové směsi a vliv na vybrané funkční charakteristiky“ vypracovala samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího bakalářské práce. Všechny použité zdroje a literatury jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se vztahuje zákon č.121/2000 sb., o právu autorském.

V Praze dne

.....

Adriana Kotoušová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Valentinovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a ochotu při řešení problémů. Dále děkuji kolegům ze silniční laboratoře Fakulty stavební ČVUT v Praze za zkušené rady, velkou ochotu a pomoc při jakémkoliv problému, zvláště mé poděkování patří Ing. Petru Mondscheinovi Ph.D., Jaroslavovi Kasalickému, Ing. Tereze Valentové a Ing. Pavle Vackové.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala celé své rodině, která mě po dobu mého studie podporovala.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou laboratorní simulace stárnutí asfaltových směsí a jeho vlivu na vybrané charakteristiky testovaných asfaltových směsí. Rešeršní část je zaměřena na existující či experimentálně posuzované metody simulovaného stárnutí a dosavadní poznatky simulovaného stárnutí asfaltových směsí. Poznatky byly získány z výzkumných prací prováděných v různých zemích, jejichž studie se zabývaly procesem stárnutí aplikovaného na asfaltové směsi a jeho vlivem na změny vybraných charakteristik asfaltové směsi. Praktická část je zaměřena na simulaci dlouhodobého stárnutí dvěma odlišnými způsoby, které jsou aplikované na několik různých typů zhutněných asfaltových směsí. Vliv procesu stárnutí byl zkoumán z pohledu změn mezerovitosti, modulu tuhosti získaného při různých teplotách, dále též z hlediska změny odolnosti asfaltové směsi proti šíření mrazové trhliny při zvolené teplotě 0 °C. Je zde uveden princip simulovaného stárnutí a zkoušení nezestárlých i zestárlých zhutněných asfaltových směsí. V závěru a vyhodnocení jsou shrnuty a porovnány výsledky z provedených typů zkoušek ovlivněných procesem stárnutí. Některé výsledky jsou vyjádřeny pomocí jednoduchého poměrového ukazatele – indexu stárnutí.

Klíčová slova: index stárnutí, stárnutí asfaltových směsí, modul tuhosti, odolnost vůči mrazové trhlíně

Abstract

This diploma thesis focuses on laboratory simulation of asphalt mix ageing and its impact on specific characteristics of these asphalt mixtures. The literature review was oriented mainly on laboratory simulation of asphalt mix ageing and current pieces of knowledge in the field of experimental simulation of asphalt mix ageing. Experience was obtained from research works done in different countries, whose studies involved the ageing process applied on asphalt mixtures and its impact on selected characteristics of an asphalt mixture. The practical part of this thesis is oriented on simulation of long-term ageing done by two different laboratory methods applied on several different types of compacted asphalt mixtures. Impact of ageing was researched on voids content, stiffness modulus determined at different temperatures, further resistance of asphalt mixture to crack propagation at test temperature of 0 °C. This part of the thesis describes the principle of ageing simulation and the testing of unaged and aged asphalt mixtures. The conclusions summarize and assess gained experimental results from different types of tests affected by ageing simulation. Some results were expressed by means of ageing index.

Key words: ageing index, asphalt mix ageing, stiffness modulus, the resistance to frost cracking

Obsah:

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| ÚVOD | - 8 - |
| REŠERŠNÍ ČÁST | - 9 - |
| 1 STÁRNUTÍ | - 9 - |
| 1.1 Faktory ovlivňující proces stárnutí | - 9 - |
| 1.2 Dlouhodobé a krátkodobé stárnutí | - 11 - |
| 2. METODY STÁRNUTÍ | - 12 - |
| 2.1 Metody stárnutí dle prEN 12697-52 | - 13 - |
| 2.1.1 Stárnutí volně ložené směsi | - 13 - |
| 2.1.2 Stárnutí zhutněné směsi | - 13 - |
| 2.2 Metody z výzkumných projektů | - 13 - |
| 3 POZNATKY Z VÝZKUMŮ RŮZNÝCH ZEMÍ | - 17 - |
| 3.1 Studie SHRP A-383 | - 17 - |
| 3.1.1 Simulace stárnutí | - 17 - |
| 3.1.2 Výroba | - 18 - |
| 3.1.3 Výsledky | - 18 - |
| 3.2 Studie A-390 | - 22 - |
| 3.2.1 Proces stárnutí | - 22 - |
| 3.2.2 Zvolené lokality ve státě Washington | - 23 - |
| 3.2.3 Zhodnocení | - 25 - |
| 3.3 Studie vlivu stárnutí na modul tuhosti horkých asfaltových směsí | - 26 - |
| 3.3.1 Příprava a stárnutí zkušebních těles | - 26 - |
| 3.3.2 Zhodnocení vlivu stárnutí | - 27 - |
| 3.4 Studie SATS | - 28 - |
| 3.4.1 Předběžné zkoušení | - 28 - |
| 3.4.2 Metoda SATS | - 30 - |
| 3.4.3 Rozsáhlejší testování metody SATS | - 31 - |
| 3.4.4 Standard SATS | - 34 - |
| 3.4.5 Závěry | - 36 - |
| 3.5 Studie vlivu tloušťky asfaltového filmu na proces stárnutí | - 36 - |
| 3.6 Shrnutí závěrů z popsaných studií | - 38 - |
| PRAKTICKÁ ČÁST | - 39 - |
| 4 MARSHALOVA TĚLESA A PROCES JEJICH ZÍSKÁNÍ | - 39 - |
| 4.1 Příprava zkušebních těles pro měření | - 40 - |
| 4.2 Aplikované metody stárnutí | - 40 - |
| 4.2.1 Stárnutí v teplotní komoře | - 42 - |
| 4.2.2 Stárnutí v tlakové nádobě PAV | - 42 - |
| 5 ZKOUŠENÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ | - 45 - |
| 5.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebního tělesa | - 46 - |
| 5.1.1 Postup a vyhodnocení | - 46 - |
| 5.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi | - 47 - |

| | |
|---------------------------------------------------------|---------|
| 5.2.1 Postup a vyhodnocení | - 47 - |
| 5.3 Mezerovitost zhutněných směsí..... | - 49 - |
| 5.4 Modul tuhosti | - 49 - |
| 5.4.1 Postup a vyhodnocení zkoušky | - 50 - |
| 5.5 Šíření trhliny | - 51 - |
| 5.5.1 Příprava zkušebního tělesa..... | - 51 - |
| 5.5.2 Postup a vyhodnocení zkoušky | - 52 - |
| 6 VYHODNOCENÍ | - 55 - |
| 6.1 Změna mezerovitosti | - 55 - |
| 6.2 Změna modulu tuhosti..... | - 57 - |
| 6.2.1 Modul tuhosti jednotlivých asfaltových směsí..... | - 57 - |
| 6.2.1.1 ACO11S _{Treb.} PMB..... | - 57 - |
| 6.2.1.2 ACP22S PMB | - 58 - |
| 6.2.1.3 ACL16 50/70 – různé varianty..... | - 59 - |
| 6.2.1.4 ACO11S PMB (HiMA) | - 61 - |
| 6.2.1.5 ACO11S 50/70..... | - 63 - |
| 6.2.1.6 SMA11S PMB | - 64 - |
| 6.2.1.7 Směsi VMT22..... | - 65 - |
| 6.2.1.8 ACO11 R25% 50/70..... | - 67 - |
| 6.2.1.9 ACP16+ R16% 50/70 | - 72 - |
| 6.2.2 Index stárnutí pro 5d@85°C a PAV@85°C..... | - 78 - |
| 6.2.3 Teplotní citlivost | - 80 - |
| 6.3 Odolnost vůči vzniku trhliny | - 82 - |
| 7 ZÁVĚR | - 92 - |
| SEZNAMY A PŘÍLOHY..... | - 95 - |
| 8.0 SEZNAMY | - 95 - |
| 8.1 Seznam použité literatury | - 95 - |
| 8.2 Seznam obrázků | - 96 - |
| 8.3 Seznam grafů..... | - 97 - |
| 8.4 Seznam tabulek..... | - 98 - |
| 8.5 Seznam použitých zkratk..... | - 99 - |
| 9.0 PŘÍLOHY | - 100 - |
| 9.1 Příloha A..... | - 100 - |
| 9.2 Příloha B..... | - 100 - |
| 9.3 Příloha C..... | - 101 - |
| PŘÍLOHA A..... | - 102 - |
| PŘÍLOHA B | - 107 - |
| PŘÍLOHA C..... | - 126 - |

ÚVOD

Snaha navrhovat vozovky s dlouhou životností, které se vyznačují dobrou trvanlivostí, nízkými výdaji na údržbu a možností po dosažení konce životnosti vozovku recyklovat, se v posledních letech zvyšuje. V současné době se nadále obecně zvyšuje spotřeba omezených zdrojů a to včetně materiálů potřebných pro výrobu asfaltových směsí, roste spotřeba jak finančních tak i energetických zdrojů a naše cíle jsou takové, abychom zefektivnili optimalizaci těchto nákladů a potřeb v průběhu celého životního cyklu jakékoli stavby a tedy logicky i konstrukce vozovky. Hlavním cílem je navrhovat vozovky s neomezenou životností, což je zatím nereálné. Co by mělo být naším hlavním cílem obecně je snaha plně recyklovat asfaltové vrstvy, tudíž plně využít recyklát získaný z asfaltové vozovky. Jenže díky působení okolních vlivů jako dopravního zatížení a klimatické podmínky, které souvisejí s poškozením (s únavou) asfaltové vozovky je proces 100 % recyklace v podobě výměny konstrukční vrstvy za vrstvu neproveditelný. Významný podíl na poškození či na rostoucí náchylnosti ke vzniku či šíření trhlin v asfaltové vozovce má stárnutí asfaltového pojiva. Určitý vliv na stárnutí má kromě asfaltového pojiva, také použité kamenivo, mezerovitost dané asfaltové vrstvy, tloušťka asfaltového filmu vytvořeného na povrchu zrn kameniva apod. Proces stárnutí způsobuje postupné tvrdnutí a křehnutí asfaltové vrstvy díky tomu vznikají únavové a mrazové trhliny, což má za následek snížení životnosti konstrukční vrstvy nebo celé konstrukce vozovky. [5]

Tvrdnutí (zvyšování tuhosti) asfaltové směsi vlivem stárnutí je nevratný proces, který přispívá ke snížené trvanlivosti a zvýšení nákladů na údržbu vozovek. Takže pochopení samotného procesu stárnutí asfaltových směsí by mohlo vést k lepšímu návrhu asfaltových směsí, k vhodnějšímu výběru materiálu a zvýšení výkonosti, tím pádem i k delší životnosti vozovky. Vliv stárnutí je proto dlouhodobě vyšetřován hlavně z hlediska stárnutí asfaltových pojiv. V této diplomové práci bylo řešeno dlouhodobé stárnutí asfaltových směsí a jeho vliv na vybrané funkční charakteristiky. Asfaltové směsi budou hodnoceny z hlediska změny tuhosti, odolnosti proti šíření trhlin a mezerovitosti. Mezi jednotlivými asfaltovými směsmi bude snaha najít možné korelace mezi sledovanými charakteristikami a simulovaným stárnutím.

1 STÁRNUTÍ

Vliv procesu stárnutí byl zkoumán v této diplomové práci pomocí simulovaného stárnutí s vlivem tepla a tlaku aplikovaného na zkušebních tělesech zhutněných asfaltových směsí. Samotný proces stárnutí asfaltových směsí je ovlivněn nejen použitým asfaltovým pojivem a kamenivem, ale také klimatickými podmínkami, kterým je vozovka za své životnosti vystavena. Během procesu stárnutí dochází k nárůstu tuhosti asfaltové směsi, díky čemuž se mění vlastnosti směsi. Toto „zpevnění“ asfaltové směsi může být prospěšné z hlediska vyšší tuhosti, lepšího rozložení zatížení a větší odolnosti proti trvalé deformaci. Nicméně stárnutí může mít a velmi často má za následek zvýšení křehkosti asfaltové směsi. Proto se vozovky stávají následně náchylnější k selhání při působení nízkých teplot nebo v důsledku postupné únavy materiálu a vzniku únavových trhlin. Z těchto důvodů má stárnutí vliv nejen na trvanlivost, ale také na recyklovatelnost asfaltové vrstvy v konstrukci vozovky.

Stárnutí asfaltových pojiv je v současné době běžně zkoušené pomocí krátkodobého stárnutí (např. metoda RTFOT) a dlouhodobého stárnutí (např. metoda PAV). Zkoušení vlivu stárnutí na asfaltových směsích je oproti posuzování stárnutí u asfaltových pojiv méně časté a obecně méně zavedené. Některé výzkumné projekty se sice zabývají procesem stárnutí asfaltových směsí, ale vliv účinku stárnutí je poté posuzován pouze na extrahovaném zestárlém asfaltovém pojivu. Stárnutí asfaltových vrstev závisí hlavně na přístupu kyslíku do jednotlivých vrstev, na účinku UV záření a na obsahu vzduchových mezer (mezerovitosti). Na proces stárnutí má zásadní vliv asfaltové pojivo a v menší míře i použité kamenivo. [1,2]

1.1 Faktory ovlivňující proces stárnutí

Na asfaltové směsi jsou kladeny stále větší nároky z hlediska trvanlivosti, odolnosti vůči únavě, odolnosti proti tvorbě trhlin a v případě aplikací do obrusných vrstev také třeba z hlediska drsnosti (protismykových vlastností) vozovky. Stárnutí je složitý proces, který je ovlivněn několika faktory, které mají vliv na trvanlivost asfaltové vozovky. Vliv těchto faktorů byl již popsán v bakalářské práci [1]. Některé z daných faktorů můžeme ovlivnit již při samotném návrhu směsi. Faktory ovlivňující proces stárnutí se dají rozdělit:

Vnitřní faktory:

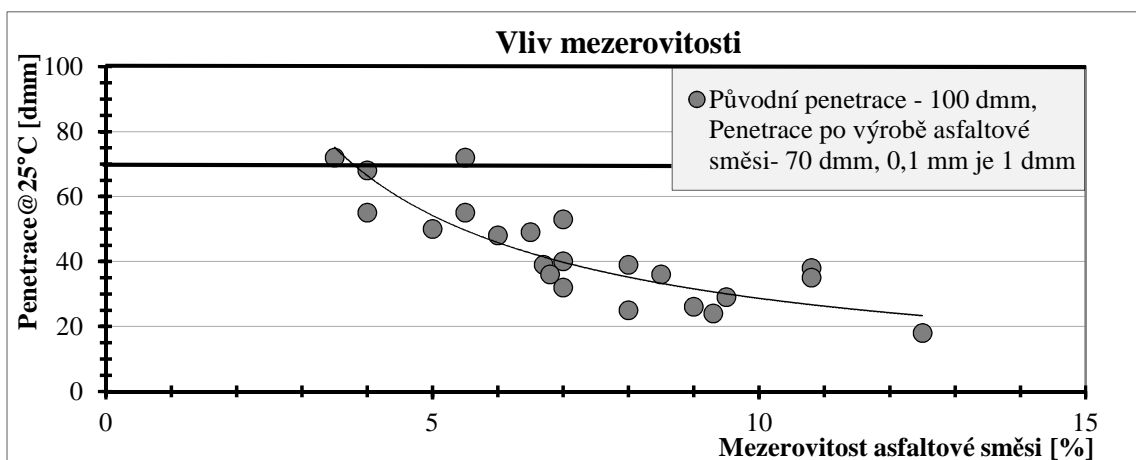
- obsah asfaltového pojiva
- vlastnosti asfaltového pojiva a kameniva
- tloušťka asfaltového filmu
- typ asfaltové směsi
- obsah vzduchových mezer

Vnější faktory:

- čas
- dopravní zatížení
- přístup kyslíku a vlhkosti
- klimatické podmínky
- UV záření
- působení vysokých teplot

Jak již bylo uvedeno, způsobují výše uvedené faktory, že asfaltová směs se během své životnosti postupně vytvrzuje, což vede k závažným reologickým změnám jako je zvýšení tuhosti, zvýšení křehkosti asfaltové směsi při nízkých teplotách, snížení penetrace, zvýšení bodu měknutí a zvýšení viskozity asfaltového pojiva. Důležitým faktorem při procesu stárnutí je mezerovitost. Čím vyšší bude obsah vzduchových mezer, tím se očekává vyšší míra ovlivnění stárnutím. V nedávném výzkumu, na kterém se podílel Hagos (2008), bylo zkoumáno asfaltové pojivo, získané z horních a spodních vrstev porézní asfaltové vozovky (tedy konstrukce z vrstev, které se vyznačovaly vyšší mezerovitostí). Získaná asfaltová pojiva vykazovala podobné reologické vlastnosti. Jeden z hlavních důvodů, proč tomu tak je, je právě přičítán většímu množství vzduchových mezer ve vrstvách vozovky, které umožnily lepší přístup kyslíku a vody. Vozovka byla vystavena neustálému působení kyslíku, což vedlo k oxidaci a tím pádem k nárůstu tvrdnutí asfaltové směsi přes celou tloušťku vrstvy v relativně krátkém časovém období. [3]

Pro zajímavost je dále uveden graf 1, na kterém je znázorněn vliv mezerovitosti na tvrdnutí asfaltového pojiva. Výsledky pocházejí z 5 let starého asfaltového betonu, který měl mezerovitost v rozmezí od 3 %-obj. do 12 %-obj.. Při obsahu vzduchových mezer nižších jak 5 % došlo k menšímu nárůstu tuhosti během procesu stárnutí vozovky v průběhu jejího provozu. Nicméně u obsahu vzduchových mezer větších než 9 % klesla penetrace od 7 mm až na 2,5 mm. Tedy čím vyšší mezerovitost, tím bude větší ovlivnění asfaltové směsi procesem stárnutí. Získané výsledky dokazují, jak důležitý vliv má obsah vzduchových mezer na tvrdnutí asfaltové směsi. [3]



Graf 1 Penetrace v závislosti na mezerovitosti u 5 let staré asfaltové vozovky [3]

Vliv na stárnutí má určitým způsobem i použité kamenivo, proto již některé studie doporučují provádět stárnutí na asfaltových směsích, i když vliv stárnutí bude následně hodnocen na zestárlém pojivu, které se musí ze zestárlé asfaltové směsi extrahovat. Stárnutí závisí na reakci mezi asfaltovým pojivem a kamenivem. Důležitým faktorem u použitého kameniva je jeho povrchový náboj. Povrchový náboj u kameniva závisí na chemickém složení a krystalické mřížce. Obecně platí, že kamenivo, které má zvýšený obsah oxidu křemičitého SiO_2 (podíl více jak 65 %) má záporný náboj, a snižuje se u něho schopnost dobré přilnavosti asfaltového pojiva ke kamenivu. V důsledku snížené přilnavosti by měl být vliv stárnutí výraznější. Tento druh kameniva (žula, křemen) bývá označován jako „kyselý“. Naproti tomu kameniva s kladným nábojem jako třeba vápenec mají lepší přilnavost k asfaltovému pojivu, a proto by měl být vliv

procesu stárnutí menší. Kamenivo s kladným nábojem je označováno jako „bazické nebo zásadité“. Vliv „kyselého“ a „bazického“ kameniva bude uveden níže u studie SATS. [4]

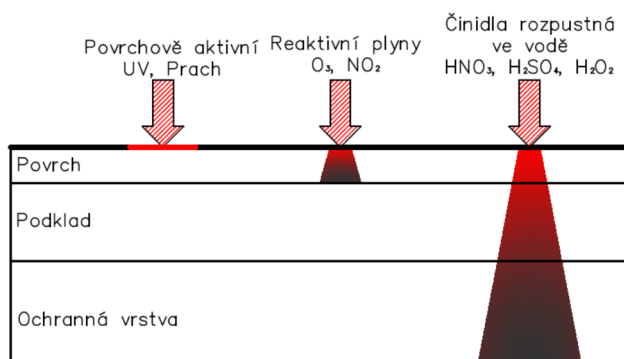
1.2 Dlouhodobé a krátkodobé stárnutí

Stárnutí asfaltové směsi je obecně rozděleno na:

1. Krátkodobé stárnutí, které probíhá v řádu několika hodin. K procesu stárnutí dochází v průběhu výroby asfaltové směsi, v důsledku kontaktu horkého kameniva s rozehrátým asfaltovým pojivem, dále pokračuje při dopravě, pokládce a zhutněním asfaltové směsi ve vozovce končí.
2. Dlouhodobé stárnutí, které začíná po skončení krátkodobého procesu stárnutí, tudíž po zhutnění asfaltové směsi ve vozovce, pokračuje až do konce životnosti asfaltové vozovky. Dlouhodobé stárnutí probíhá v řádu několika let či desetiletí.

Krátkodobé stárnutí je spojováno s oxidací a odpařováním lehkých složek asfaltového pojiva. Odpařování lehkých (nebo snadněji těkavých) organických látek z asfaltového pojiva vlivem vysoké teploty způsobuje termické stárnutí. Současně s termickým stárnutím probíhá, v důsledku přístupu kyslíku a vysoké teploty, oxidativní stárnutí. Vlivem vysokých teplot dochází k rychlejšímu vytvrzení asfaltové směsi během procesu stárnutí. Dále během krátkodobého stárnutí dochází k více jak 50 % ovlivnění stárnutím, a proto je důležité již při samotné výrobě asfaltové směsi omezit účinek krátkodobého stárnutí pomocí dostupných materiálů a technologií, a zvýšit tak možnost prodloužení trvanlivosti vozovky a snahu recyklovat vozovku po skončení její životnosti.

Dlouhodobé stárnutí závisí na krátkodobém, a proto výroba a pokládka asfaltové směsi musí být provedena co nejlépe, aby směs byla méně náchylná k vlivu stárnutí během své životnosti. Dlouhodobé stárnutí je spojováno s progresivní oxidací asfaltového pojiva v průběhu životnosti vozovky. Hlavním zdrojem dlouhodobého stárnutí je kyslík obsažený ve vzduchu a také působící UV záření. Přičemž působení UV záření se omezuje jen na horní vrstvu asfaltové vozovky, a to v řádu nano- až mikrometrů, oproti tomu kyslík proniká hlouběji do vrstev. Další reaktivní plyny jako oxidy dusíku či ozon mohou ovlivnit stárnutí navzdory skutečnosti, že jejich koncentrace je hluboko pod úrovní vzdušného kyslíku. V důsledku účinku vody mohou rozpustná oxidační činidla, jako jsou HNO_3 , H_2SO_4 a H_2O_2 , pronikat hlouběji do vrstvy vozovky a ovlivnit tak proces stárnutí. Koncentrace těchto látek bývá nízká, ale doba jejich působení v závislosti na vnějších podmínkách může být velmi dlouhá, což může vést k vyvolání procesu stárnutí hlouběji v konstrukci asfaltové vozovky. Rychlost stárnutí se během dlouhodobého stárnutí postupně snižuje, obzvláště po prvních několika letech (2 až 3 roky) využívání vozovky. [3,5]



Obr. 1 Účinky působení látek obsažených ve vzduchu [5]

2.METODY STÁRNUTÍ

V současné době existuje řada metod pro simulaci krátkodobého a dlouhodobého stárnutí asfaltových směsí. Některé metody stárnutí jsou uvedeny v normě prEN 12697-52 a řada dalších metod je uvedena v některých mezinárodních výzkumných projektech. Obecně se využívají dva způsoby stárnutí asfaltové směsi. Stárnutí můžeme provádět na volně ložené asfaltové směsi nebo na zhutněných zkušebních tělesech z asfaltové směsi. Porovnání procesu stárnutí z hlediska formy, ve které je asfaltová směs tomuto ději vystavena, lze shrnout následovně:

Volně ložená směs:

- Výhody:
 - rychlejší účinek oxidace v asfaltové směsi,
 - homogenita směsi,
 - zachování integrity tělesa.
- Nevýhody:
 - horší spojení volně ložené zestárlé směsi při hutnění,
 - omezené množství směsi při procesu stárnutí např. stárnutí v tlakové komoře PAV nebo při prodloužené době míchání v míchacím zařízení. [6]

Zhutněná tělesa:

- Výhody:
 - lepší aplikace stárnutí pro zkoušení deformačních charakteristik, přičemž se může omezit vliv deformace tělesa nebo ztráty směsi pomocí obalení tělesa ocelovou sítkou.
- Nevýhody:
 - pomalejší proces oxidace,
 - může docházet ke ztrátě integrity těles při působení vysokých teplot nebo v důsledku vyššího působícího tlaku (např. při umístění zkušebního tělesa do PAV),
 - vliv stárnutí se projevuje hlavně na povrchu tělesa, uvnitř tělesa je vliv stárnutí menší. [6]

Stárnutí volně ložené směsi by mělo být z hlediska vlivu stárnutí a homogenity asfaltové směsi výhodnější než stárnutí zhutněných zkušebních těles. Pro účely testování je však potřeba volně loženou směs, která byla podrobena vlivu stárnutí ztuhnout a zde může nastat problém. Pro ztuhnutí zestárlé asfaltové směsi by mělo být potřeba více energie z hlediska dosažení stejné mezerovitosti, jako tomu bylo dosaženo u ztuhnuté nezestárlé asfaltové směsi. Přidáním hutnicí energie se ale může změnit celková struktura směsi a její následné vlastnosti. Rychlost procesu stárnutí aplikovaného na ztuhněných zkušebních tělesech lze ovlivnit zvýšením teploty, ale to může vést k poškození ztuhněných těles. [6]

2.1 Metody stárnutí dle prEN 12697-52

V normě PrEN 12697-52 z roku 2013 jsou popsány metody stárnutí na volně ložené směsi a na ztuhnuté směsi v podobě válcových zkušebních těles.

2.1.1 Stárnutí volně ložené směsi

Volně ložená směs se umístí do vhodné plechové nádoby, tak aby tloušťka vrstvy byla přibližně 25 ± 5 mm. Takto připravenou asfaltovou směs vložíme stárnout do vyhřívací komory s nucenou ventilací vzduchu. Stárnutí volně ložené směsi probíhá při zvýšené teplotě pro urychlení procesu stárnutí. Metody stárnutí pro volně loženou směs jsou rozděleny na krátkodobé a dlouhodobé metody stárnutí.

Metody uvedené v normě prEN 12697-52 pro volně loženou směs:

- Krátkodobé stárnutí
 - AASTHO R30/02 po dobu 4 hodin při teplotě 135 °C
- Dlouhodobé stárnutí
 - BRRC (336 hodin, 60 °C)
 - RILEM (216 hodin, 85 °C)
 - BSA (96 hodin, 80 °C s perforovanou deskou) [1,12]

2.1.2 Stárnutí ztuhnuté směsi

Proces stárnutí je aplikován na ztuhnutou směs. Ztuhnutá asfaltová tělesa (nejčastěji válcová zkušební tělesa) se umístí do mělké nádoby a dají se stárnout, a to buď do ohřívací komory, kde jsou tělesa vystavena teplotě 85 °C po dobu 5 dnů dle SHRP/AASHTO, nebo se tělesa umístí do triaxiální komory za nuceného proudění plynného média (ozon obohacený o stlačený vzduch). Metoda stárnutí v triaxiální komoře též nazývaná jako nízkotlaká oxidace je podrobněji popsána v bakalářské práci [1,12]

2.2 Metody z výzkumných projektů

K simulaci stárnutí se nejčastěji používá teplota, tlak a vliv UV záření. Některé z metod stárnutí pro volně loženou směs a pro ztuhnutá zkušební tělesa jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2. Metody krátkodobého stárnutí pro volně loženou směs se dají rozdělit dle článku SHRP 305 na:

1. Prodlouženou dobu míchání – prodloužená doba míchání je nevyhnutelnou součástí procesu, který je vhodné z laboratorního hlediska zkoumat. Velkou výhodou

prodloužené doby míchání je, že směs je po celou dobu míchána, tudíž výsledná asfaltová směs bude homogenně zestárlá.

2. Stárnutí v teplotní komoře – volně ložená směs bývá nejčastěji udržována při teplotě 135 °C po dobu 0, 8, 16, 25 a 36 hodin.
3. Mikrovlňné stárnutí – mikrovlňné stárnutí umožňuje řízený způsob ohřívání, ale prozatím existuje velmi málo poznatků o stárnutí v mikrovlňné troubě. [8]

Dlouhodobé stárnutí bývá nejčastěji aplikováno na zhutněných zkušebních tělesech, která bývají vystaveny vlivům teploty, vlhkosti, tlaku a infračervenému/ultrafialovému záření. Dříve se přepokládalo, že by zkušební tělesa měla být vystavena maximálně teplotě okolo 60 °C. V současné době bývá aplikovaná teplota stárnutí mezi 85 °C a 100 °C. Metody stárnutí dle SHRP 305:

1. Tlakovou oxidaci
2. Stárnutí v teplotní komoře
3. Triaxiální komora
4. Vystavení infračervenému/ultrafialovému záření

Tab. 1 Metody stárnutí aplikované na zhutněných asfaltových směsích [6]

| Metoda stárnutí | Teplota | Doba | Umístění asfaltové směsi |
|-------------------------------------------------|-------------------|------------|---------------------------------------|
| | [°C] | [h, dny] | |
| AAMAS (Von Quintus et al. 1992) | 2d@60°C +5d@107°C | 7 dní | teplotní komora |
| TRL (Nicholls 2006) | 60 | 48 hodin | teplotní komora |
| EMPA (Van den Bergh 2011) | 110–120 | 16 hodin | teplotní komora |
| AASHTO R30-02 (Bell et al. 1994) | 85 | 5 dní | teplotní komora |
| Nottingham University SATS (Collop et al. 2004) | 85 | 65 hodin | PAV, tlak 2,1MPa, saturace |
| Hayicha et al. (2003) | 60 | 20 dní | teplotní komora |
| Tia et al. (1988) | 60 | 90 dní | teplotní komora s nebo bez UV radiace |
| Liverpool University | 60 | 21 dní | teplotní komora |
| Mugler (1970) | 163 | 5 hodin | teplotní komora |
| Hveem et al. (1963) | 60 | 1000 hodin | teplotní komora |
| Martin et al. (2003) | 3d@70°C + 4d@80°C | 7 dní | PAV |

Tab. 2 Metody stárnutí aplikované na volně ložené asfaltové směsi [6]

| Metoda stárnutí | Krátkodobé stárnutí | | Dlouhodobé stárnutí | | Umístění asfaltové směsi |
|-----------------------------------------|---------------------|---------|---------------------|----------|--------------------------|
| | Teplota | doba | Teplota | doba | |
| | [°C] | [hodin] | [°C] | [h, dny] | |
| Van Gooswilligen (1989) | - | - | 160 | 16 h | teplotní komora |
| Shell (Read and Whiteoak 2003) | výrobní teplota | 2 | 80 | 7 dní | teplotní komora |
| LCPC (Such et al. 1997) | 135 | 4 | 100 | 24 h | teplotní komora |
| RILEM TG5 (De la Roche et al. 2009) | 135 | 4 | 85 | 7–9 dní | teplotní komora |
| BRRC (Belgian Road Research Center) | 135 | 1,5 | 60 | 14 dní | teplotní komora |
| Re-Road (Mollenhauer and Mouillet 2011) | 135 | 4 | 90 | 20 h | PAV |
| Van den Bergh (2011) | 153, 130 | 4, 3 | 85, 90 | 7 dní | teplotní komora |

Nejčastěji využívaný postup stárnutí byl vypracován v projektu SHRP A-003A. V tomto postupu je aplikováno jak krátkodobé, tak i dlouhodobé stárnutí. Krátkodobé stárnutí je aplikováno na volně loženou asfaltovou směs, která je po dobu 4 hodin vystavena teplotě 135 °C. Krátkodobý proces stárnutí vyžaduje míchání asfaltové směsi špachtlí každou hodinu po dobu jedné minuty. Po skončení stárnutí se asfaltová směs zhutní. Zhutněná tělesa jsou podrobena dlouhodobému stárnutí v teplotní komoře při teplotě 85 °C po dobu 5 dnů. Krátkodobý proces stárnutí by měl odpovídat 2 rokům stáří vozovky s nižším obsahem vzduchových mezer. Dlouhodobý proces stárnutí by měl odpovídat 5 až 15 letům běžně využívané asfaltové vozovky v provozu v závislosti na klimatu oblasti. [3]

Na vídeňské technické univerzitě vznikla vídeňská metoda stárnutí. Zkušební tělesa z asfaltové směsi jsou během několika dní vystavena procesu stárnutí, které má simulovat stav dlouhodobého stárnutí vozovky v provozu. Pro proces stárnutí se využívá triaxiální komora obdobná komoře, která se používá na zkoušení nestmelených vrstev a zemin. Těleso se uloží do válcové nádoby, do které proudí přetlak pomocí vhodného oxidačního činidla. Nejvhodnější oxidační činidla jsou čistý kyslík a kyslík obohacený ozonem. Triaxiální komora je uložena v klimatizační komoře při teplotě 45 °C až 85 °C, kvůli zvýšení rychlosti oxidace a procesu stárnutí. Výhodou této metody je zachovaný (neměnný) tvar tělesa, jelikož tlak působí ze všech stran rovnoměrně, tak je těleso rovnoměrně zatěžováno a stárnuto. Tuto metodu je možno využít pro směsi s minimální mezerovitostí 5 %. Metoda se dá z hlediska teploty, tlaku doby trvání či výběru oxidačního činidla nastavit a tím pádem se dají lépe realizovat podobné podmínky jako v in-situ. [5]

Standartní metoda používaná ve Spojených státech k posouzení dlouhodobého stárnutí zhutněné asfaltové směsi je AASHTO R30 (2002). Při této metodě se nejdříve asfaltová směs podrobí krátkodobému stárnutí, kdy je volně ložená směs vystavena teplotě 135 °C po dobu 4 hodin. Poté se asfaltová směs zhutní. Zhutněná tělesa se podrobí dlouhodobému stárnutí v teplotní komoře při teplotě 85±3 °C po dobu 120±0,5 hodin. Tento typ stárnutí by měl představovat 5 až 10 let stárnutí vozovky v provozu. Dle Browna a Scholze (2000) krátkodobé stárnutí volně ložené směsi při teplotě 135 °C zvyšuje tuhost asfaltové směsi přibližně o 9 až 24 % za hodinu stárnutí. [6]

Porovnání procesu stárnutí aplikovaného metodou stárnutí v teplotní komoře a stárnutí pomocí tlakové oxidace.

Stárnutí v teplotní komoře:

- Výhody:
 - snadno proveditelná metoda,
 - možnost stárnutí asfaltových směsí z hlediska většího objemu směsi.
- Nevýhody:
 - delší doba stárnutí oproti metodě PAV,
 - potřeba dávat pozor na integritu těles při působení vyšších teplot. [6]

Stárnutí pomocí tlakové oxidace:

- Výhody:
 - tlak může urychlit proces stárnutí,
 - spolehlivější, menší variabilita mezi laboratořemi.
- Nevýhody:
 - menší kapacita,
 - problém s integritou zhutněných těles během testování i po něm. [6]

V článku „Development of a laboratory ageing method for bitumen in porous asphalt“ byly zkoumány tři metody stárnutí na asfaltových směsích s vysokým obsahem vzduchových mezer. Navrhovaná mezerovitost směsi PA byla kolem 20 %. Prováděné zkoušky po zestárnutí asfaltové směsi byly zkoušky na zestárlém pojivě (penetrace, bod měknutí, DSR). Hlavním důvodem uvedení toho článku je zkušenost s využitím protokolu 2, který byl převzat z projektu Hagos (2008). Právě v protokolu 2 byla asfaltová směs vystavena krátkodobému stárnutí po dobu 4 hodin a při teplotě 135 °C a poté zhutněna. Zhutněná tělesa byla vystavena dlouhodobému stárnutí, které probíhalo v tlakové nádobě po dobu 7 dnů za působení tlaku 2,1 MPa. Během 7 dnů byla tělesa vystavena teplotě 70 °C po dobu 3 dnů, a teplotě 80 °C po dobu 4 dnů. Laboratorní stárnutí protokolu 2 však nebylo úspěšné z hlediska velké deformace (poškození) těles a vytečení asfaltového pojiva během procesu stárnutí. Směs s takto vysokou mezerovostí nebyla schopna udržet působení tlaku. Dále mohl být problém z hlediska použitého asfaltového pojiva a jeho bodu měknutí. Tělesa by se musela vůči poškození během zkoušky zabezpečit bočně a zároveň by se musela snížit teplota a prodloužit doba stárnutí, aby se dosáhlo požadovaného zestárnutí směsi. [3]

3 POZNATKY Z VÝZKUMŮ RŮZNÝCH ZEMÍ

Všechny grafy byly zpracovány ze získaných dat jednotlivých studií. Některé výsledky budou vyjádřeny pomocí indexu stárnutí, který reprezentuje navýšení nebo pokles původní tuhosti asfaltové zhutněné směsi. Index stárnutí se vypočítá dle rovnice (1):

$$\text{Index stárnutí} = \frac{\text{modul tuhosti zestárlého vzorku při teplotě } T}{\text{modul tuhosti nezestárlého vzorku při teplotě } T} \quad (1)$$

3.1 Studie SHRP A-383

Cílem této studie bylo vyhodnotit metody krátkodobého a dlouhodobého stárnutí. Krátkodobé metody stárnutí zahrnovaly stárnutí v teplotní komoře nebo aplikaci prodloužené doby míchání asfaltové směsi. Dlouhodobé metody zahrnovaly stárnutí v teplotní komoře, tlakové stárnutí a nízkotlakou oxidaci. Celkem byly vyráběny čtyři asfaltové směsi ve dvou úrovních mezerovitosti, které měly představovat dobrou a střední zhutnitelnost.

3.1.1 Simulace stárnutí

Krátkodobé metody byly aplikovány na volně ložené asfaltové směsi a dlouhodobé metody byly aplikovány na zhutněná zkušební tělesa. Použité metody stárnutí v této studii jsou shrnuty v tabulce 3.

Tab. 3 Metody stárnutí využité ve studii SHRP A-383

| Stárnutí | Asfaltová směs | Stabilizace před stárnutím | Doba | Teplota | Tlak | |
|------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|----------|-----------|
| | | | [min/h/dny] | [°C] | [kPa] | |
| Krátkodobé | Teplotní komora | Volně ložená | - | 0, 6, 15 h | 135, 163 | - |
| | Prodloužená doba míchání | Volně ložená | - | 10, 120, 360 min | 135, 163 | - |
| Dlouhodobé | Teplotní komora | Zhutněná tělesa | 2 dny, 40 °C nebo 60 °C | 0, 2, 7 dní | 107 | - |
| | Tlaková oxidace | Zhutněná tělesa | - | 2, 7 dní | 25, 60 | 690, 2070 |
| | Triaxiální komora | Zhutněná tělesa | - | 1, 3 dny | 25, 60 | 345 |

Krátkodobé stárnutí

- Stárnutí v teplotní komoře

Krátkodobý postup stárnutí zahrnoval stárnutí volně ložených směsí v teplotní komoře po dobu 0, 6 nebo 15 hodin při teplotě 135 °C nebo 163 °C. Krátkodobě zestárlé asfaltové směsi poté byly zhutněny na požadovanou mezerovitost a odzkoušeny na modul tuhosti.

- Prodloužená doba míchání

Asfaltové směsi, které byly vystaveny prodloužené době míchání, byly míchány standartním postupem s prodlouženou dobou o 10, 120 nebo 360 minut při teplotě 135 °C nebo 163 °C. Zestárlé asfaltové směsi byly opět zhutněny a odzkoušeny na modul tuhosti.

Dlouhodobé stárnutí

- Stárnutí v teplotní komoře

Zvolený postup v této studii pro dlouhodobé stárnutí v teplotní komoře, zahrnoval nejdříve stabilizaci ztuhnutých zkušebních těles po dobu 2 dnů teplotě 40 °C nebo 60 °C v teplotní komoře s nuceným prouděním vzduchu. Po skončení stabilizace byla tělesa vystavena dlouhodobému stárnutí po dobu 0, 2 nebo 7 dnů teplotě 107 °C

- Tlaková oxidace

Ztuhnutá zkušební tělesa byla vystavena po dobu 2 nebo 7 dnů teplotě 25 °C nebo 60 °C tlaku 690 kPa nebo 2070 kPa. K procesu stárnutí byl použit kyslík. Stabilizační krok prováděný u předchozí metody stárnutí v teplotní komoře, zde není nutný.

- Stárnutí v triaxiální komoře (LPO)

Zkušební těleso je klimatizováno v triaxiální zkušební komoře, kde skrz těleso je propouštěn kyslík. Průtok kyslíku je 0,11 m³/h, což vyžaduje tlak přibližně 345 kPa. Testování bylo prováděno při teplotách 25 °C a 60 °C po dobu 1 a 3 dnů. Tato metoda je též nazývána jako nízkotlaková oxidační metoda a představuje možnou alternativu ke stárnutí ztuhnutých těles v teplotní komoře.

3.1.2 Výroba

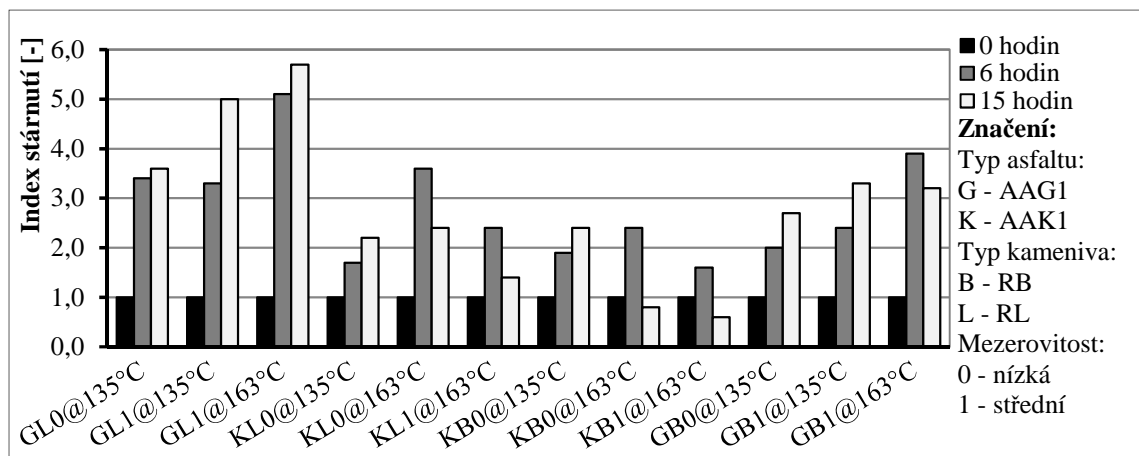
Asfaltové směsi byly vyráběny ze dvou asfaltových pojiv s odlišnými vlastnostmi určených dle SHRP a specifikovaných kódy AAK-1 a AAG-1. Stejně tak byly použity dva druhy kameniva označených kódy RB (drcená žula) a RL (směsný štěrk). Asfaltové směsi byly ztuhňovány tlakem 1725 kPa nebo 3450 kPa pro dosažení dvou cílových mezerovitostí a to 4 % a 8 %. Pro každou metodu stárnutí bylo připraveno a testováno přibližně 36 těles. Pro metodu stárnutí v triaxiální komoře a metodu tlakové oxidace bylo odzkoušeno až 48 těles.

3.1.3 Výsledky

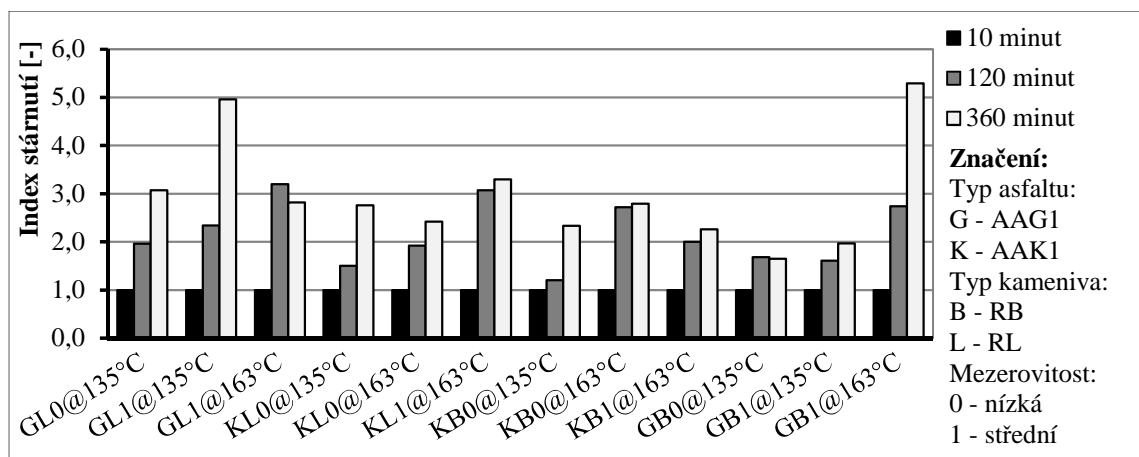
Prováděnou a vyhodnocenou zkouškou byl modul tuhosti, který byl vyhodnocen pomocí indexu stárnutí. Další prováděnou zkouškou byla pevnost v příčném tahu. Tato zkouška se již netýká této diplomové práce a nebude zde dále vyhodnocena.

Údaje z krátkodobého stárnutí z teplotní komory jsou zobrazeny v grafu 2 a naznačují, že k významnému stárnutí neboli k významnému navýšení modulu tuhosti dochází převážně s časem stárnutí v závislosti na teplotě. Pokud byla použita teplota 163 °C, tak poměr modulu tuhosti pro asfaltovou směs zestárlou 15 hodin byl mnohdy menší než pro asfaltové směsi zestárlé pouze 6 hodin. Tento rozdíl by mohl být přičítán většímu zestárnutí asfaltového filmu na obaleném kamenivu a nemožnosti náležitě ztuhnout volně zestárlou asfaltovou směs. Tělesa vyráběná ze zestárlé asfaltové směsi po dobu 15 hodin při teplotě 163 °C měla vyšší mezerovitost (až 13-17 %), než tělesa vyrobená ze zestárlé směsi, která stárla kratší dobu při nižší teplotě. Směsi zestárlé při teplotě 135 °C se chovaly odlišně. U těchto směsí modul tuhosti postupně vzrůstal s dobou stárnutí. Krátkodobé stárnutí vedlo převážně ke dvojnásobnému zvýšení modulu tuhosti a u některých směsí dokonce až k čtyřnásobnému zvýšení modulu tuhosti.

Výsledky indexu stárnutí z prodloužené doby míchání asfaltové směsi jsou zobrazeny v grafu 3. Výsledky opět dokazují, že k navýšení modulu tuhosti dochází s časem stárnutí, jak již bylo zmíněno výše u krátkodobé metody stárnutí s teplotní komorou. I přestože tato zkouška probíhala úspěšně z hlediska dosaženého stárnutí, tak zde byl problém s výrobou zestárlé asfaltové směsi. V míchačce na asfaltovou směs mohla být míchána pouze jedna asfaltová směs, tudíž výroba jedné směsi s prodlouženou dobou míchání např. směs míchaná po dobu 360 minut byla časově náročná. Bylo by tedy potřeba více míchacích zařízení, popřípadě nějak modifikovat výhřevné komory, které by umožňovaly míchání asfaltové směsi během procesu stárnutí. Prodloužená doba míchání vedla u některých asfaltových směsí až k trojnásobnému navýšení modulu tuhosti.



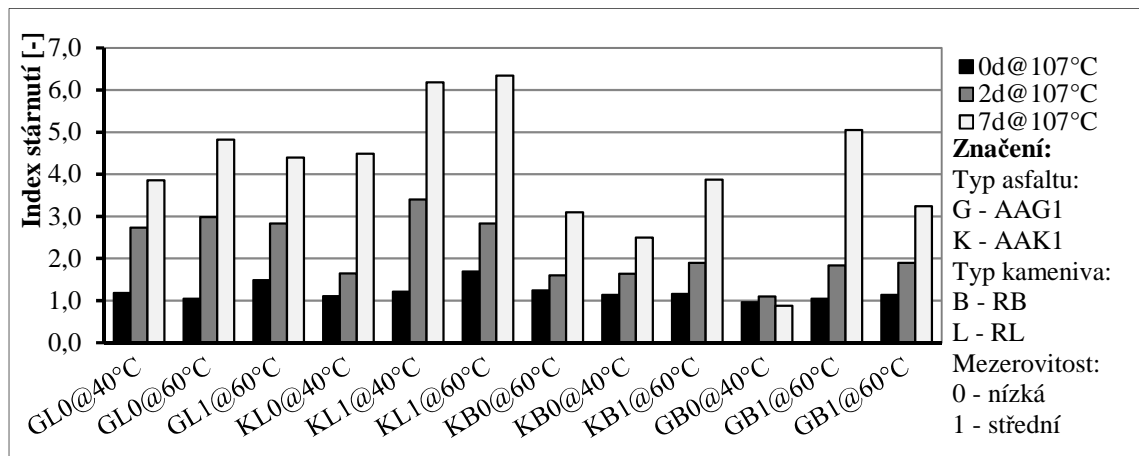
Graf 2 Index stárnutí modulu tuhosti u krátkodobého stárnutí volně ložené směsi dle SHRP A-383



Graf 3 Index stárnutí modulu tuhosti u krátkodobého stárnutí s vlivem prodloužené doby míchání dle SHRP A-383

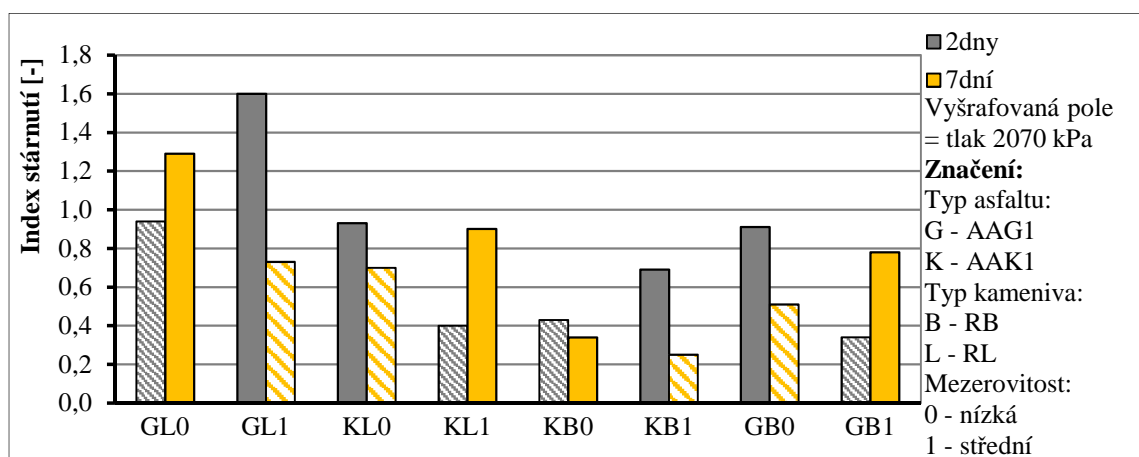
Index stárnutí dlouhodobého stárnutí při teplotě 107 °C po 0 dnech není roven hodnotě jedna, protože tělesa byla po ztuhnutí vytavena stabilizaci po dobu 2 dnů při teplotě 40 °C nebo 60 °C a tím došlo k mírnému nárůstu modulu tuhosti ještě před samotným procesem stárnutí. Po stabilizaci těles při teplotě 40 °C došlo k navýšení modulu tuhosti přibližně o 15 %, a při teplotě 60 °C k navýšení o 27 %. Opět zde můžeme pozorovat, že čím déle byla tělesa vystavena dané teplotě, tím více se navýšil modul tuhosti. Po 2 dnech stárnutí při teplotě 107 °C došlo k nárůstu přibližně o 50-150 %. Po 7 dnech došlo k navýšení o 140-400 %. Vše záviselo na typu asfaltové směsi a na její ztuhitelnosti neboli její dosažené mezerovitosti. Tělesa, která měla větší

mezerovitost, zestárla o něco více, a proto jejich modul tuhosti vycházel o něco vyšší než modul tuhosti u těles s nižší mezerovitostí. Zároveň však tělesa s nižší mezerovitostí měla počáteční modul tuhosti vyšší než tělesa s vyšší mezerovitostí. Např. tělesa ze směsi GL0 s nižší mezerovitostí měla před stabilizací modul tuhosti 1800–2300 MPa a tělesa GL1 s vyšší mezerovitostí měla modul tuhosti před stabilizací 1600-1780 MPa. Přestože modul tuhosti u těles s vyšším podílem vzduchových mezer je nižší, tak již po stabilizaci je nárůst modulu tuhosti výraznější (GL1@60°C) než u těles (GL0@60°C) s nižším podílem vzduchových mezer. Výsledky jsou zobrazeny na grafu 4.



Graf 4 Index stárnutí modulu tuhosti u dlouhodobého stárnutí v teplotní komoře + stabilizace

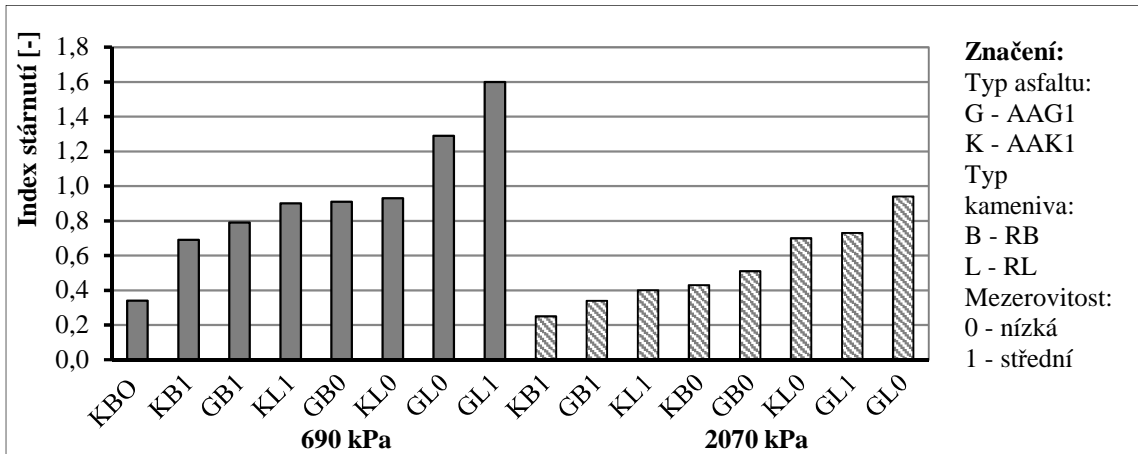
Při procesu stárnutí v tlakové komoře docházelo převážně k vnitřnímu porušení ztuhnutých těles a tím pádem docházelo ke snížení modulu tuhosti. U těles, která byla vystavena extrémním podmínkám a to 60 °C při tlaku 2070 kPa po dobu 7 dnů, došlo k největšímu snížení modulu tuhosti. Působící tlak narušil integritu tělesa, čímž byl snížen modul tuhosti. K největšímu porušení pravděpodobně docházelo, když byl tlak uvolněn z nádoby na konci zkoušky. Hlavním faktorem stárnutí u tlakové oxidace bude nejspíše působící tlak a jeho odtlačování, jelikož nejvíce ovlivnil výsledné snížení modulu tuhosti, ale zároveň bude snížení modulu tuhosti záviset, také na teplotě, při které byl tlak aplikován. Výsledky jsou zobrazeny na grafech 5 a 6.



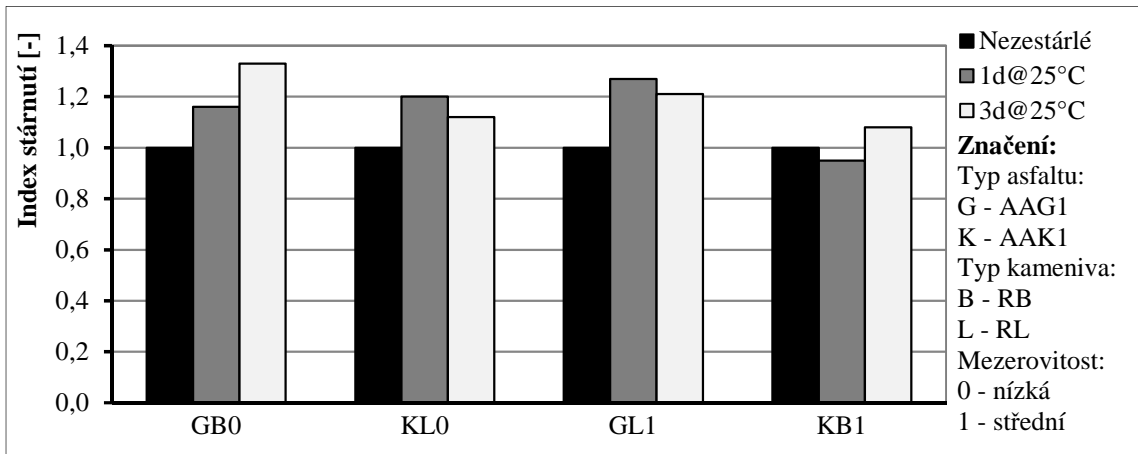
Graf 5 Index stárnutí modulu tuhosti u stárnutí pomocí tlakové oxidace

Data zobrazená v grafech 7 a 8 ukazují mírný nárůst modulu tuhosti po stárnutí v triaxiální komoře při teplotě 25 °C a 60 °C. Při teplotě 25 °C dochází po 1 dni k nárůstu přibližně o 20 % a po 3 dnech k nárůstu o 33 %. Některé směsi vykazovaly snížení po 3 dnech stárnutí, což

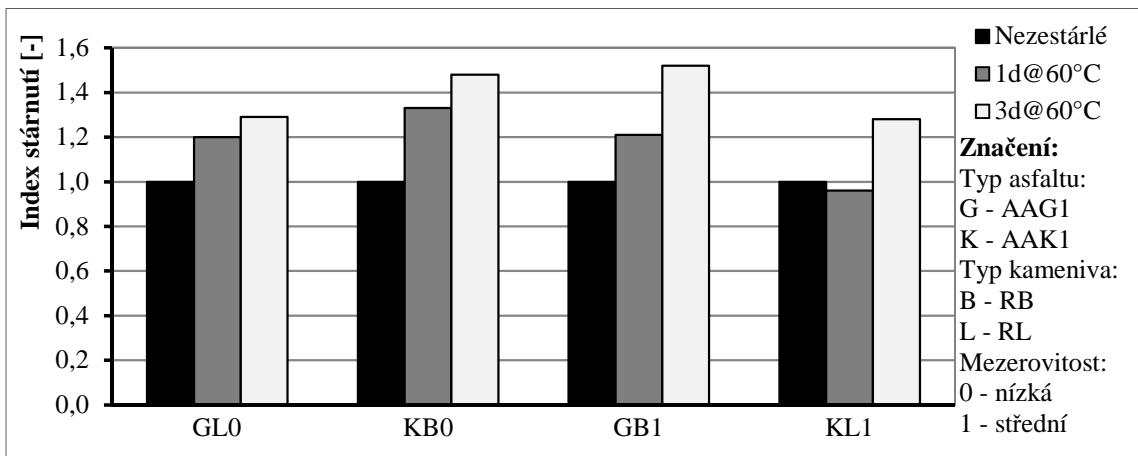
mohlo být dáno horší integritou těles a také nižší teplotou. Jelikož při teplotě 60 °C dochází po 1 dni k nárůstu o 20–30 % a po 3 dnech k nárůstu o 30-50 %. Přepokládá se, že pokud by se teplota stárnutí zvýšila například na 85 °C a doba stárnutí na 7 dní, tak by mohlo dojít k podstatnému nárůstu modulu tuhosti. Tato metoda je mnohem bezpečnější z hlediska nenarušení integrity těles, než tomu bylo u tlakové oxidace, jelikož aplikovaný tlak byl mnohem nižší.



Graf 6 Porovnání indexu stárnutí modulu tuhosti z hlediska rozdílného působení tlaku



Graf 7 Index stárnutí modulu tuhosti u dlouhodobého stárnutí v triaxiální komoře při teplotě 25 °C



Graf 8 Index stárnutí modulu tuhosti u dlouhodobého stárnutí v triaxiální komoře při teplotě 60 °C

Krátkodobé stárnutí je doporučeno provádět v teplotní komoře pouze při teplotě 135 °C a maximálně po dobu 4 hodin, jak doporučuje Von Quintux et al. (1988) a to z důvodu lepší zhutnitelnosti. Jednou z výhod tohoto postupu je možnost stárnout několik asfaltových směsí najednou v jedné teplotní komoře. Prodloužená doba míchání umožňuje rovnoměrnější stárnutí, tudíž směs vykazuje lepší homogenitu než směs zestárlá v teplotní komoře. Nicméně v teplotní komoře není problém s produktivitou jako při samotném stárnutí míchače na asfaltovou směs, kde může být míchána pouze jedna směs. Krátkodobé stárnutí a rozšířené míchací postupy pro volně ložené asfaltové směsi mohou způsobit u některých směsí až čtyřnásobný nárůst modulu tuhosti. Dlouhodobé stárnutí při teplotě 107 °C může způsobit u některých směsí až šestnásobný nárůst modulu tuhosti. Avšak, taková teplota může vést k poškození integrity těles, a proto je výhodnější stárnout zkušební tělesa při teplotě 85 °C. Stárnutí v triaxiální komoře je alternativní přístup obohacování asfaltové směsi kyslíkem. U některých směsí bylo vyzorováno navýšení až o 50 % při teplotě 60 °C. Tato metoda by měla být dále zkoumána při vyšší teplotě a to při 85 °C. Triaxiální metoda stárnutí se doporučuje u směsí, které jsou více náchylné ke stárnutí v ohřívací komoře při teplotě 85 °C a více, jako tomu může být právě u směsi s vyšší mezerovitostí či u směsi obsahující měkký asfaltová pojiva. [2]

3.2 Studie A-390

Hlavním cílem této studie bylo nasimulovat proces stárnutí asfaltové směsi, tak aby modul tuhosti zestárlých těles vycházel podobně jako u těles vyrobených ze vzorků získaných z asfaltových vozovek in-situ. Vozovky se svým stářím pohybovaly v rozmezí 3-19 let. Část této studie byla zaměřená na pozemní komunikace ve státě Washington. Celkem bylo vybráno 7 starších lokalit ve státě Washington, kde čtyři z těchto lokalit byly vystaveny suchému, mrazivému podnebí a další tři lokality byly vystaveny deštivému, chladnému (nikoli mrazivému) podnebí. V tabulce 4 jsou shrnuty základní údaje sedmi vybraných míst.

Tab. 4 Základní údaje o vybraných lokalitách pozemních komunikací ve státě Washington

| Lokalita | Stáří vozovky | Typ asfaltu | Typ podnebí | Dopravní zatížení |
|----------|---------------|-------------|------------------|-------------------|
| | [roky] | | | [voz/den] |
| 1801 | 18 | 85/100 | deštivé, chladné | 3250 |
| 6048 | 14 | AR4000 | deštivé, chladné | 20700 |
| 6049 | 19 | 85/100 | deštivé, chladné | 81246 |
| 1002 | 3 | AR4000 | suché, mrazivé | 1872 |
| 1006 | 9 | AR4000 | suché, mrazivé | 3123 |
| 1008 | 13 | AR4000 | suché, mrazivé | 6723 |
| 6056 | 5 | AR4000 | suché, mrazivé | 3786 |

3.2.1 Proces stárnutí

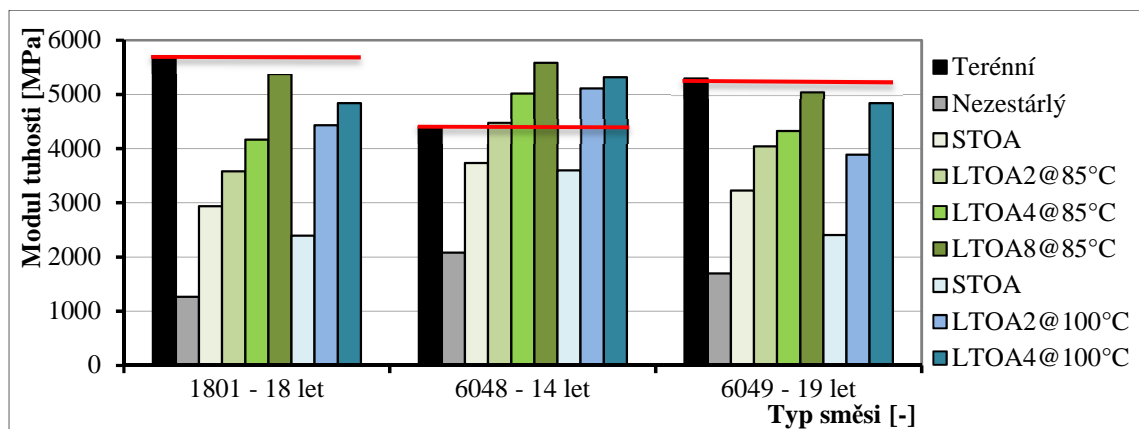
Asfaltové směsi se nejdříve podrobily krátkodobému stárnutí (STOA), který zahrnoval stárnutí volně ložené směsi v horkovzdušné komoře, kde byla směs vystavena teplotě 135 °C po 4 hodin. V průběhu procesu stárnutí bylo potřeba každou hodinu asfaltovou směs promíchat špachtlí po dobu 1 minuty. Díky tomuto procesu bylo nasimulováno období mezi mícháním směsí a konečným zhutněním. Po skončení procesu STOA se nechaly asfaltové směsi vychladnout alespoň 12 hodin. Z asfaltových směsí se vyrobila zkušební tělesa, která byla testována na modul tuhosti.

Odkoušená tělesa se poté mohla podrobit dlouhodobému stárnutí LTOA. Zkušební tělesa z asfaltové zhutněné směsi byla vystavena teplotě 85 °C po dobu 0, 2, 4 a 8 dní v teplotní (horkovzdušné) komoře. Po prvních dvou dnech LTOA při 85 °C byla tělesa odebrána z komory a nechala se ochladit na pokojovou teplotu alespoň po dobu 24 hodin. Poté se umístila do klimatizovaného boxu, kde se nechala temperovat po dobu min. 4 hodin na požadovanou teplotu 25 °C a dále byla testována na modul tuhosti. Celý proces se opakoval pro další 2 a 4 dny stárnutí. Tímto způsobem se získaly hodnoty modulu tuhosti pro LTOA na tělesech zestárých 0, 2, 4 a 8 dní, která byla před tím vystaven 4 hodinám krátkodobého stárnutí (STOA). Zkušební tělesa, která byla podrobena postupu stárnutí LTOA se každých 24 hodin měnila co do jejich polohy uvnitř teplotní komory z důvodu snížení deformace v blízkosti jejich dna. Manipulace s tělesy musela být omezená, aby se zabránilo jejich případnému poškození. U některých těles po 4 a 8 dnech při teplotě 85 °C došlo ke ztrátě asfaltové směsi podél okrajů těles v důsledku manipulace a zvýšené křehkosti asfaltové směsi. Podobný postup byl aplikován při teplotě 100 °C. Stárnutí LTOA 100 °C probíhalo 2 a 4 dny.

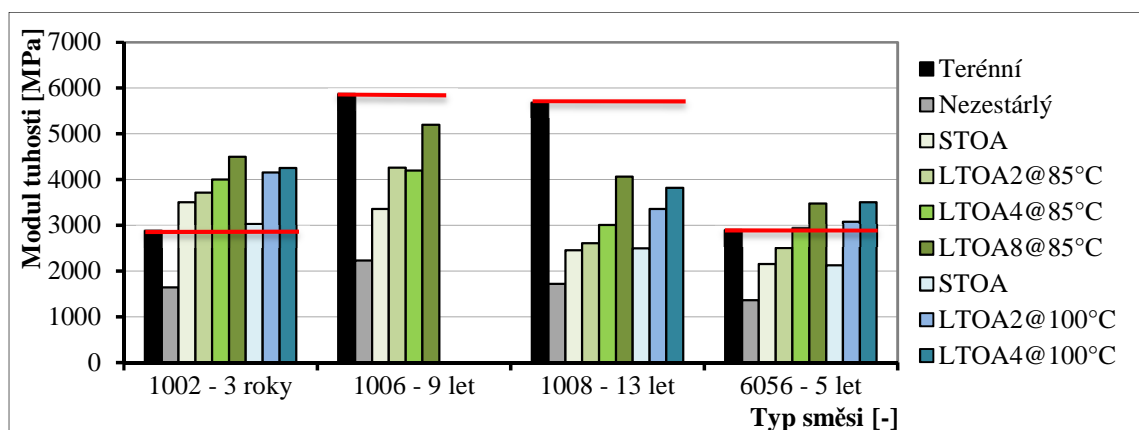
Vývrty získané z vozovek byly poslány do laboratoře, kde se zahřívaly na teplotu 93 °C kvůli snadnějšímu rozpojení asfaltové směsi. Asfaltová směs se nechala vytvrzovat po dobu 15 hodin při teplotě 60 °C a poté se zahřívala na teplotu 110 °C a znovu se zhutnila. Tímto způsobem připravená tělesa z in-situ byla testována na modul tuhosti.

3.2.2 Zvolené lokality ve státě Washington

Výsledky daných lokalit jsou zobrazeny na grafech 9 a 10.



Graf 9 Porovnání vlivu stárnutí na modulu tuhosti mezi laboratorními a in-situ zkušebními tělesy



Graf 10 Porovnání vlivu stárnutí na modulu tuhosti mezi laboratorními a in-situ zkušebními tělesy

- Lokalita č. 1801

Vozovka měla vážnější podélné trhliny a několik příčných trhlin. Vývrty byly odebírány většinou z nepoškozených úseků komunikace. Tělesa z laboratoře měla podobnou mezerovitost ± 1 % jako tělesa vyrobená ze vzorků získaných in-situ. Moduly tuhosti těles z in-situ dosahovaly hodnot až 5700 MPa. Tělesa zestárlá 8 dní při teplotě 85 °C a 4 dny při teplotě 100 °C nedosáhla modulu tuhosti, jako tělesa získaná z 18 let staré komunikace. Nejblíže k této hodnotě se přiblížila tělesa zestárlé 8 dní při teplotě 85 °C, která měla modul tuhosti 5400 MPa.

- Lokalita č. 6048

Na vozovce se vyskytovaly podélné trhliny a vyjeté koleje. Mezerovitost vyrobených těles v laboratoři byla přibližně o 2 % vyšší než mezerovitost těles vyrobených ze vzorků získaných in-situ. U těles zestárlých 2 dny při teplotě 85 °C vyšel modul tuhosti podobný jako u těles získaných z vozovky. Tělesa zestárlá laboratorně po dobu 4 a 8 dnů při teplotě 85 °C překročila modul tuhosti těles získaných z vozovky. Podobný stav nastal i u procesu stárnutí po dobu 2 a 4 dnů při teplotě 100 °C.

- Lokalita č. 6049

Vozovka byla v dobrém stavu a nevykazovala žádné závažné známky poškození. Asfaltové směsi vyrobené v laboratoři měly vyšší mezerovitost, a to přibližně až o 5 %, přičemž přibližně asi 1 % mezerovitosti odpovídá snížení modulu tuhosti o 100 MPa. Takže by se dalo říci, že výsledné moduly tuhosti zkušebních těles z laboratoře by mohly narůst přibližně o 500 MPa, kdyby měly stejnou mezerovitost jako tělesa vyrobená ze vzorků získaných z lokality č. 6049. Jeden z hlavních důvodů, proč se lišily asfaltové směsi zestárlé procesem STOA, které poté podstoupily proces stárnutí LTOA85°C nebo LTOA100°C byl ten, že při návrhu asfaltové směsi byl změněn obsah jemných částic (navýšení až o 1,6 %). Obsah jemných částic byl změněn z důvodu vyšší mezerovitosti těles vyrobených v laboratoři. U první směsi, která byla využita pro jeden typ stárnutí, bylo přidáno méně jemných částic a u druhé směsi, která byla využita pro druhý typ stárnutí, bylo přidáno více jemných částic. Zestárlá tělesa z hlediska vyšší mezerovitosti nedosáhla požadovaného modulu tuhosti. V případě, že by byla dodržena mezerovitost, tak by modul tuhosti těles zestárlých 8 dní při teplotě 85 °C a 4 dny při teplotě 100 °C mohl dosáhnout stejného modulu tuhosti, jako tělesa vyrobená z vývrťů

- Lokalita č. 1002

Vozovka byla v horším stavu. Tento špatný stav, mohl zapříčinit srovnatelné moduly tuhosti získané ze zkušebních těles vyrobených z vývrťů a těles z laboratoře zestárlých procesem STOA. Laboratorně navržená tělesa měla mezerovitost přibližně 7,7 % a tělesa získaná in-situ měla mezerovitost přibližně 4,4 %. Opět byla snaha snížit mezerovitost přidáním jemných částic do asfaltové směsi. Došlo k nárůstu jemných částic až o 2,2 %, díky tomu mohlo dojít k vyššímu nárůstu modulu tuhosti již při krátkodobém stárnutí STOA. Krátkodobé stanutí STOA bylo srovnatelné s 3 lety stárnutí v terénu. Moduly tuhosti dlouhodobého stárnutí ať už při teplotě 85 °C nebo 100 °C byly již nad hranicí modulu tuhosti získaného u vzorků odebraných in-situ.

- Lokalita č. 1006

Vozovka byla vyhodnocena s vysokým podílem podélných trhlin. Asfaltové směsi obsahovaly 0,5 % příměsi PBS (Pave Bond Special). Tato příměs měla výrazný vliv na zpomalení rychlosti nárůstu modulu tuhosti vyvolaného krátkodobým stárnutím. Hlavním důvodem přidání příměsi, bylo zlepšení přilnavosti mezi asfaltem a kamenivem. Lokalita č. 1006 by se dala porovnat s lokalitou č. 1801, kde by právě mohl být patrný účinek příměsi PBS. Obě asfaltové směsi měly po 8 dnech při teplotě 85 °C podobný modul tuhosti. U asfaltové směsi č. 1801 bylo navýšení modulu tuhosti dvojnásobné po procesu STOA. Oproti tomu asfaltová směs č. 1006 navýšila modul tuhosti po procesu stárnutí STOA přibližně o polovinu své tuhosti. Jak již bylo zmíněno výše, účinek příměsi PBS snížil rychlost stárnutí o polovinu. U této směsi bylo zkoumáno pouze dlouhodobé stárnutí při teplotě 85 °C, které z hlediska modulu tuhosti nedosáhlo takové tuhosti, aby se vyrovnalo modulu tuhosti 9 let staré vozovky.

- Lokalita č. 1008

Na vozovce se vyskytovaly příčné trhliny a vyjeté koleje v průměrné hloubce 8 mm. Vozovka byla vystavena častým opravám. Vývrty z tohoto místa byly odebrány na úseku pozemní komunikace z poměrně dobrým stavem. Mezerovitost laboratorně vyrobených těles a těles získaných z vývrťů byla stejná. Na tomto místě byla opět v asfaltové směsi použita příměs PBS (přidáno 0,5 % obsahu směsi). Modul tuhosti byl při dlouhodobém procesu stárnutí při teplotě 85 °C a 100 °C navýšen na 68 % modulu tuhosti 13 let staré vozovky.

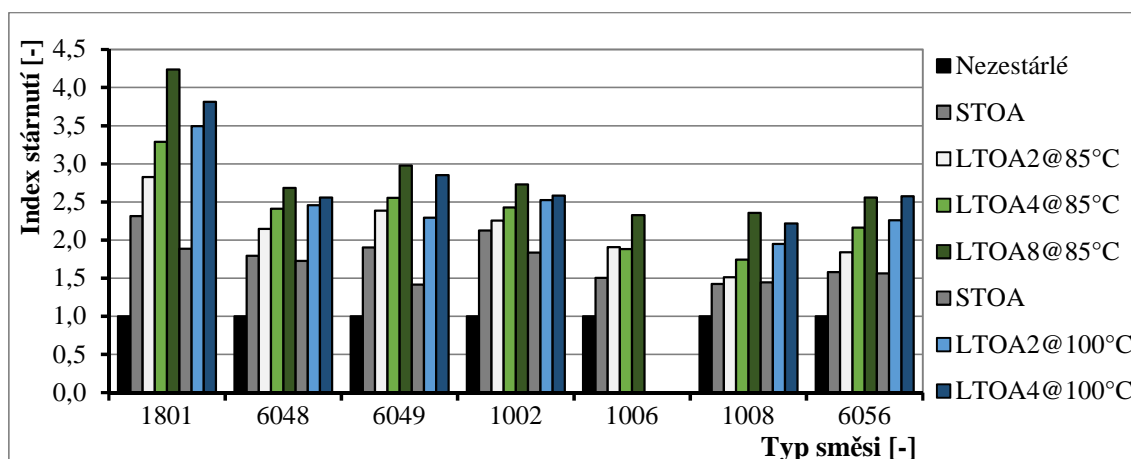
- Lokalita č. 6056

Vozovka byla v dobrém stavu. Mezerovitost laboratorních těles byla o 4 % vyšší než u těles vyrobených z vývrty odebraných z in-situ. Použité kamenivo mělo špatný tvarový index. Kamenivo bylo ploché a poměrně protáhlé, tudíž mělo nevhodný tvarový index. Nejblíže se k modulu tuhosti 5 let staré vozovky přiblížila tělesa zestárlá laboratorně po dobu 4 dnů při teplotě 85 °C nebo 2 dnů teplotě 100 °C.

3.2.3 Zhodnocení

Na grafu 11 je znázorněno navýšení tuhosti z hlediska použité metody stárnutí. Pět lokalit starších více jak 9 let vyžadovalo alespoň maximální stárnutí LTOA8@85°C nebo LTOA4@100°C. Výsledky LTOA při teplotě 100 °C byly téměř podobné stárnutí LTOA při teplotě 85 °C, s tím rozdílem že vyšší teplota dosahovala rychlejšího stárnutí v kratším čase. V průběhu stárnutí při vyšší teplotě nebyla zpozorována žádná deformace či zhoršení stavu zkušebních těles. Nicméně při vyšší teplotě se vyskytovala větší proměnlivost naměřených hodnot, proto je lepší dát přednost spíše stárnutí při nižší teplotě. Je zřejmé, že provoz na komunikacích a klimatické podmínky daných oblastí ovlivnily určitým způsobem modul tuhosti zkušebních těles získaných z vývrťů. Tři lokality (1801, 1006 a 1008), které byly zároveň starší více jak 9 let a měly nižší průměrné denní dopravní zatížení, tak jejich moduly tuhosti získané na vývrtech měly jedny z nejvyšších dosažených hodnot. Lokality starší více jak 9 let s vyšším průměrným dopravním zatížením (6048 a 6049) měly nižší modul tuhosti a vyšší směrodatnou odchylku modulu tuhosti naměřenou na tělesech získaných in-situ. Zároveň v těchto lokalitách docházelo k nejvyšším úhrnům dešťových srážek, což naznačuje, že vysoká vlhkost s vysokou úrovní dopravního zatížení má určitý vliv na proměnlivost modulu tuhosti u zkušebních těles

odebraných přímo z vozovky. Mezerovitost směsí vyrobených v laboratoři byla v rozmezí 4-8 %.



Graf 11 Nárůst tuhosti vyjádřený indexovou charakteristikou po různých režimech stárnutí

Proces krátkodobého stárnutí navýšil modul tuhosti přibližně o 40-120 %. U většiny těles došlo k navýšení o 20 % při stárnutí LTOA2@85°C, o 30 % při stárnutí LTOA4@85°C a o 55-85 % při stárnutí LTOA8@85°C. Modul tuhosti se navýšil při procesu stárnutí LTOA@100°C po 2 dnech o 35-80 % a po 4 dnech o 40-100 %. Jednotlivé rozptyly hodnot nezávisí jen na typu stárnutí, ale i na složení asfaltové směsi, obsahu asfaltového pojiva a mezerovitosti. Stárnutí STOA lze přirovnat k 0 až 2 letům stárnutí asfaltové vozovky v in-situ podmínkách. Stárnutí LTOA8 při teplotě 85 °C by se dalo přirovnat k lokalitám starším jak 9 let s mrazivým, suchým podnebím. Vozovky starší více jak 18 let, nacházející se v mírně chladném podnebí bohatém na srážky by mohly být porovnatelné s dlouhodobým procesem stárnutí těles LTOA@100°C. Stárnutí LTOA2@85°C by mohlo být porovnatelné se 2-6 letým stářím asfaltové vozovky. [9]

3.3 Studie vlivu stárnutí na modul tuhosti horkých asfaltových směsí

Cílem této studie bylo zhodnotit vliv stárnutí u asfaltových směsí prováděných za horka (HMA) a to pomocí charakteristiky modulu tuhosti. Pro výrobu byly vybrány tři odlišné typy směsí reprezentující vozovky v Malajsii. První vybranou směsí byl asfaltový beton s maximální velikostí zrna 10 mm (AC 10), druhou zvolenou směsí byl asfaltový beton s maximální velikostí zrna 28 mm (AC 28) a nakonec drenážní koberec 10 mm (PA 10). Jednotlivé směsi byly vybrány v důsledku rozdílu typu asfaltu, obsahu pojiva a obsahu vzduchových mezer. Všechny tři typy asfaltových směsí byly testovány na modul tuhosti při teplotě 25 °C a 40 °C. [7]

3.3.1 Příprava a stárnutí zkušebních těles

Směs AC 10 (AC 28) se hutnila při teplotě 130 °C s hutnicí energií 75 úderů podle Marshalla a směs PA 10 se hutnila při teplotě 150 °C s hutnicí energií 50 úderů podle Marshalla. Celkem bylo vyrobeno 6 zkušebních těles od každé směsi, přičemž vždy 3 tělesa byla od každé směsi dána do teplotní komory pro simulaci stárnutí. Zkušební tělesa měla průměrnou výšku 70 mm a průměr 100 mm. V tabulce 5 jsou uvedeny základní údaje o vyráběných směsích.

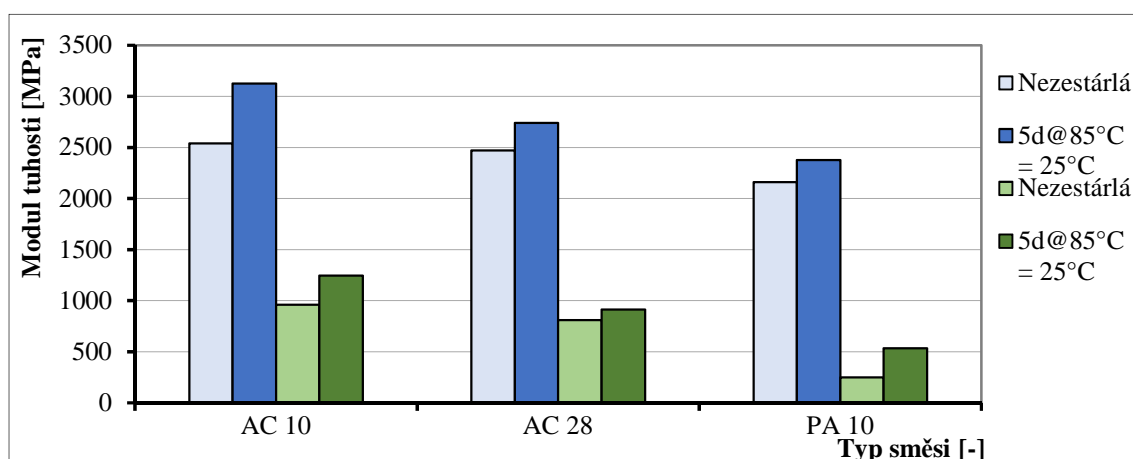
Tab. 5 Základní informace o ověřovaných asfaltových směsích

| Typ směsi | Typ asfaltu | Obsah asfaltu | Mezerovitost |
|-----------|-------------|---------------|--------------|
| | | [%] | [%] |
| AC 10 | 80-100 PEN | 6,1 | 4,0 |
| AC 28 | 80-100 PEN | 4,8 | 4,0 |
| PA 10 | PG 76 | 5,1 | 23,5 |

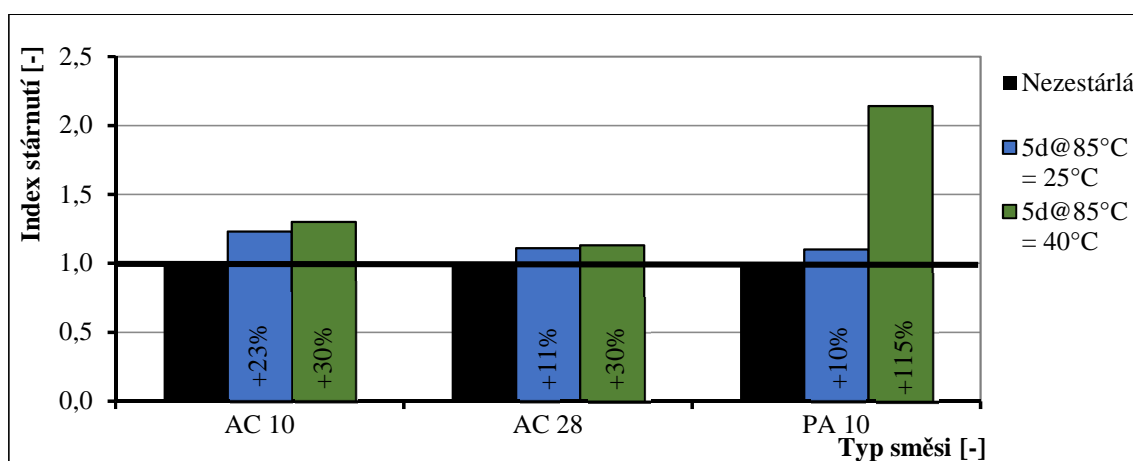
Metoda stárnutí byla použita dle AASTO R30 LTOA, kdy bylo simulováno dlouhodobé stárnutí v teplotní komoře s nucenou cirkulací vzduchu. Zhutněná tělesa byla v teplotní komoře uložena po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C. V této studii byla zkušební tělesa při procesu stárnutí obalena drátěným pletivem, aby se zabránilo nebo alespoň minimalizovalo poškození těles vlivem vysoké teploty. Metodu AASHO R30 LTOA lze přirovnat 5 až 7 letům stárnutí vozovky v provozu. Testování bylo prováděno na nezestárlých a zestárlých zkušebních tělesech pomocí stanovení a posouzení modulu tuhosti při teplotě 25 °C a 40 °C. Tělesa byla vždy před zkoušením temperována na požadovanou teplotu minimálně 4 hodiny.

3.3.2 Zhodnocení vlivu stárnutí

Výsledky pružného modulu tuhosti před a po procesu stárnutí jsou zobrazeny na grafech 12, 13.



Graf 12 Modul tuhosti při teplotě 25 °C a 40 °C



Graf 13 Nárůst modulu tuhosti po simulaci stárnutí

U směsi AC10 se modul tuhosti při teplotě 25 °C po procesu stárnutí navýšil až o 23 %. Podobný trend byl zaznamenán i u směsi AC28 a směsi PA10, kde došlo k navýšení o 10-11 %. U modulu tuhosti při teplotě 40 °C došlo k navýšení o 30 % u AC10, o 13 % u AC28 a o 115 % u PA10. Vlivem stárnutí došlo k navýšení modulu tuhosti. Z hlediska teplotní citlivosti u směsi AC10 došlo k 62 % snížení modulu tuhosti před procesem stárnutí a po procesu stárnutí došlo k 60 % snížení mezi teplotou 25 °C a 40 °C. U směsi AC28 bylo zaznamenáno snížení modulu tuhosti před, a i po procesu stárnutí o 67 % mezi dvěma teplotami. Nejvýrazněji se projevila směs PA10, kde snížení před procesem stárnutí bylo o 88 % a po procesu stárnutí o 77 %. Směs PA měla přibližně šestkrát větší mezerovitost než další dvě směsi. Nejvíce asfaltového pojiva obsahovala směs AC10. Čím vyšší je obsah asfaltového pojiva, tím více dochází k oxidativnímu stárnutí v závislosti na mezerovitosti. V důsledku uvedeného se nám pak snižuje napětí a zvyšuje modul tuhosti při nižší teplotě. Zatímco při vyšší teplotě má dominantní vliv mezerovitost, jelikož směs PA10 vyvolala více než 100 % své původní hodnoty při teplotě 40 °C. Tento jev se stává v důsledku změkčení asfaltu při vyšší teplotě, díky němuž se změkčený asfalt dostane do prázdných vzduchových mezer.

Modul tuhosti se opět navýšil v důsledku účinků stárnutí. Teplotní citlivost se po procesu stárnutí snížila. Optimální obsah asfaltu je dominantní při nižších teplotách, zatímco obsah vzduchových mezer je dominantní při vyšších teplotách z hlediska ovlivňování přírůstku modulu tuhosti. [7]

3.4 Studie SATS

Hlavním cílem této studie bylo vyvinout postup laboratorní zkoušky, která by nasimulovala snížení modulu tuhosti o 60 % v důsledku škody způsobené dlouhodobým stárnutím v kombinaci s vlhkostí. Pro výzkum byly zvoleny směsi s vysokým modulem tuhosti (High Modulus Base = HMB), které ve Velké Británii vykazovaly snížení modulu tuhosti o 60 % po 8 letech jejich užívání v asfaltové vozovce. Z hlediska diplomové práce zde budou uvedeny jen poznatky ze stárnutí asfaltové směsi, jelikož podobná metoda byla prováděna v této diplomové práci. Dále v uvedené studii byly zkoumány dva odlišné druhy kameniva, což může mít zásadní vliv na proces stárnutí. Metoda v této studii se nazývá SATS (Saturated Ageing Tensile Stiffness).

3.4.1 Předběžné zkoušení

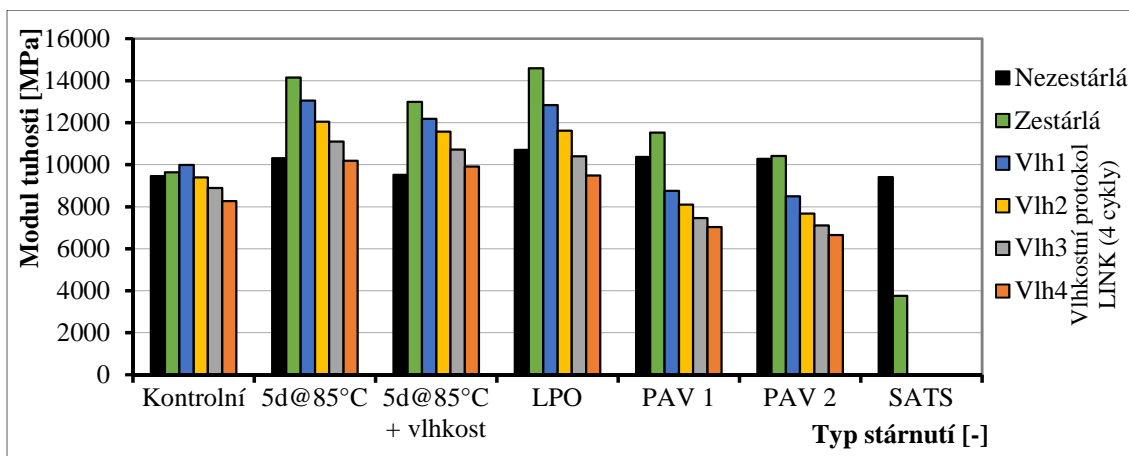
Pro předběžné zkoušení byla vybrána asfaltová směs obsahující kyselejší kamenivo (žula) a pojivo 15B (obsah 4 %). Obsah vzduchových mezer ve směsi byl 8 %. Směs byla hutněna pomocí segmentového zhutňovače, kdy se nejdříve vyrobily desky. Z vyrobených desek byla poté odvrátána Marshallova tělesa o tloušťce 65 mm. Modul tuhosti byl měřen před a po procesu stárnutí při teplotě 20 °C. Po procesu stárnutí byl dále prováděn vlhkostní protokol LINK, který zahrnoval čtyři opakující se cykly. V každém cyklu byly vzorky klimatizovány ve vodě, nejdříve po dobu 6 hodin při teplotě 60 °C, poté po dobu 16 hodin při teplotě 5 °C, a nakonec po dobu 2 hodin při teplotě 20 °C. Opět po každém cyklu byl změřen modul tuhosti při teplotě 20 °C.

Vybrané režimy stárnutí pro předběžný výzkum:

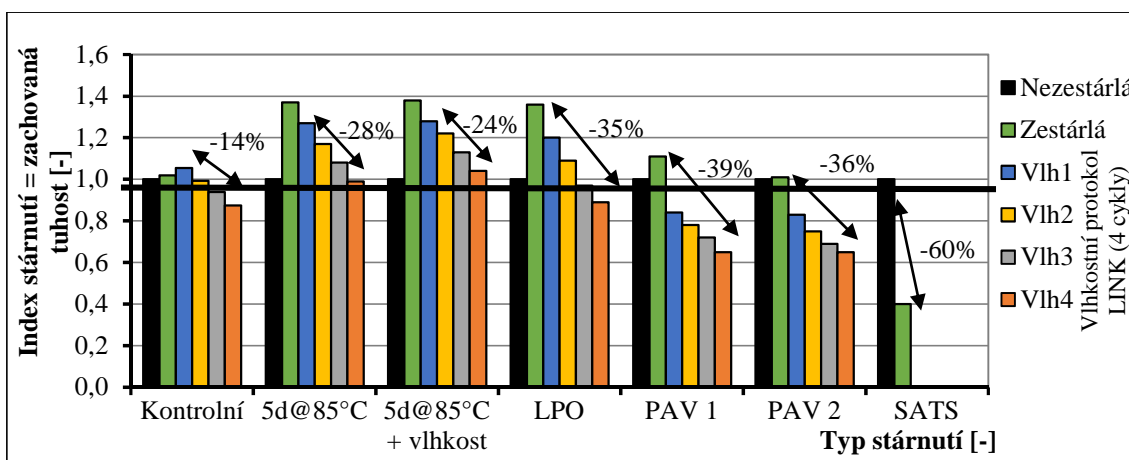
1. První režim byl kontrolní. Zhutněná tělesa byla skladována při teplotě 5 °C v chladné suché místnosti, a to z důvodu zabránění poškození vlivem stárnutí a vlhkosti.
2. Druhý režim zahrnoval stárnutí zhutněných těles po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C v teplotní komoře s nucenou cirkulací vzduchu.
3. Třetí režim je podobný druhému ale s tím rozdílem, že se do teplotní komory umístí vodní lázeň a tím se vytvoří vlhké prostředí pro proces stárnutí. Tento režim se snažil spojit účinky od poškození stárnutí a vlhkosti.
4. Čtvrtý režim stárnutí byl prováděn pomocí nízkotlaké oxidace (LPO), kdy se horký vzduch při teplotě 85 °C protlačuje skrz těleso pomocí vakuové pumpy. Rychlost průtoku vzorkem 3 l/min.
5. Pátý režim stárnutí těles byl proveden pomocí tlakové nádoby (PAV), která se běžně používá pro stárnutí asfaltového pojiva. Teplota stárnutí byla 85 °C. Tlak aplikovaný v tlakové nádobě po dobu 65 hodin byl 2,1 MPa dle protokolu HIPAT.
6. Šestý režim stárnutí byl výjimečný a to tím, že byl téměř stejný jako předchozí proces stárnutí ale s tím rozdílem, že tělesa byla částečně nasycena vodou. Sycení probíhalo po dobu 30 minut pod podtlakem 68 kPa. Částečně nasycená tělesa byla pak umístěna do tlakové komory PAV, kde byl opět aplikován protokol HIPAT. Účelem nasycení bylo vpravit určité množství vody do vzduchových mezer v naději, že nasycení spolu s procesem stárnutí vytvoří určitou škodu.

Na grafech 14, 15 jsou znázorněny výsledky ze šesti zvolených režimů. Kdy na grafu 14 je znázorněno jakých přibližných hodnot bylo dosaženo v jednotlivých procesech stárnutí a vlhkostních režimech (vlhkostní protokol LINK Vlh1-4). Oproti tomu na grafu 15 je znázorněn index stárnutí neboli zachovaná tuhost, jak je přesněji nazýváno v této studii.

U kontrolních těles se modul tuhosti v důsledku stárnutí nebo spíše v důsledku odležení v suché místnosti prakticky nezměnil. U kontrolních těles došlo k nepatrnému navýšení modulu tuhosti po prvním cyklu vlhkostní stabilizace, což by se dalo přičíst k částečně nasyceným pórům. Po dalších vlhkostních cyklech se již modul tuhosti postupně snižoval. Režim 2 a 3 vykazoval velmi podobnou citlivost stárnutí, jak u těles zestárlých s vlhkostními podmínkami, tak i bez nich. Modul tuhosti se po stárnutí navýšil až o 37 %. U režimu 2 se modul snížil o 28 % vůči zestárlému modulu tuhosti, zatímco u režimu 3 došlo ke snížení modulu tuhosti o 24 % v důsledku poškození vlhkostí. Režim 4 také vykazoval podobné navýšení tuhosti jako předchozí dva režimy. Po stárnutí LPO došlo k navýšení modulu tuhosti o 36 %. Jelikož směs měla poměrně vysoký obsah vzduchových mezer, tak horký vzduch mohl snadněji proudit dovnitř tělesa i bez většího nucení, a proto si mohou být navýšené tuhosti předchozích režimů tak podobné. Po vlhkostních cyklech 1-4 došlo ke snížení tuhosti až o 35 %. Režim 5 (protokol HIPAT) vykazoval nejmenší citlivost na proces stárnutí a největší na vlhkostní zkoušení. Tuhost se po stárnutí navýšila pouze o 5 % a poté klesla o 39 % v důsledku škody způsobené vlhkostí. Nejvýraznější chování bylo zaznamenáno u režimu 6, kdy došlo po procesu stárnutí ke snížení tuhosti na 40 % původní hodnoty, tedy ke snížení modulu tuhosti o 60 %. U metody HIPAT s vlhkostí i bez vlhkosti (režim 6 a 5) vykazují tělesa větší náchylnost k vlhkostnímu poškození. Určitý předpoklad je, že vysoký tlak uvnitř nádoby vyvolá určitý druh vnitřního poškození uvnitř vzorku, a díky tomu je umožněno lepší infiltraci vody.



Graf 14 Modul tuhosti testování při teplotě 20 °C



Graf 15 Nárůst modulu tuhosti testování při teplotě 20 °C

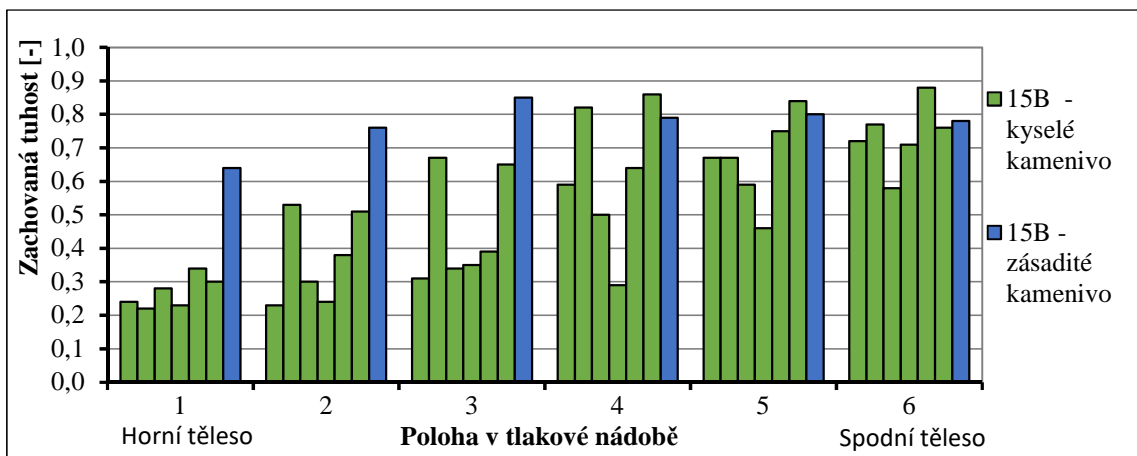
Závěrem těchto režimů stárnutí bylo najít vhodnou testovací metodu, která by snížila modul tuhosti o 60 %. Jediný režim, který splnil tento požadavek, byl režim 6 (protokol HIPAT s využitím nasycených vzorků). Tato metoda nejen, že snížila modul tuhosti o 60 %, ale zároveň zahrnovala vlivy stárnutí a vlhkosti, které se běžně vyskytují v in-situ společně. Dále bude již popsána a hodnocena jen metoda SATS a její případný rozvoj.

3.4.2 Metoda SATS

Jeden z hlavních problémů, který v souvislosti s touto metodou nastal, byla skutečnost, že standardní nádoba zařízení PAV pro stárnutí pojiva nebyla příliš vhodná. Tlaková nádoba není příliš velká. Z hlediska zkoušky se do této nádoby vešla pouze tři tělesa. Dále byl pozorován problém řízení tlaku v důsledku přítomnosti vody, a proto byla sestavena nová tlaková nádoba s ručním řízením tlaku, do které mohlo být uloženo až 6 zkušebních těles.

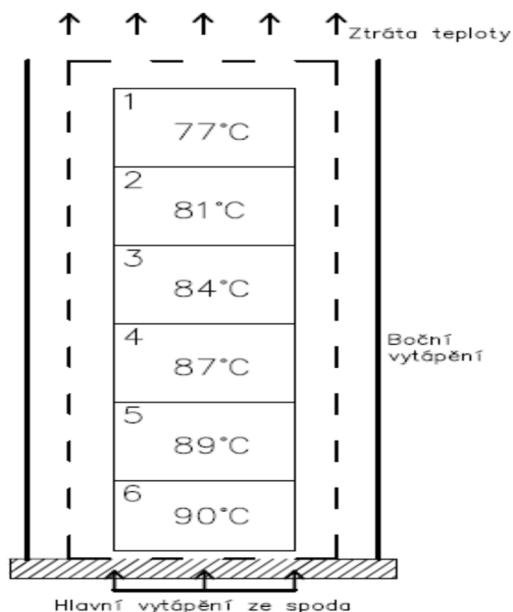
Na zkušebních tělesech se nejdříve změřila počáteční tuhost při teplotě 20 °C a poté byla tělesa částečně nasycena vodou za použití vakuové nádoby, kde byla ponechána pod podtlakem 68 kPa po dobu 30 minut. Částečně nasycená tělesa byla umístěna do tlakové nádoby a podrobena protokolu HIPAT (teplota 85 °C a tlaku 2,1 MPa po dobu 65 hodin). Po skončení zkoušky byla tělesa temperována na 20 °C a opět testována na modul tuhosti. Výsledkem byla hodnota zbytkové tuhosti a z ní odvoditelný index stárnutí.

Asfaltové směsi se vyráběly se čtyřmi typy pojiv (15B, 15D, 15E, a 50 °C) a se dvěma druhy kameniva. Kamenivo bylo buď „kyselé (žula)“ nebo „zásadité (vápenec)“. Obsah pojiva v asfaltové směsi byl 4 %-hm. Z hlediska použitého kameniva a polohy umístění těles v tlakové nádobě bylo provedeno stárnutí SATS shrnuté v grafu 16. U asfaltové směsi s „kyselým kamenivem“ a pojivem 15B bylo provedeno šest měření a u asfaltové směsi se „zásaditým kamenivem“ a pojivem 15B jen jedno měření. Snížení tuhosti o 60 % u metody SATS je postupně snižováno s klesající polohou těles uvnitř tlakové nádoby. Zachovaná tuhost se tedy snižuje s výškou polohy těles v tlakové nádobě. Čím výše těleso je, tím více je snížena tuhost. Základní směs („zásaditá“) vykazuje vyšší zachovanou tuhost v rozmezí od 0,6 – 0,8 než je tomu u „kyselé“ asfaltové směsi.



Graf 16 Metoda SATS – nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C

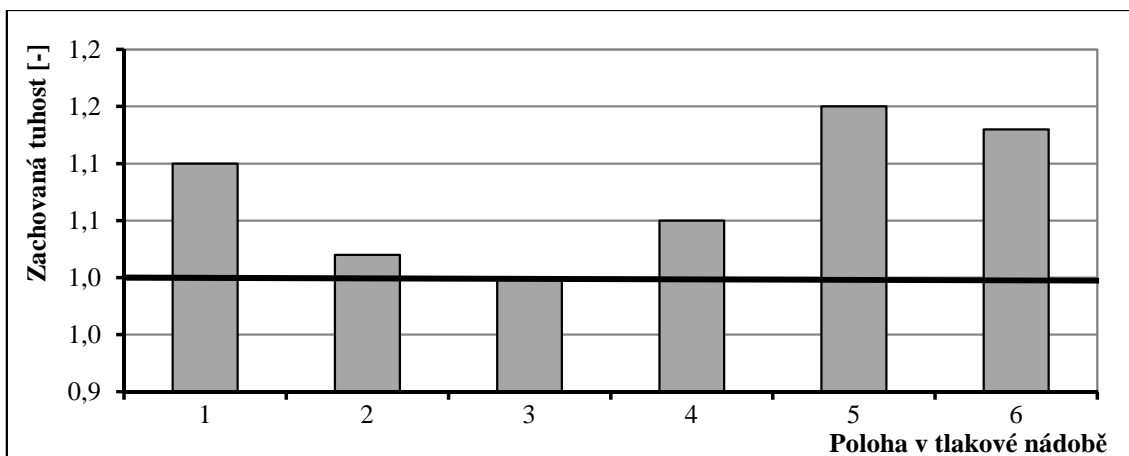
3.4.3 Rozsáhlejší testování metody SATS



Teplota v závislosti na poloze tělesa

V samotné tlakové nádobě dochází k tepelným ztrátám mezi horní a dolní částí až o 13 °C viz obrázek 2. Pro ověření teplotní změny se stárnutí provádělo na šesti identických suchých tělesech „kyselé“ asfaltové směsi, kdy se jednalo o využití protokolu Dry HIPAT. Z grafu 17 lze vyčíst, že zachované moduly modulu se liší od cca 1,00 (pozice 2-3) až 1,15 (pozice 5). Hodnoty jsou velmi podobné režimu 5, na kterém byl aplikován protokol HIPAT. Vliv kolísání teploty bude mít minimální vliv na výsledky. Kolísání teploty se dá zamezit izolačním krytem, případně přidáním dalších topných zdrojů (kolísání teploty ± 4 °C).

Obr. 2 Teplotní ztráty vzhledem k poloze v tlakové nádobě

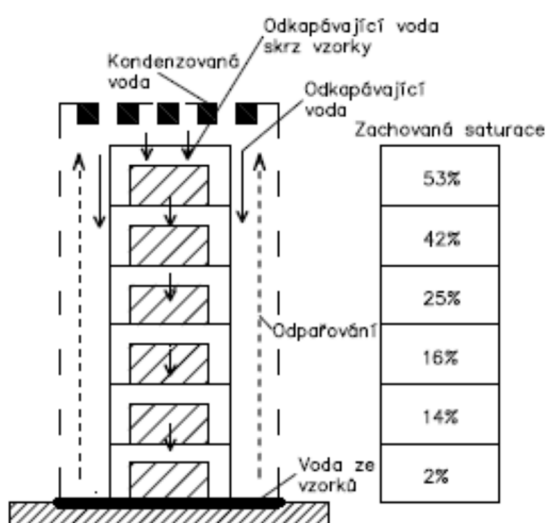


Graf 17 Dry HIPAT – nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C

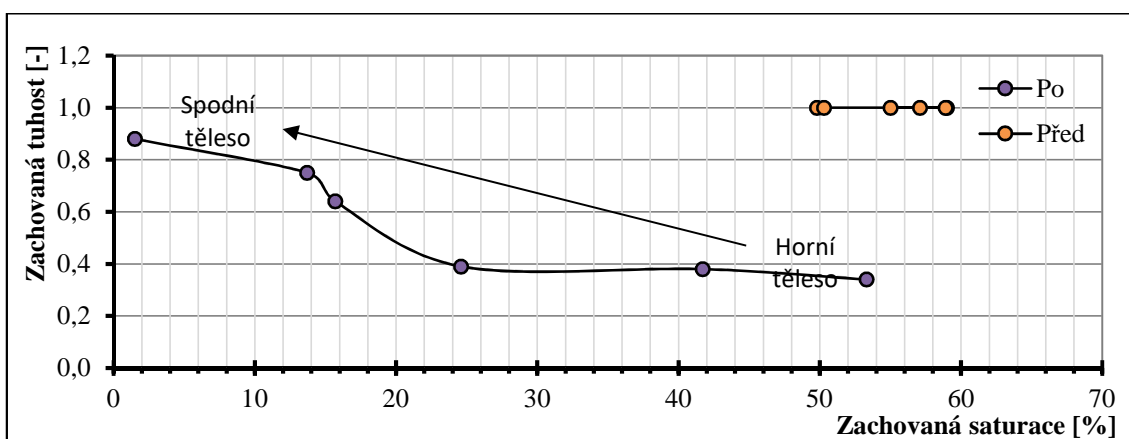
Vliv saturace těles

Poté co se tělesa nasytí vodou a uloží do tlakové nádoby, tak se určitá část vody z nasycených tělesech vypaří nebo odeče z těles pryč a začne cirkulovat uvnitř nádoby. Díky tomu se postupně měnila saturace uvnitř jednotlivých těles, viz obrázek 3. Saturace postupně klesala od horních těles ke spodním. Saturace bude mít zásadnější vliv na tuhosti než kolísání teploty, které se dá vyřešit určitými modifikacemi. Přibližné nasycení tělesa před procesem stárnutí je

asi 45-70 %. Přičemž se prokázalo, že čím výše bylo těleso v tlakové nádobě, tím více si zachovalo původní saturaci a tím více bylo poničeno. Na grafu 18 je znázorněna závislost mezi zachovanou saturací těles a zachovanou tuhostí těles. Těleso umístěné v nejvyšším patře nádoby mělo zachovanou saturaci největší, a to přibližně 53 % a zároveň díky vysoké saturaci bylo nejvíce poničeno. Jeho zachovaná tuhost byla 0,39. Oproti tomu těleso uloženo na dně nádoby mělo nejnižší zachovanou saturaci a to přibližně 2 %. Zachovaná tuhost spodního tělesa byla nejvyšší a to 0,9.



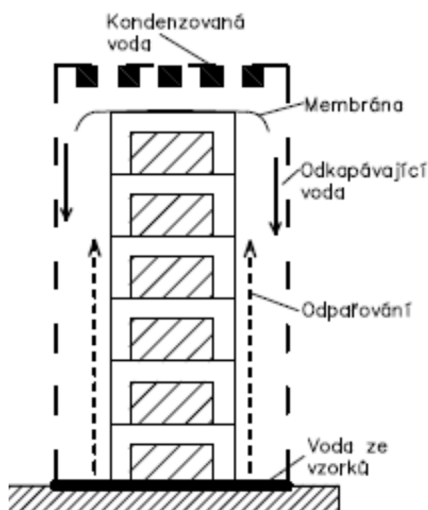
Obr. 3 Nádoba pro tlakové stárnutí



Graf 18 Závislost zachované tuhosti a zachované saturace

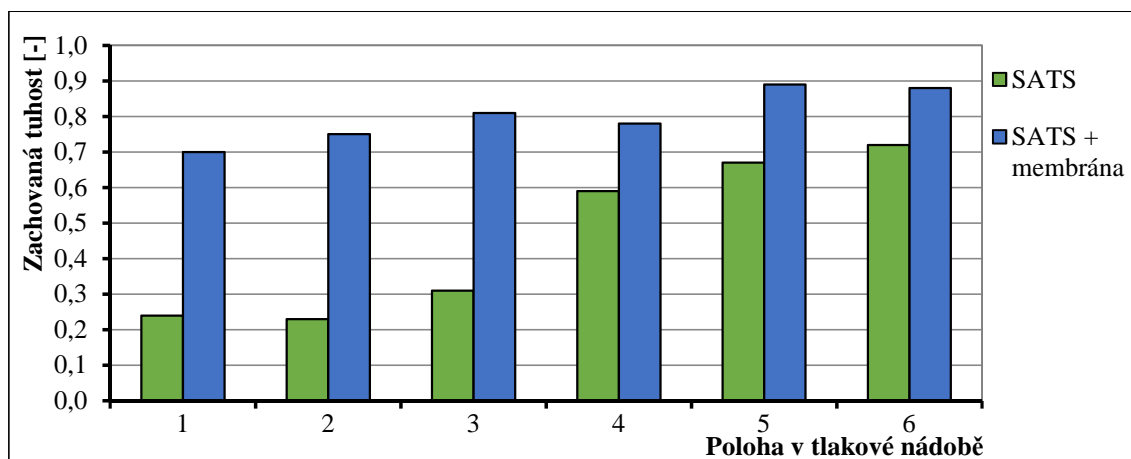
K omezení proudění vody skrz tělesa byly dále zkoumány další možné varianty jako např. pomocný kryt na horním tělese (obrázek 4).

Cílem této úpravy bylo zabránit nebo alespoň minimalizovat jakoukoliv zkondenzovanou vodu, která by kapala přímo na povrch tělesa. Úprava spočívala v osazení kruhové obrácené misky



z neprodyšné membrány, která byla osazena v horní části nádoby. Tím byla přeměrována odkapávající voda z kondenzace mimo zkušební těleso. Výsledky (SATS + membrána) v grafu 19 jsou porovnávány s výsledky z grafu 16, kdy pomocí horního krytu bylo docíleno výsledků s menšími odchylkami mezi dolními a horními tělesy. Je však zřejmé, že zachované hodnoty tuhosti jsou vyšší, než ty, které se od předběžného testování metody SATS předpokládaly, z čehož vyplývá mnohem menší vnitřní poškození těles. Použitím horní membrány byla odkloněna kapající voda a díky tomu bylo zabráněno přímému kontaktu vody a tělesa. Tělesa měla mnohem menší zachované nasycení a větší zachované tuhosti.

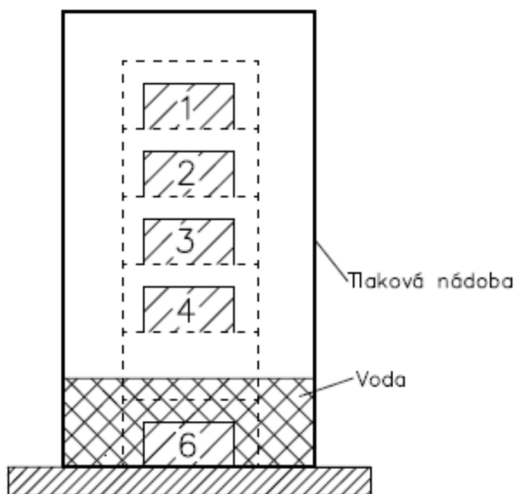
Obr. 4 Tlaková nádoba s využitím pomocného krytu



Graf 19 Vliv využití ochranného krytu na nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C

Byly zkoušeny i další možné úpravy jako jednotlivě obalená zkušební tělesa nebo každé těleso mělo svou vlastní nádobu „kontejner“, popřípadě byla dolní tělesa ponořená ve vodě apod. Hlavním účelem bylo optimalizovat protokol SATS, proto byla ve výzkumu využívána metoda standard SATS, která využívá částečně ponořené těleso v tlakové nádobě. Celkově můžeme zhodnotit, že čím více vody zadržené saturací během procesu stárnutí HIPAT bylo zachováno, tím menší byla výsledná hodnota zbytkové tuhosti. Tedy na proces stárnutí má zásadní vliv obsah vody v pórech při využití tlakové oxidace.

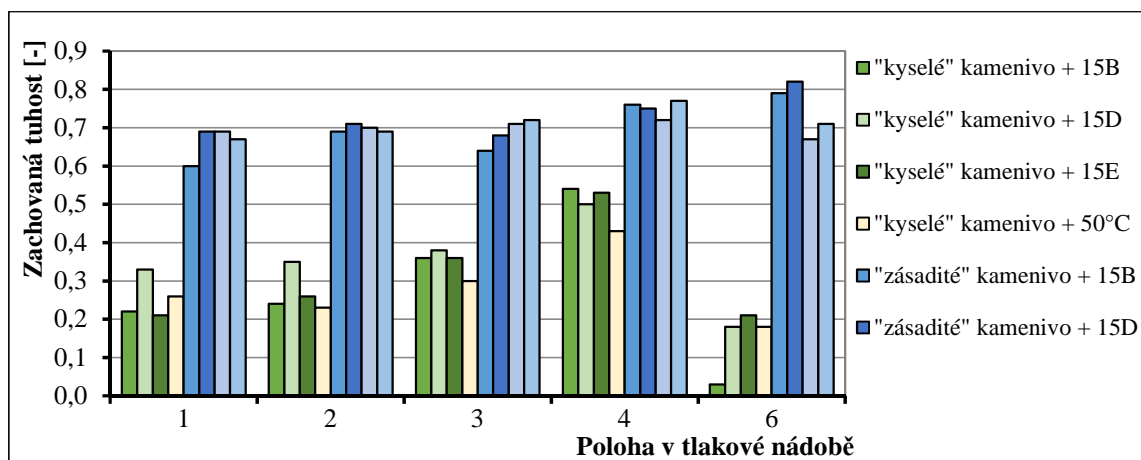
3.4.4 Standard SATS



Obr. 5 Obsah tlakové nádoby při využití metody standard SATS

Opět byla před procesem stárnutí změřena počáteční tuhost při teplotě 20 °C. Poté byla tělesa částečně nasycena vodou pomocí vakuové nádoby, kde na tělesa působil podtlak 68 kPa po dobu 30 minut. Částečně nasycená tělesa pak byla umístěna do tlakové nádoby, kam bylo přidáno takové množství vody, aby bylo spodní těleso úplně ponořeno (obrázek 5). Dále následoval klasický zkušební protokol HIPAT (85 °C, 2,1 MPa, 65 hodin). Po skončení zkoušky se tělesa nechala ochladit a temperovala se na 20 °C, aby mohla být odzkoušena na modul tuhosti.

Zkouška se prováděla pro dvě směsi a to pro „kyselou“ asfaltovou směs a „zásaditou“ asfaltovou směs. U každé směsi byla vyrobena tělesa se všemi čtyřmi asfaltovými pojivy (15B, 15D, 15E a 50 °C). Výsledky těchto směsí s těmito pojivy jsou uvedeny v grafu 20. Zde lze zpozorovat, že kyselost asfaltové směsi, resp. použitého kameniva, opět zadržuje nasycenost těles a tím snižuje následnou tuhost. Kyselejší směsi měly zachované nasycení kolem 10–90 % a zachovanou tuhost v rozmezí 0,2 - 0,6. Oproti tomu základní směsi měly zachovanou saturaci kolem 25–75 %, což ukazuje, že tělesa absorbovala oproti kyselejší směsi menší množství vody během celého procesu. Výsledky u základní směsi proto vykazují menší snížení tuhosti. Zachovaná tuhost u základní směsi se pohybovala kolem 0,7. Tedy při porovnání zachované tuhosti u směsi 15B „kyselá“ a u směsi 15B „zásaditá“ vychází zachovaná tuhost 0,4 a 0,7. Tudíž významně menší poškození se vyskytovalo u základní směsi (zásadité). Použité kamenivo mělo velký význam na tento proces stárnutí. Zásaditá kameniva mají lepší přilnavost k použitému pojivu nežli kameniva kyselá, tím pádem by se dalo říci, že proces stárnutí je ovlivněn přilnavostí asfaltového pojiva ke kamenivu. Dále bylo zjištěno, že rozdíl mezi pojivy není až tak významně veliký ve srovnání s použitým kamenivem.

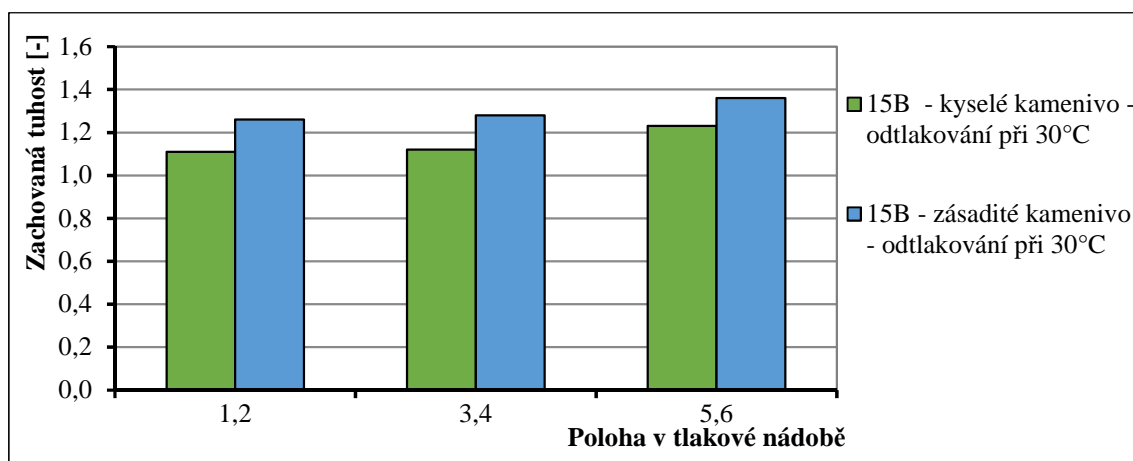


Graf 20 Nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C při využití metody standard SATS

U těles (kyselá směs), které byla ponořena (pozice 6), byla zaznamenána nejnižší zachovaná tuhost s nejvyšším zadrženým nasycením, které bylo 80-90 %. Horní těleso mělo oproti níže

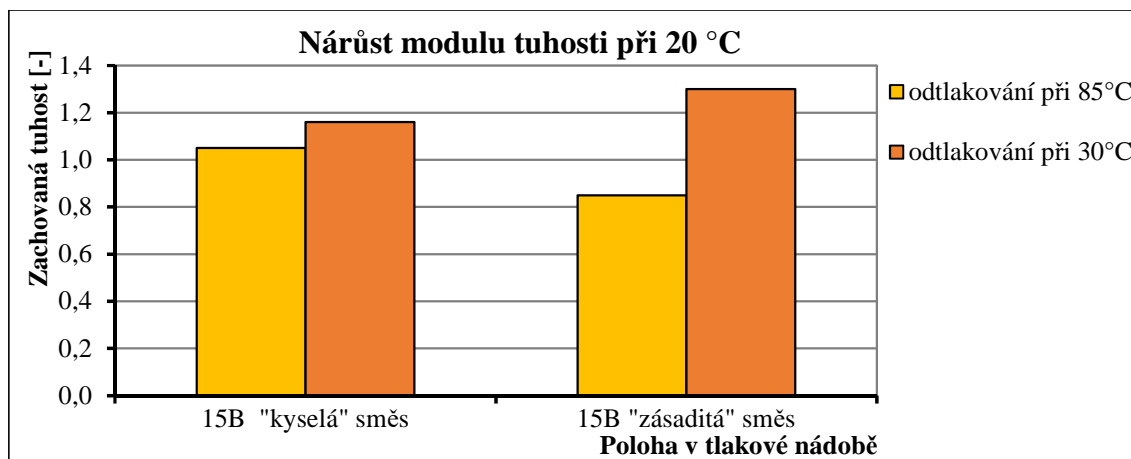
položeným tělesům (pozice 1 až 4) opět nižší zachovanou tuhost a vyšší zachované nasycení kolem 60-70 %. Těleso na 4. pozici mělo nejvyšší zachovanou tuhost a bylo v podstatě v suchém stavu (10-20 % zachovaného nasycení). Zachovaná tuhost čtyř „zásaditých“ směsí s různými pojivy se projevovала podobně jako u předchozí směsi. S tím rozdílem, že ponořené těleso mělo nejvyšší zachovanou tuhost, jelikož dané směsi budou nejspíše méně citlivé na porušení vlhkosti.

Důležitým faktorem při porušení vnitřní integrity je odtlakování na konci prováděné zkoušky. Při provedení standardní metody SATS se v prvních přibližně 20 minutách aplikuje tlak na tělesa vytemperovaná na teplotu místnosti, ale když se tlak následně opět uvolňuje, tak jsou tělesa plně vyhřívána na teplotu 85 °C. Z hlediska pomalejšího odtlakování to nemá prakticky žádný vliv na zachovanou tuhost. Proto bylo cílem před odtlakováním snížit teplotu těles na teplotu místnosti. Cílová teplota při odtlakování byla 30 °C. Kvůli snížení teploty musela být dodatečně nainstalována chladicí jednotka. Výsledky zachované tuhosti z hlediska nižší teploty těles při odtlakování jsou znázorněny v grafu 21.



Graf 21 Nárůst modulu tuhosti při snížené teplotě odtlakování

Do tlakové nádoby byla umístěna vždy tři suchá tělesa směsi 15B „kyselá“ a směsi 15B „zásaditá“ a tělesa byla podrobena stárnutí HIPAT (2,1 MPa, 85 °C, 65 hodin). Tlak se na konci zkoušky uvolňoval stejným způsobem jen při jiné teplotě a to při 30 °C. Kvůli porovnání výsledku zachované tuhosti z grafu 21, byla odzkoušena ještě jedna sada suchých těles ale tentokrát standardním postupem metody SATS (odtlakování při 85 °C). Z grafu 22 vyplývá, že směs 15B „zásaditá“ byla do značné míry ovlivněna odtlakováním, tudíž zásadité směsi jsou náchylnější k účinkům odtlakování oproti asfaltové směsi obsahující kyselější kamenivo. Když byl tlak uvolňován při teplotě 85 °C, tak u směsi základní byl zpozorován pokles na 0,8 zachované tuhosti a u kyselé směsi byl zpozorován nárůst přibližně na 1,05. Nicméně když se tlak uvolní při nižší teplotě, jako právě např. při teplotě 30 °C, tak u směsi základní byla mnohem vyšší zachovaná tuhost, a to až 1,30, tím pádem zásaditá směs vykazovala mnohem menší poškození od tlaku. Naopak u „kyselé“ směsi byl, zaznamenám o něco menší nárůst zachované tuhosti v porovnání se „zásaditou“ směsí, a to na hodnotu 1,16.



Graf 22 Vliv teploty odtakování na nárůst modulu tuhosti měřeného při teplotě 20 °C

Relativně vysoký tlak použitý v protokolu metody SATS způsobuje určitý stupeň poškození či zpevnění (zejména při snížení tlaku). Vše také záleží na obsahu vzduchových mezer, jelikož tyto směsi měly docela vysokou mezerovitost, a tudíž byly pravděpodobně náchylnější ke vzniku vnitřního porušení způsobeného při procesu odpouštění tlaku.

3.4.5 Závěry

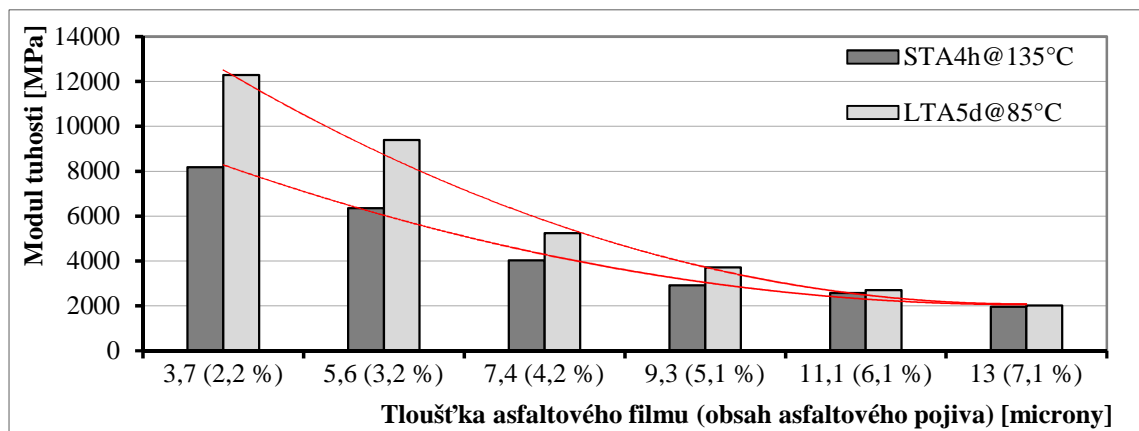
Protokol SATS byl vyvinut na základě konkrétního cíle vyvinout takovou metodu dlouhodobého testovacího protokolu, který kombinuje stárnutí asfaltového pojiva společně s vlhkostní citlivostí. Tento protokol dokázal snížit počáteční modul tuhosti až o 60 %, tím pádem zachovaná tuhost je 0,4 a to v rozumném čase intervalu 65 hodin. Zároveň bylo provedeno stárnutí směsi, které lze přirovnat až k 10letému procesu stárnutí vozovky v provozu. Tento test byl zaměřen hlavně na směsi s vysokým modulem tuhosti s relativně nízkým obsahem pojiva (4 %) a poměrně vysokým obsahem vzduchových mezer (8 %). Některé metody stárnutí vyšetřují jen jeden aspekt stárnutí, přičemž při dlouhodobém provozním stavu je vozovka vystavena více vlivům, a to nejen vlivu staří ale třeba i právě v důsledku vlhkosti, kterou se snaží aplikovat do procesu stárnutí metoda SATS. Důležitý faktor je i poloha tělesa v tlakové nádobě, z hlediska třeba nasycení zkušební tělesa. Vysoký tlak pro urychlení procesu stárnutí, vyvolává také určitý stupeň poškození. Škody se vyskytují hlavně během odtakování. Počáteční objemové vlastnosti těles se mohou během testu SATS měnit a může se tak ovlivňovat zachovaná tuhost. [10]

3.5 Studie vlivu tloušťky asfaltového filmu na proces stárnutí

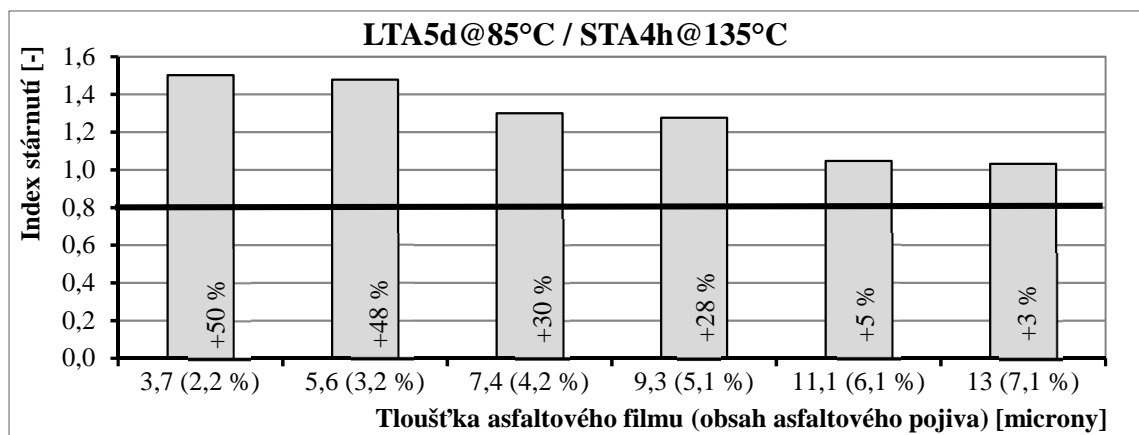
V této studii byl porovnáván vliv stárnutí z hlediska tloušťky asfaltového filmu a dále snaha najít optimální tloušťku asfaltového filmu, při které se dosáhne uspokojivé trvanlivosti asfaltové směsi. Použité kamenivo byl vápenec. Asfaltové směsi byly vyráběny při teplotě 143 ± 3 °C se šesti různými obsahy asfaltového pojiva a to s 3,2; 4,2; 5,1; 6,1 a 7,1 %-hm. asfaltového pojiva. Dané obsahy pojiva odpovídaly vrstvě asfaltového filmu v tloušťce 3,7; 5,6; 7,4; 9,3; 11,1 a 13,0 mikronů. Všechny asfaltové směsi byly podrobeny krátkodobému stárnutí ve formě volně ložené asfaltové směsi, která byla vystavena teplotě 135 °C po dobu 4 hodin. Po skončení krátkodobého stárnutí byly asfaltové zestárlé směsi zhutněny. Celkem bylo zhutněno 5 těles od každé asfaltové směsi. Zhutněná tělesa měla mezerovitost 8 ± 1 %. Všechna zhutněná tělesa

byla dána do teplotní komory a podrobena dlouhodobému procesu stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C. Po krátkodobém a dlouhodobém procesu stárnutí byl na tělesech odzkoušen pružný modul tuhosti při teplotě 25 °C. Další vybrané zkoušky s cílem vyhodnotit vliv stárnutí byly prováděny na asfaltovém pojivu (např. penetrace při teplotě 25 °C, viskozita při teplotě 60 °C či komplexní smykový modul).

V grafu 23 lze zpozorovat klesající tendenci s postupným navyšováním tloušťky asfaltového filmu. Zpočátku mají asfaltové směsi snahu rychleji snižovat modul tuhosti s přibývajícím tloušťkou asfaltového filmu, ale přibližně při tloušťce 11 mikronu asfaltového filmu se modul tuhosti již významně nemění s vlivem zvyšujícího se obsahu asfaltového pojiva. Sklon křivky je zpočátku strmější až do nárůstu tloušťky asfaltového filmu na 9 a více mikronů. S rostoucí tloušťkou asfaltového filmu klesá modul tuhosti asfaltové směsi. Z grafu 24 vyplývá, že čím je obsah asfaltového pojiva menší, tím rychleji narůstá modul tuhosti při procesu stárnutí. Právě pomocí grafu 24 je porovnán nárůst tuhosti mezi krátkodobým a dlouhodobým stárnutím s využitím poměrového ukazatele indexu stárnutí. Při tloušťce 11 až 13 mikronu je nárůst tuhosti téměř vyrovnány a nejmenší (přibližně o 3-5 %). Rychlost stárnutí asfaltového pojiva je urychlena, když je tloušťka vrstvy asfaltového pojiva menší než 9-10 mikronu. Z hlediska této studie s použitím jednoho asfaltového pojiva, lze dojít k závěru, že optimální tloušťka asfaltového filmu pro optimalizaci vlivu stárnutí je v rozmezí od 9 do 10 mikronů. Samozřejmě by byla potřeba další výzkum, jelikož tato studie byla provedena na jednom druhu kameniva a asfaltového pojiva. Již výše bylo zmíněno, že stárnutí je závislé nejen na obsahu asfaltového pojiva ale i na interakci mezi asfaltovým pojivem a kamenivem. [11]



Graf 23 Modul tuhosti v závislosti na tloušťce asfaltového filmu měřený při teplotě 25°C



Graf 24 Nárůst modulu tuhosti po dlouhodobém stárnutí

[11]

3.6 Shrnutí závěrů z popsaných studií

Z výše popsaných studií vyplývá:

- Vliv procesu stárnutí se na modulu tuhosti projevuje navýšením tuhosti, která se postupně s dobou stárnutí zvyšuje v závislosti na teplotě.
- Stárnutí při teplotě 107 °C může navýšit tuhost až o 400 % v závislosti na době stárnutí a dále na typu směsi, mezerovitosti apod.
- Směsi s vyšší mezerovitostí jsou více ovlivněny procesem stárnutí.
- Stárnutí pomocí tlakové oxidace snižuje tuhost v závislosti na působícím tlaku a době působení tlaku
- Stárnutí v triaxiální komoře při teplotě 25 °C a 60 °C navyšuje modul tuhosti přibližně o 20-50 % v závislosti na čase.
- Krátkodobý proces stárnutí uplatněný při teplotě 135 °C může navýšit tuhost v rozmezí 40-120 %.
- Dlouhodobý proces stárnutí uplatněný při teplotě 85 °C může navýšit tuhost po 2 dnech až o 20 %, po 4 dnech až o 30 % a po 8 dnech až o 85 %.
- Dlouhodobý proces stárnutí uplatněný při teplotě 100 °C může navýšit tuhost po 2 dnech až o 80 % a po 4 dnech až o 100 %.
- Asfaltové směsi s vyšší mezerovitostí jako např. směs PA, která měla mezerovitost 23,5 %, mohou dosáhnout větší míry ovlivnění procesem stárnutí, který bude znát při vyšších teplotách měření. Jako právě směs PA, která po procesu stárnutí navýšila modul tuhosti měřený při teplotě 40 °C až o 115 %. Při nižších teplotách bude míra ovlivnění z hlediska navýšení tuhosti méně znatelná.
- Teplotní citlivost asfaltových směsi má tendenci se snižovat.
- Metoda stárnutí SATS snižuje tuhost až o 60 %.
- Tělesa, která při ponoření do vody obsahují více vody, tedy taková, jež mají vyšší saturaci, jsou při tlakovém stárnutí více poničena a jejich výsledná tuhost je nižší.
- Asfaltové směsi obsahující kyselejší kamenivo si zachovaly vyšší procento nasycení vodou po skončení metody SATS, nežli tomu bylo u asfaltových směsí obsahující zásadité kamenivo. Asfaltové směsi obsahující zásadité kamenivo mají tendenci spíše vodu vytěšňovat. Tím pádem asfaltové směsi, které si během procesu zachovaly vyšší procento nasycení vodou, měly výraznější snížení modulu tuhosti neboli měly nižší zachovanou tuhost. Zachovaná tuhost (snížení modulu tuhosti vlivem nasycení a tlaku = metoda SATS) u asfaltových směsí obsahující kyselejší kamenivo byla výrazněji snížena než u asfaltových směsí obsahující zásadité kamenivo.
- Asfaltové směsi obsahující kyselejší kamenivo jsou méně náchylné k procesu odtlakování, pokud se jedná o princip tlakového stárnutí suchých těles ale naopak zkušební tělesa z této směsi, která jsou nasycena a poté podrobena tlakovému stárnutí jsou náchylnější ke snížení modulu tuhosti.
- S rostoucí tloušťkou asfaltového filmu klesá tuhost asfaltové směsi a index stárnutí.

PRAKTICKÁ ČÁST

4 MARSHALOVA TĚLESA A PROCES JEJICH ZÍSKÁNÍ

Asfaltové směsi byly vyráběny v silniční laboratoři v Praze nebo na vybraných obalovnách. Hutnění asfaltových směsí probíhalo převážně v silniční laboratoři v Praze. Výroba a hutnění asfaltových zkušebních těles zde nebude dále popisována z důvodu, že praktická část této diplomové práce využívala již ztuhnutá zkušební tělesa. Pro část provedených měření byla zkušební tělesa převzata ze srovnávacích zkoušek, dále pak z diplomky Bc. Jana Sedláčka a z dalších výzkumných projektů realizovaných na katedře silničních staveb, jako je CESTI či WMARec. Zkušební tělesa převzatá od Bc. Jana Sedláčka byla specifická tím, že byly vyrobeny dvě varianty směsi (ACO11 R25%, ACP16+ R60%) s vlivem různé hutnicí energie a teploty hutnění. Základní údaje o asfaltových směsi jsou shrnuty v tabulce 6 a 7.

Tab. 6 Základní údaje o asfaltových směsí [13]

| Název asfaltové směsi | | Typ asfaltového pojiva | Počet těles | Obsah pojiva | Mezerovitost |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | [ks] | [%] | [%] |
| Jan Sedláček | ACO11 R25% - 2x50 150 °C | 50/70 | 4 | 5,2 | 4,6 |
| | ACO11 R25% - 2x40 150 °C | | 4 | | 5,7 |
| | ACO11 R25% - 2x25 150 °C | | 4 | | 7,7 |
| | ACO11 R25% - 2x50 120 °C | | 4 | | 6,6 |
| | ACO11 R25% - 2x40 120 °C | | 4 | | 7,4 |
| | ACO11 R25% - 2x25 120 °C | | 4 | | 9,2 |
| | ACO11 R25% - 2x50 90 °C | | 4 | | 7,5 |
| | ACO11 R25% - 2x40 90 °C | | 4 | | 9,9 |
| | ACO11 R25% - 2x25 90 °C | | 4 | | 10,4 |
| | ACO11 R25% - 2x50 135 °C | | 4 | | 3,6 |
| | ACO11 R25% - 2x40 135 °C | | 4 | | 4,3 |
| | ACO11 R25% - 2x25 135 °C | | 4 | | 6,3 |
| | ACP16+ R60% - 2x50 150 °C | | 50/70 | | 3 |
| | ACP16+ R60% - 2x40 150 °C | 3 | | 7,0 | |
| | ACP16+ R60% - 2x25 150 °C | 3 | | 9,6 | |
| | ACP16+ R60% - 2x50 120 °C | 3 | | 5,8 | |
| | ACP16+ R60% - 2x40 120 °C | 3 | | 5,9 | |
| | ACP16+ R60% - 2x25 120 °C | 3 | | 7,2 | |
| | ACP16+ R60% - 2x50 90 °C | 3 | | 7,6 | |
| | ACP16+ R60% - 2x40 90 °C | 3 | | 9,1 | |
| | ACP16+ R60% - 2x25 90 °C | 3 | | 10,3 | |
| | ACP16+ R60% - 2x50 135 °C | 3 | | 6,2 | |
| | ACP16+ R60% - 2x40 135 °C | 3 | | 6,7 | |
| | ACP16+ R60% - 2x25 135 °C | 3 | 7,3 | | |

Tab. 7 Základní údaje o asfaltových směsích

| Název asfaltové směsi | | Typ asfaltového pojiva | Počet těles | Obsah pojiva | Mezerovitost |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | | [ks] | [%] | [%] |
| CESTI | ACO11S PMB (Třebenice) | PMB 25/55-65 | 9 | 5,7 | 3,1 |
| | ACP22S Markovice (Sil. Čáslav) | PMB 25/55-65 | 14 | 3,9 | 8,4 |
| WMAREC | ACL16 Varianta I | 50/70 | 3 | 4,6 | 10,0 |
| | ACL16 Varianta V | | 3 | 4,6 | 9,5 |
| | ACL16 Varianta VI | | 3 | 4,6 | 7,0 |
| | ACL16 Varianta VII | | 3 | 4,9 | 7,3 |
| | ACL16 V2_VI | | 3 | 4,6 | 9,7 |
| | ACL16 V2_VII | | 6 | 4,6 | 8,6 |
| Srovnávací měření | ACO11S PMB (HIMA) | PMB 25/55-80 | 16 | 5,4 | 4,3 - 5,1 |
| | ACO11S 50/70 (PKB) | 50/70 | 16 | 5,6 | 4,0 |
| | SMA11S PMB | PMB 25/55-65 | 16 | - | 4,4 |
| VMT22 | VMT22 PMB 10/40-65 | PMB 10/40-65 | 6 | - | 3,4 |
| | VMT22 30/45 | 30/45 | 6 | - | 4,3 |
| | VMT22 PMB 25/55-60 | PMB 25/55-65 | 6 | - | 4,6 |
| | VMT22 Wetfix | 30/45 +0,2 % Wetfix | 6 | - | - |

4.1 Příprava zkušebních těles pro měření

U zkušebních těles se změřily základní rozměry pomocí digitálního posuvného měřítka („šuplery“) a objemové hmotnosti pro výpočet mezerovitosti. U jednoho zkušebního tělesa byly změřeny vždy čtyři průměry a čtyři výšky, ze kterých se vypočítal aritmetický průměr. Průměr zkušebních těles byl přibližně 101±2 mm a výška zkušebních těles byla přibližně 65±5 mm. Dále byl u zkušebních těles odzkoušen modul tuhosti metodou C dle ČSN EN 12697-26 při různých teplotách. Poté byla tělesa rozdělena na dvě skupiny. Přičemž první skupina zkušebních těles podstoupila proces stárnutí, a to v teplotní komoře, popřípadě v tlakové nádobě PAV. Druhá skupina zkušebních těles byla označena jako nezestárlá. Po skončení procesu stárnutí byl u zestárých zkušebních těles opět změřen modul tuhosti při různých teplotách. Z hlediska vlivu stárnutí byla u některých zkušebních těles opět změřena objemová hmotnost pro ověření změny mezerovitosti. Kromě modulu tuhosti byla dále na zkušebních nezestárých a zestárých tělesech odzkoušena mrazová trhлина při teplotě 0 °C.

4.2 Aplikované metody stárnutí

Simulace procesu stárnutí byla provedena pomocí účinků vysoké teploty a tlaku. U všech ztuhnutých asfaltových směsích byla vybrána zkušební tělesa, která byla vystavena dlouhodobému stárnutí v teplotní komoře po různou dobu při teplotě 85 °C. Některá zkušební tělesa byla zároveň vystavena vlivu teploty a tlaku v tlakové nádobě PAV. V tabulce 8 jsou shrnuty procesy stárnutí, kterým byla vystavena zkušební tělesa jednotlivých typů asfaltových směsích.

Tab. 8 Simulace stárnutí asfaltových směsí

| Název asfaltové směsi | Stárnutí zkušebních těles při teplotě 85 °C | | | | | |
|---------------------------|---------------------------------------------|-------|--------|--------|---------|-----|
| | 5 dní | 9 dní | 10 dní | 15 dní | 2x5 dní | PAV |
| ACO11S PMB (Třebenice) | x | | | | | x |
| ACP22S PMB | x | x | | | | x |
| ACL16_I | x | | | | x | |
| ACL16_V | x | | | | x | |
| ACL16_VI | x | | | | x | |
| ACL16_VII | x | | | | x | |
| ACL 16 V2_VI | x | | | | x | |
| ACL 16 V2_VII | x | | | | x | |
| ACO11S PMB 25/55-80 | x | | x | | | x |
| ACO11S 50/70 | x | | x | x | | x |
| SMA11S PMB 25/55-65 | x | | x | | | x |
| VMT22 PMB 10/40-65 | x | | | | | |
| VMT22 30/45 | x | | | | | |
| VMT22 PMB 25/55-60 | x | | | | | |
| VMT22 Wetfix | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x50 150 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x40 150 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x25 150 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x50 120 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x40 120 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x25 120 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x50 90 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x40 90 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x25 90 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x50 135 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x40 135 °C | x | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x25 135 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x50 150 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x40 150 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x25 150 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x50 120 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x40 120 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x25 120 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x50 90 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x40 90 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x25 90 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x50 135 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x40 135 °C | x | | | | | |
| ACP16+ R60% - 2x25 135 °C | x | | | | | |

4.2.1 Stárnutí v teplotní komoře

Stárnutí v teplotní komoře s nucenou cirkulací vzduchu (Obr. 6) bylo aplikováno na ztuhnutých zkušebních tělesech při teplotě 85 °C. Simulace stárnutí probíhala převážně po dobu 5 dnů. U některých asfaltových směsí bylo aplikováno i stárnutí po dobu 9, 10, 15 nebo 2x5 dní. Po skončení procesu stárnutí byla tělesa testována na modul tuhosti a mrazovou trhlinu.

V případě procesu stárnutí 2x5 dnů byla zkušební tělesa nejdříve vystavena stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C. Po skončení této fáze stárnutí se tělesa vyjmula a nechala temperovat na příslušnou teplotu pro odzkoušení modulu tuhosti u zestárých zkušebních těles. Poté se tělesa nechala opět stárnout po dobu dalších 5 dní a znovu se po procesu stárnutí odzkoušel modul tuhosti, tentokrát na tělesech zestárých po době 10 dnů (2x5 dnů).



Obr. 6 Teplotní komora s nucenou cirkulací vzduchu („sušárna“)

4.2.2 Stárnutí v tlakové nádobě PAV

Tlaková nádoba PAV (Pressure Aging Vessel) na obrázku 7 se běžně využívá pro stárnutí asfaltového pojiva. Proces stárnutí vychází z normy ČSN EN 14769 pro asfalty a asfaltová pojiva. Podstatou zkoušky je vystavit tělesa určité teplotě a tlaku vzduchu po danou dobu. K provedení této zkoušky byla potřeba tlaková nádoba, zařízení na regulaci tlaku, teploměr, zařízení pro záznam teploty, kovové misky, držák pro osazení kovových misek (Obr. 8), nádoba se stlačeným vzduchem a zkušební tělesa obalená ocelovou sítí (Obr. 9). [14]



Obr. 7 Tlaková nádoba PAV

Zkušební tělesa se nejdříve obalila ocelovou sítí a stáhla stahovacími páskami kvůli možné boční deformaci těles. Poté se tělesa položila na kovové misky, které byly uloženy do kovového držáku. Takto uložená tělesa se s kovovým držákem vložila do tlakové nádoby. Po uzavření

tlakové nádoby se zkontrolovaly všechny šrouby, jestli jsou bezpečně upevněné, a nakonec se uzavřelo horní víko. V tlakové nádobě se zapnulo nahřívání na teplotu 85 °C. Po dosažení požadované teploty se mohla nádoba na tlakovat na hodnotu $2,1 \pm 0,1$ MPa. Tlakové stárnutí probíhalo po dobu 20 hodin při teplotě 85 °C a tlaku 2,1 MPa. Po uplynutí 20 hodin se pomalu začne uvolňovat vnitřní tlak z nádoby při teplotě 85 °C. Uvolňování vnitřního tlaku by mělo probíhat plynule a k vyrovnání na atmosférický tlak by mělo dojít za 8 až 15 minut. Tlaková nádoba se opatrně otevře a vyjme se horký kovový nástavec s tělesy. Tělesa by se měla nechat nejdříve ochladit na laboratorní teplotu, než se začnou vyndávat z kovového nástavce a ocelové sítky. Při vyndávání horkých těles by totiž mohlo dojít k jejich deformaci či poničení. Z vychladlých těles se sundaly stahovací pásky a ocelové sítky. Zestárlá tělesa byla dále testována na modul tuhosti a mrazovou trhlinu.



Obr. 8 Nástavec pro osazení kovových misek



Obr. 9 Zkušební tělesa obalená ocelovou sítkou

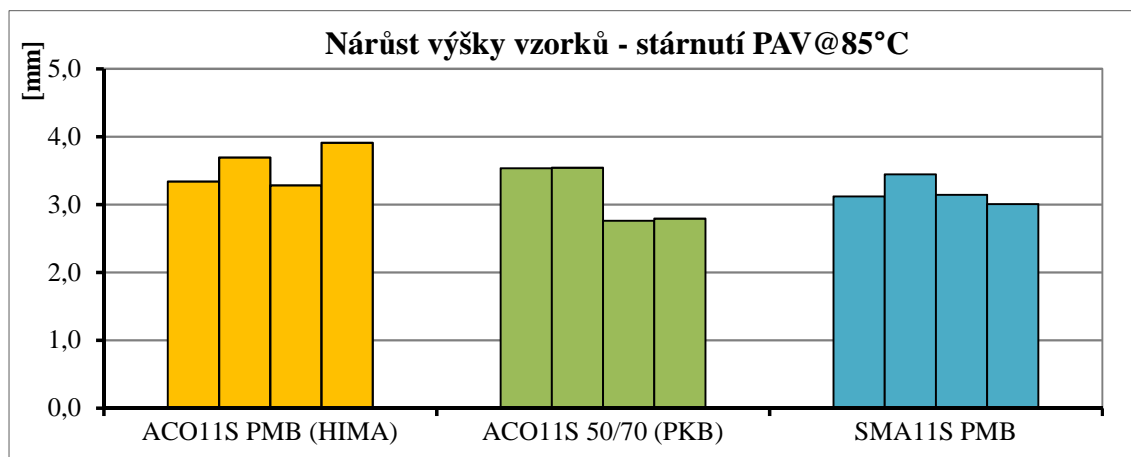
Zásadní problém tlakové nádoby byla velikost vnitřního prostoru. Do tlakové nádoby se vešla pouze čtyři zkušební tělesa výšky $h = 65$ mm, popřípadě pět těles se sníženou výškou na $h = 50$ mm. Tedy při velkém objemu těles by tato metoda byla zdlouhavá. U zkušebních těles zestárlých touto metodou se znovu musely přeměřit rozměry, jelikož již vizuální pohled naznačoval lehce vypouklou spodní a horní stranu. Tělesa byla sice držena ocelovou sítkou proti boční deformaci, ale nebyla nijak jištěna proti vertikální deformaci. Na obrázku 10 jsou zobrazena nezestárlá a zestárlá tělesa metodou PAV, kdy je na první pohled poznat mírná výšková deformace. V tabulce 9 a grafu 25 jsou zobrazena data z přeměření výškových rozměrů těles, která prošla procesem tlakového stárnutí. U třech směsí, u kterých byly přeměřovány rozměry po stárnutí v PAV, došlo k změně výšky přibližně o 3,2 až 3,6 mm.

Tab. 9 Výšky zkušebních těles před a po procesu stárnutí v PAV

| Asfaltová směs | Těleso | $H_{p\u00favodn\u00ed}$ | h_{pav} | Rozd\u00edl v\u00fd\u0161ek | |
|-----------------|--------|-------------------------|-----------|---------------------------------|-----|
| | | [mm] | [mm] | $h_{pav}-h_{p\u00favodn\u00ed}$ | |
| | | | | [mm] | |
| ACO11S 50/70 | 7 | 65,1 | 68,6 | 3,5 | 3,2 |
| | 14 | 64,6 | 68,1 | 3,5 | |
| | 15 | 65,0 | 67,8 | 2,8 | |
| | 16 | 64,9 | 67,7 | 2,8 | |
| ACO11S PMB | 7 | 65,4 | 68,8 | 3,3 | 3,6 |
| | 8 | 65,2 | 68,9 | 3,7 | |
| | 13 | 65,8 | 69,1 | 3,3 | |
| | 14 | 66,6 | 70,5 | 3,9 | |
| SMA11S PMB | 13 | 67,3 | 70,5 | 3,1 | 3,2 |
| | 14 | 67,5 | 71,0 | 3,4 | |
| | 15 | 66,8 | 69,9 | 3,1 | |
| | 16 | 65,6 | 68,6 | 3,0 | |



Obr. 10 Nezest\u00e1rl\u00e1 a zest\u00e1rl\u00e1 zkušební tělesa v PAV



Graf 25 N\u00e1r\u00fast v\u00fd\u0161ek zkušebních těles po procesu st\u00e1rnut\u00ed v tlakov\u00e9 n\u00e1dob\u011b

5 ZKOUŠENÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Některé typy zkoušek byly již teoreticky popsány a zpracovány v bakalářské práci [1] a jsou v tomto rozsahu převzaty do diplomové práce, resp. podrobnější informace lze dohledat v uvedené bakalářské práci. V tabulce 10 jsou shrnuty jednotlivé směsi, jejich mezerovitost před a po procesu stárnutí. Dále je zde poznamenáno, při jaké teplotě se měřil modul tuhosti před a po procesu stárnutí a zda se zkoušela mrazová trhлина před a po procesu stárnutí.

Tab. 10 Typy zkoušek před a po procesu stárnutí na zkušebních tělesech

| Název asfaltové směsi | Mezerovitost [%] | | Moduly [°C] (před stárnutím X, po stárnutí X) | | | Trhлина při 0 °C | |
|---------------------------|------------------|-------------|--------------------------------------------------|----|----|------------------|----|
| | Před stár. | 5 dní 85 °C | 0 | 15 | 30 | Před | Po |
| | | | | | | | |
| ACO11 R25% - 2x50 150 °C | 4,6 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x40 150 °C | 5,7 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x25 150 °C | 7,7 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x50 120 °C | 6,6 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x40 120 °C | 7,4 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x25 120 °C | 9,2 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x50 90 °C | 7,5 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x40 90 °C | 9,9 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x25 90 °C | 10,4 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x50 135 °C | 3,6 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x40 135 °C | 4,3 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACO11 R25% - 2x25 135 °C | 6,3 | - | XX | XX | XX | x | x |
| ACP16+ R60% - 2x50 150 °C | 6,6 | - | XX | XX | XX | - | x |
| ACP16+ R60% - 2x40 150 °C | 7,0 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x25 150 °C | 9,6 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x50 120 °C | 5,8 | - | XX | XX | XX | - | x |
| ACP16+ R60% - 2x40 120 °C | 5,9 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x25 120 °C | 7,2 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x50 90 °C | 7,6 | - | XX | XX | XX | - | x |
| ACP16+ R60% - 2x40 90 °C | 9,1 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x25 90 °C | 10,3 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x50 135 °C | 6,2 | - | XX | XX | XX | - | x |
| ACP16+ R60% - 2x40 135 °C | 6,7 | - | XX | XX | XX | | x |
| ACP16+ R60% - 2x25 135 °C | 7,3 | - | XX | XX | XX | | x |

Tab. 11 Typy zkoušek před a po procesu stárnutí na zkušebních tělesech

| Asfaltové směsi | Mezerovitost [%] | | | | | | Moduly [°C] (před stárnutím X, po stárnutí X) | | | | Trhlina při 0 °C | |
|-----------------|------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|-----------|-----------------------------------------------|----|----|----|------------------|----|
| | Před Stár. | 5 dní 85 °C | 10 dní 85 °C | 15 dní 85 °C | 2x5 dní 85 °C | PAV 85 °C | 0 | 15 | 27 | 40 | Před | Po |
| | | | | | | | | | | | | |
| ACO11S PMB | 3,1 | 2,9 | | | | 7,3 | XX | XX | XX | XX | x | x |
| ACP22S | 8,4 | - | | | | 13,5 | XX | XX | XX | XX | x | x |
| ACL16_I | 10,0 | - | | | - | | X | XX | | | | x |
| ACL16_V | 9,5 | - | | | - | | X | XX | | | | x |
| ACL16_VI | 7,0 | - | | | - | | X | XX | | | | x |
| ACL16_VII | 7,3 | - | | | - | | X | XX | | | | x |
| ACL16 V2_VI | 9,7 | - | | | - | | X | XX | | | | x |
| ACL16 V2_VII | 8,6 | - | | | - | | X | XX | | | | x |
| ACO11S PMB | 4,3 - 5,1 | 4,2 | 4,3 | - | | 10,4 | XX | XX | XX | | x | x |
| ACO11S 50/70 | 4,0 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | | 9,2 | XX | XX | XX | | - | x |
| SMA11S PMB | 4,4 | 4,2 | 4,5 | - | | 9,7 | XX | XX | XX | | x | x |
| VMT22 10/40-65 | 3,4 | 3,2 | - | - | - | - | XX | XX | XX | XX | x | x |
| VMT22 30/45 | 4,3 | 4,5 | - | - | - | - | XX | XX | XX | XX | x | x |
| VMT22 25/55-60 | 4,6 | 4,7 | - | - | - | - | XX | XX | XX | XX | x | x |
| VMT22 Wetfix | - | - | - | - | - | - | XX | XX | XX | XX | x | x |

5.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebního tělesa

Definice: „Hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu zkušebního tělesa včetně mezer.“ [15]

Objemová hmotnost pro válcová zkušební tělesa byla zkoušena dle normy ČSN EN 12697-6 pro horké asfaltové směsi. V této normě jsou uvedeny čtyři možné metody pro stanovení objemové hmotnosti. Objemová hmotnost prvních tří (a, b, c) metod se zjišťuje na základě hmotnosti suchého a mokrého zkušebního tělesa. Čtvrtá metoda (d) se zjišťuje pomocí rozměrů daných zkušebních těles. V této diplomové práci byla použita metoda b, která se zabývá objemovou hmotností nasycených suchých těles. [1]

5.1.1 Postup a vyhodnocení

Objemová hmotnost získaná z hmotnosti suchého, ponořeného a nasyceného tělesa a objemu vody. Zkušební těleso se nejdříve muselo zvážit v suchém stavu pro získání hmotnosti (m_1) a poté bylo ponořeno do vody o známé teplotě a hustotě. Těleso se ponechalo dostatečně dlouho nasytit, aby se hmotnost po nasycení mohla ustálit. Požadovaná minimální doba nasycení dle normy ČSN EN 12697-6 je 30 minut. Tato doba nasycení tělesa by neměla přesáhnout dobu 3 hodin. Po uplynutí potřebné doby nasycení se stanovila hmotnost ponořeného tělesa (m_2). Těleso se poté povrchově osušilo vlhkou jehlicí a zvážilo se na vzduchu pro zjištění hmotnosti nasyceného tělesa vodou (m_3). Ze zjištěných hmotností a hustoty vody bylo možno určit objemovou hmotnost (ρ_{bssd}) s přesností na 0,001 g/cm³ dle uvedeného vzorce (2). Na obrázku 11 je zobrazené vážení ponořených a nasycených těles.



Obr. 11 Vážení ponořených a osušených zkušebních těles

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w \quad (2)$$

kde:

| | | |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|
| ρ_{bssd} [g/cm ³] | objemová hmotnost nasyceného suchého tělesa | |
| m_1 [g] | hmotnost suchého zkušebního tělesa | |
| m_2 [g] | hmotnost zkušebního tělesa ve vodě | |
| m_3 [g] | hmotnost nasyceného a povrchově osušeného zkušebního tělesa | |
| ρ_w [g/cm ³] | hustota vody při zkušební teplotě | [1,15] |

5.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi

Definice: „Hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu směsi bez vzduchových mezer.“ [16]

Maximální objemová hmotnost byla stanovena podle normy ČSN EN 12697-5 pro asfaltové směsi za horka. V této normě jsou uvedeny tři postupy a to volumetrický, hydrostatický a matematický postup. Pro tuto práci byla zvolena metoda volumetrického postupu, která je určena z objemu vody vytěsněné vzorkem z pyknometru. [1,16]

5.2.1 Postup a vyhodnocení

Pro zkoušku je potřeba čistý, suchý pyknometr s těsnícím nástavcem (Obr. 12) o známé hmotnosti (m_1) a objemu (V_p), dále odvzdušněná destilovaná voda (Obr. 13), vakuová komora, teploměr a rozdrobená asfaltová směs (Obr. 14). Nejdříve je potřeba danou asfaltovou směs nahřát pro snadnější rozebrání na jednotlivá asfaltem obalená zrna, která se před danou zkouškou musí nechat zchladit. Do připraveného pyknometru se nasype rozdrobená asfaltová směs. Pro jednodušší nasypání směsi do pyknometru je vhodné využít plechový trychtýř. V pyknometru je potřeba mít určité množství směsi, které odpovídá hmotnosti 50násobku největšího použitého zrna kameniva ve směsi nebo popřípadě naplnit pyknometr zhruba do 2/3

jeho výšky. Naplněný pyknometr s nástavcem je potřeba zvážit a tím zjistit hmotnost (m_2). Pyknometr se dále naplní odvzdušněnou destilovanou vodou přibližně do výšky 20 mm pod okrajem. Směs je dobré uvnitř pyknometru promíchat kvůli odstranění přebytečných vzduchových bublin. Takto připravený pyknometr se uloží do vakuové komory (Obr. 15) pro odstranění zbytkového vzduchu. Ve vakuové komoře působí podtlak 4 kPa. Při podtlaku se pyknometr ponechá 15 ± 1 min, v mém případě byl pyknometr ponechán pod podtlakem přibližně 30 minut. Po uplynutí 30 minut se pyknometr vyjme, osuší se z vnější strany, nasadí se nástavec, který musí těsně přiléhat a dolije se potřebnou destilovanou vodou po vyznačenou rysku na nástavci. Dolévání vody by mělo probíhat opatrně z hlediska možnosti vniknutí nežádoucího vzduchu do odvzdušněné vody v pyknometru. Nakonec se stanoví poslední hmotnost (m_3) a teplota vody v pyknometru, kvůli zjištění hustoty destilované vody. [1]



Obr. 12 Suchý a naplněný pyknometr s nástavcem
voda



Obr. 13 Odvzdušněná destilovaná
voda

Maximální objemová hmotnost (ρ_{mv}) asfaltové směsi podle volumetrického postupu se vypočítá s přesností na $0,001 \text{ g/cm}^3$ dle vzorce (3).

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w} \quad (3)$$

kde:

| | |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho_{mv} [\text{g/cm}^3]$ | maximální objemová hmotnost asfaltové směsi stanovené volumetrickým postupem s přesností $0,001 \text{ g/cm}^3$ |
| $m_1 [\text{g}]$ | hmotnost pyknometru s nástavcem |
| $m_2 [\text{g}]$ | hmotnost pyknometru s nástavcem, zkušební vzorku |
| $m_3 [\text{g}]$ | hmotnost pyknometru s nástavcem, zkušební vzorku a destilované vody |
| $V_p [\text{cm}^3]$ | objem pyknometru při naplnění po referenční rysku |
| $\rho_w [\text{g/cm}^3]$ | hustota vody při zkoušení maximální objemové hmotnosti [1,16] |



Obr. 14 Rozdrobená asfaltová směs



Obr. 15 Vakuová komora

5.3 Mezerovitost zhutněných směsí

Definice V_m : „Objem mezer ve zkušebním tělese asfaltové směsi vyjádřený v procentech celkového objemu zkušebního tělesa.“ [17]

Mezerovitost se stanovila podle normy ČSN EN 12697-8 pro horké asfaltové směsi. Mezerovitost asfaltového zkušebního tělesa se vypočítá z hodnot maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušebního tělesa dle vzorce (4).

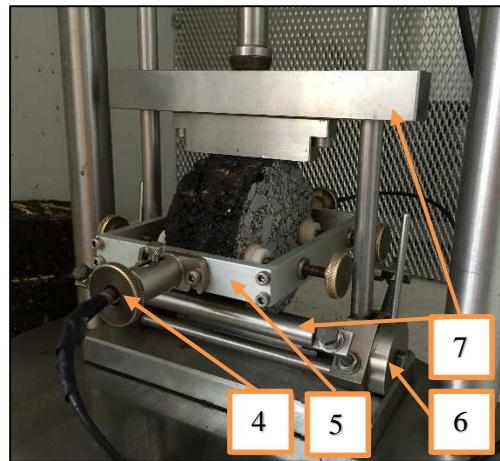
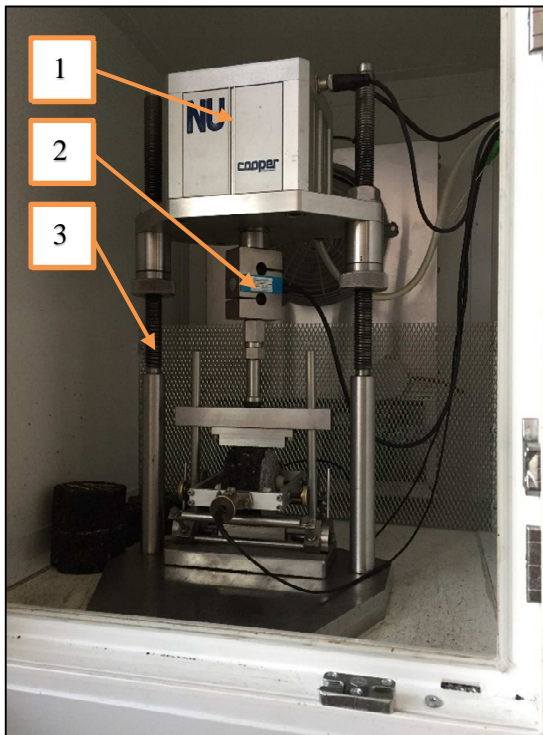
$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \quad (4)$$

kde:

| | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------|
| V_m [%] | mezerovitost směsi s přesností 0,1 % | |
| ρ_m [g/cm ³] | maximální objemová hmotnost směsi | |
| ρ_b [g/cm ³] | objemová hmotnost zkušebního tělesa | [1,17] |

5.4 Modul tuhosti

Tuhost je u asfaltových směsí definována jako poměr napětí a poměrného přetvoření. Charakterizuje nám schopnost materiálu odolávat účinkům zatížení. Tato zkouška je významná z pohledu stanovení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací a při stanovení únavy. Stanovení opakovaného namáhání v příčném tahu nedestruktivní metodou se provádělo na přístroji Nottingham Asphalt Tester (NAT, Obr. 16). Tento měřicí přístroj je vhodné mít umístěný v klimatické komoře kvůli stálé temperování zkušebního tělesa během jeho zkoušení. Zkušební zařízení NAT se skládá z pneumatického zdroje zatížení, ocelového zatěžovacího rámu, upínacího a měřícího zařízení, rámečku s LVDT sondami a zatěžovacích pásů. [1,18]



Obr. 16 Zkušební zařízení NAT

1. Pneumatický zdroj zatížení
2. Snímač síly
3. Ocelový rám
4. LVDT nastavovací šroub
5. Upínací rámeček
6. Nastavovací podpěra rámečku
7. Horní a spodní zatěžovací pás [1]

5.4.1 Postup a vyhodnocení zkoušky

Před zahájením zkoušky je potřeba znát průměrné rozměry zkušebních těles (výšku a průměr) a mít tělesa vytemperovaná na požadovanou teplotu. Pro tuto diplomovou práci se měřily moduly při různých teplotách, a to převážně pro hodnoty 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C. Zkouška byla měřena přístrojem NAT, který zaznamenával a zpracovával měření pomocí programu ITSM EN do textových souborů. Vytemperované zkušební těleso se uloží na podpěry a upne se v upínacím rámečku. Na zkušební těleso se položí horní zatěžovací pás a takto připravená sestava se vsune pod pneumatický zdroj zatížení. Po vsunutí sestavy se povolí nastavovací podpěra upínacího rámečku. Ve spuštěném programu ISTM EN se nastaví základní rozměry zkoušeného tělesa, teplota, Poissonovo číslo odpovídající příslušné teplotě (např. pro 0 °C je $\nu = 0,25$ a pro 15 °C je $\nu = 0,31$), doba náběhu, která by měla být 124±4 ms a horizontální deformace 0,005 %. Pro teplotu 0 °C se horizontální deformace nastavuje 0,003 %, kvůli snadnějšímu měření tuhého tělesa. Dále se urovnají snímače síly a spustí se 10 kontrolních zatěžovacích pulzů, aby se zařízení vyrovnalo na velikost síly a horizontální deformaci. Po skončení kontrolních pulzů se znovu zkontrolují snímače síly a spustí se 5 dalších pulzů, díky kterým se vypočítá naměřený modul tuhosti pro každý zatěžovací pulz dle vzorce (5). Po prvním měření se zkušební těleso vyjme a otočí o 90 ° kolem horizontální osy a provede se druhé měření modulů tuhosti. Z každého měření se udělá aritmetický průměr modulů tuhosti. Moduly by se mezi sebou neměly lišit o víc jak -20 % až +10 %. [1]

Výpočet naměřeného modulu tuhosti (E):

$$E = \frac{F * (v + 0,27)}{(z + h)} \quad (5)$$

kde:

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------|--------|
| E [MPa] | naměřený modul tuhosti | |
| F [N] | maximální hodnota použitého svislého zatížení | |
| z [mm] | amplituda horizontální deformace | |
| h [mm] | průměrná tloušťka zkušební tělesa | |
| v [-] | Poissonovo číslo | [1,18] |

Naměřený modul tuhosti je potřeba upravit podle součinitele plochy zatížení 0,60 dle vzorce (6).

$$E' = E * (1 - 0,322 * (\log(E) - 1,82) * (0,60 - k)) \quad (6)$$

kde:

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------|--------|
| E' [MPa] | modul tuhosti upravený na součinitel plochy zatížení 0,60 | |
| k [-] | naměřený součinitel plochy | |
| E [MPa] | naměřený modul tuhosti při součiniteli zatížení k | [1,18] |

5.5 Šíření trhliny

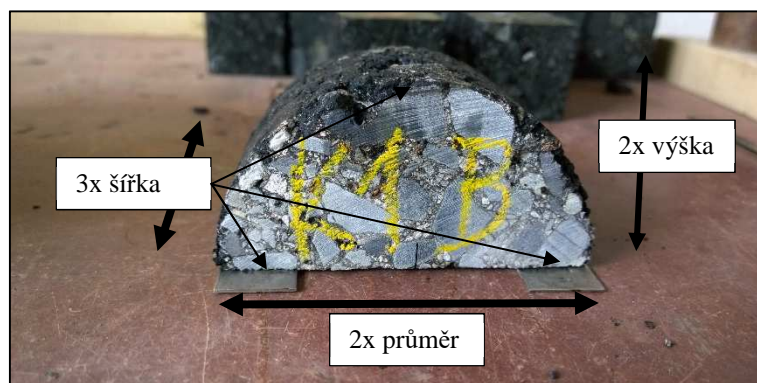
Stanovení odolnosti asfaltové směsi proti šíření trhlin ohybem na půlválcových zkušebních tělesech se provádělo dle normy ČSN EN 12697-44.

5.5.1 Příprava zkušební tělesa

Zkouška šíření trhlin ohybem se prováděla po změření modulu tuhosti. Zkušební tělesa se po změření modulu tuhosti při různých teplotách nechala rozřezat na půlválcová tělesa. V každém půlválcovém tělese se uprostřed vyřízla drážka hluboká 10 mm pomocí kotoučové pilky (Obr. 17). U takto připravených těles se změřily rozměry dle obrázku 18 a poté se nechala půlválcová tělesa vytemperovat na teplotu 0 °C.



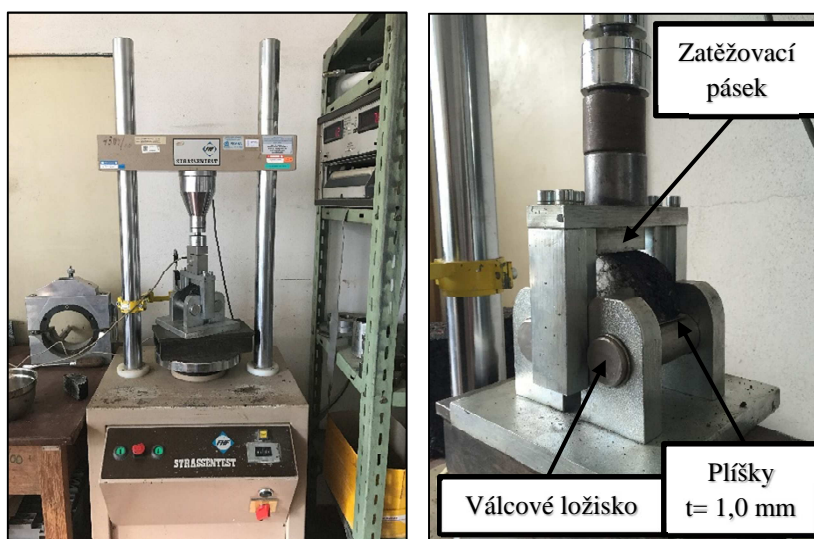
Obr. 17 Kotoučová pilka



Obr. 18 Půlválcové zkušební těleso a jeho rozměry

5.5.2 Postup a vyhodnocení zkoušky

Na vytemperované těleso se nalepí dva ocelové plíšky v místě krajních podpěr tělesa, tak aby střed každého pásku byl umístěn nad středem každého válcového ložiska. Po umístění tělesa na válcová ložiska se na těleso položí rám se zatěžovacím páskem (Obr. 19). Půlválcové těleso s nalepenými plíškami se nechá zatěžovat ohybem ve třech bodech tak, že střed spodního líce zkušební tělesa je vystaven napětí v tahu. Zatěžování probíhá při rychlosti $v = 5 \text{ mm/min}$. Postupným zatěžováním se zvyšuje deformace a síla až do okamžiku vzniku první trhliny, kdy dojde k porušení půlválcového tělesa. Při porušení se zaznamená maximální síla (F_{max}) a svislý posun (ΔW). Zkouška je vyhodnocena jako platná, pokud se trhlina vyskytla v oblasti $\pm 15 \text{ mm}$ ($= 10 \%$ průměru zkušební tělesa) od středu zkušební tělesa (Obr. 20). [1]



Obr. 19 Nástavec a lis pro zkoušku šíření trhliny za ohybu



Obr. 20 Oblast platného výsledku zkoušky šíření trhlín

Výpočet přetvoření (ε_{max}) při maximální síle (F_{max}) dle rovnice (7):

$$\varepsilon_{max} = \frac{\Delta W}{h} * 100\% \quad (7)$$

kde:

| | | |
|-----------------|------------------------------|--------|
| h [mm] | výška zkušební tělesa | |
| ΔW [mm] | svislý posun zkušební tělesa | [1,19] |

Výpočet maximálního napětí (σ_{max}) při porušení dle rovnice (8):

$$\sigma_{max} = \frac{4,263 * F_{max}}{D * t} \quad (8)$$

kde:

| | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------|
| σ_{max} [N/mm ²] | maximální napětí při porušení | |
| D [mm] | průměr zkušební tělesa | |
| t [mm] | tloušťka zkušební tělesa | |
| F_{max} [N] | maximální síla zkušební tělesa | [1,19] |

Výpočet odolnosti vůči lomu (lomové houževnatosti - K_{IC}) zkušební tělesa dle rovnice (9):

$$K_{IC} = \sigma_{max} * f\left(\frac{a_i}{h_i}\right) \quad (9)$$

kde:

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|
| K_{IC} [N/mm ^{3/2}] | odolnost vůči lomu | |
| h [mm] | výška zkušební tělesa | |
| a [mm] | hloubka drážky zkušební tělesa | |
| σ_{max} [N/mm ²] | napětí při porušení zkušební tělesa | |
| $f(a/h_i)$ [-] | geometrický faktor zkušební tělesa | [1,19] |

Výpočet geometrického faktoru zkušební tělesa dle rovnice (10):

$$f\left(\frac{a_i}{h_i}\right) = -4,9965 + 155,58 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right) - 799,94 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^2 + 2141,9 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^3 - 2709,1 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^4 + 1398,6 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^5 \quad (10)$$

V roce 2016 byla k připomínkovacímu řízení předložena revidovaná norma popisující zkoušku šíření trhliny na půlválcových zkušebních tělesech (prEN 12697-44), ve které jsou upraveny některé rovnice pro výpočet odolnosti zkušební tělesa vůči vzniku trhliny. Celkem byly upraveny dvě rovnice, a to pro výpočet geometrického faktoru zkušební tělesa a pro výpočet odolnosti vůči lomu. Výpočet odolnosti vůči lomu (lomové houževnatosti - K_{IC}) zkušební tělesa je uveden v rovnici (11):

$$K_{IC,i} = \sigma_{max,i} * \sqrt{\pi a_i} * f\left(\frac{a_i}{h_i}\right) \quad (11)$$

Výpočet geometrického faktoru zkušební tělesa dle rovnice (12):

$$f\left(\frac{a_i}{h_i}\right) = -0,623 + 29,29 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right) - 171,2 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^2 + 457,1 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^3 - 561,2 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^4 + 265,54 * \left(\frac{a_i}{h_i}\right)^5 \quad (12)$$

Rovnice pro výpočet houževnatosti se změnila přidáním odmocniny, která se dříve uvažovala hodnotou 1. Hodnota pod odmocninou závisí na hloubce drážky zkušební tělesa, která v našem případě je 10 mm, prakticky však může při jejím řezání nastat odchylka. Dále výpočet houževnatosti závisí na geometrickém faktoru, který se dle předběžné revidované normy prEN také změnil. U geometrického faktoru se změnila konstanty, které jsou před závorkami. Tyto hodnoty se snížily. Geometrický faktor dle normy ČSN EN pro asfaltové směsi výše uvedené vycházel $\pm 7,5$. Geometrický faktor dle návrhu revidované normy vycházel s ustálenou hodnotou 1,23 pro asfaltové směsi výše uvedené. Změna lomové houževnatosti bude uvedena v kapitole 6.3 (6.3 odolnost vůči vzniku trhliny), kde bude u dvou asfaltových směsi provedeno přímé porovnání výsledných hodnot obou norem.

6 VYHODNOCENÍ

Bude zde vyhodnocena změna mezerovitosti, tuhosti a lomové houževnatosti jednotlivých vybraných asfaltových směsí. Modul tuhosti bude vyhodnocen pro každou asfaltovou směs zvlášť, poté bude následovat shrnutí vlivu stárnutí na tuhost asfaltových směsí, které byly vystaveny procesu stárnutí 5d@85°C a PAV@85°C. Dále zde bude vyhodnocena teplotní citlivost asfaltových směsí. Nakonec bude vyhodnocena odolnost vůči vzniku mrazové trhliny pro vybrané asfaltové směsi. U některých grafů budou uvedeny chybové úsečky, které vyznačují standardní odchylku jednotlivých hodnot. Vliv stárnutí bude vyhodnocen dle jednoduché rovnice popisující jeho vliv na jednotlivé typy zkoušek. Index stárnutí bude vyhodnocen dle následujících rovnic (1, 13, 14, 15):

$$\text{Index stárnutí}_1 = \frac{\text{modul tuhosti zestárlého vzorku při teplotě } T}{\text{modul tuhosti nezestárlého vzorku při teplotě } T} \quad (1)$$

$$\text{Index stárnutí}_2 = \frac{\text{napětí při porušení pro zestárlý vzorek při teplotě } 0^\circ\text{C}}{\text{napětí při porušení pro nezestárlý vzorek při teplotě } 0^\circ\text{C}} \quad (13)$$

$$\text{Index stárnutí}_3 = \frac{\text{odolnost vůči lomu pro zestárlý vzorek při teplotě } 0^\circ\text{C}}{\text{odolnost vůči lomu pro nezestárlý vzorek při teplotě } 0^\circ\text{C}} \quad (14)$$

$$\text{Index stárnutí}_4 = \frac{\text{přetvoření zestárlého vzorku při teplotě } 0^\circ\text{C}}{\text{přetvoření nezestárlého vzorku při teplotě } 0^\circ\text{C}} \quad (15)$$

6.1 Změna mezerovitosti

Mezerovitost byla vyhodnocena u některých typu asfaltových směsí, které jsou uvedeny v tabulce 12. U asfaltové směsi VMT22 30/45 + 0,2 % Wetfix nevyšla maximální objemová hmotnost, proto nemohla být zjištěna mezerovitost dané asfaltové směsi. Pokud by se dosadila teoretická maximální objemová hmotnost nebo i jiná hodnota, vyšla by určitá hodnota mezerovitosti, díky které by se dalo zjistit, o jak velkou hodnotu se mezerovitost asfaltové směsi změnila po procesu stárnutí. Mezerovitost dané asfaltové směsi by byla snížena po procesu stárnutí o 0,3 %, což by rámcově odpovídalo i změně mezerovitosti ostatních asfaltových směsí.

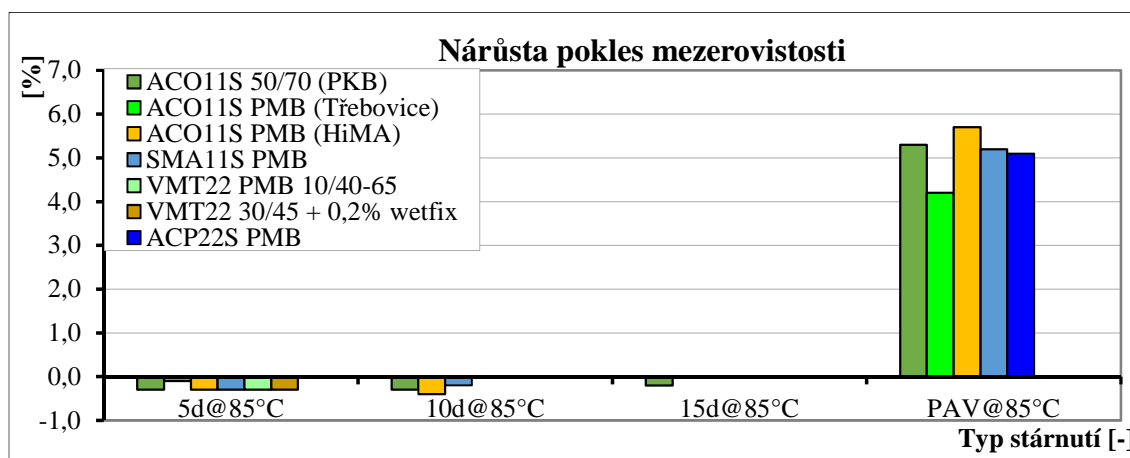
Mezerovitost byla vyhodnocena z maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zhutněného zkušebního tělesa. Na vyhodnocení mezerovitosti má velký vliv objemová hmotnost zkušebního tělesa, jelikož již 1 g změny mezerovitost o 0,1 %. Při samotném měření objemové hmotnosti může vlivem manipulace zkušebního tělesa dojít ke ztrátě špatně přichycených obalených zrn kameniva, která ovlivní výsledky mezerovitosti. Již výše bylo popsáno, že se u zkušebního tělesa nejdříve zjistí hmotnost v suchém stavu a poté v nasyceném stavu. Hmotnost zkušebního tělesa v nasyceném stavu závisí na dobrém osušení pomocí jelenice. Tedy vyhodnocení mezerovitosti by dle mého názoru mělo být bráno s určitou rezervou.

Tab. 12 Změna mezerovitosti vlivem procesu stárnutí

| Typ asfaltové směsi | Mezerovitost | | | | |
|----------------------------|--------------|---------|----------|----------|----------|
| | Nezestárlá | 5d@85°C | 10d@85°C | 15d@85°C | PAV@85°C |
| | [%] | | | | |
| ACO11S PMB | 3,1 | 2,9 | - | - | 7,3 |
| ACP22S PMB | 8,4 | - | - | - | 13,5 |
| ACO11S PMB (HiMA) | 4,3 - 5,1 | 4,2 | 4,3 | | 10,4 |
| ACO11S 50/70 (PKB) | 4,0 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 9,2 |
| SMA11S PMB | 4,4 | 4,2 | 4,5 | - | 9,7 |
| VMT22 PMB 10/40-65 | 3,4 | 3,2 | - | - | - |
| VMT22 30/45 | 4,5 | 4,5 | - | - | - |
| VMT22 PMB 25/55-60 | 4,6 | 4,7 | - | - | - |
| VMT22 30/45 + 0,2 % Wetfix | - | - | - | - | - |

U třech posledních asfaltových směsí (VMT22 30/40, VMT22 25/55-60, VMT22 30/45+0,2 % Wetfix) byla maximální objemová hmotnost zjišťována dodatečně, a to z rozebrané asfaltové směsi porušených půlválcových těles, na kterých byla již odzkoušena mrazová trhlina. U poslední v tabulce uvedené asfaltové směsi maximální hmotnost nevyšla, jak již bylo zmíněno výše. Maximální objemová hmotnost u těchto tří typů asfaltových směsí bude určitým způsobem ovlivněna dodatečně získanou rozebranou asfaltovou směsí, která byla získána z porušených zkušebních těles.

Vlivem procesu stárnutí se změnila mezerovitost zkušebních těles v závislosti na typu stárnutí (graf 26). Po procesu stárnutí 5d@85°C (po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C) se mezerovitost zkušebních těles zpravidla snížila přibližně o 0,3 %. Podobně tomu bylo i v případě stárnutí 10d@85°C a 15d@85°C. Nejvýraznější změna mezerovitosti nastala po procesu stárnutí v tlakové nádobě PAV při teplotě 85 °C. Po procesu stárnutí PAV@85°C se mezerovitost navýšila přibližně o 4 – 6 %. Tato změna nejspíše nastala během natlakování a odtlakování PAV nádoby, kdy zkušební tělesa byla plně vytemperována na teplotu 85 °C a působící tlak mohl snadněji poškodit měkká zkušební tělesa. Zvýšení mezerovitosti mělo významný vliv na další vyhodnocené zkoušky, jako na modul tuhosti či odolnost vůči vniku trhliny.



Graf 26 Změna mezerovitosti vlivem procesu stárnutí

6.2 Změna modulu tuhosti

Modul tuhosti bude vyhodnocen pro každou asfaltovou směs zvlášť. Dále bude vyhodnocen pro všechny asfaltové směsi souhrnný index stárnutí ovlivněný procesem stárnutí 5d@85°C a PAV@85°C. A nakonec bude vyhodnocena změna teplotní citlivosti a tuhosti posuzovaných asfaltových směsí. Nárůst tuhosti bude porovnán v závislosti na mezerovitosti a typu asfaltového pojiva. Asfaltové směsi byly vyráběny minimálně po šesti zkušebních tělesech (1-6), přičemž půlka zkušebních těles byla vystavena procesu stárnutí (např. 4-6). Při vyhodnocení indexu stárnutí byla snaha porovnat tuhost, která se změřila na stejných zkušebních tělesech. Nejdříve se tedy změřily tuhosti nezestárlých zkušebních těles (např. tělesa č. 4-6) a po procesu stárnutí se změřila tuhost na stejných zkušebních tělesech a ty byly porovnány dle indexu stárnutí. Jelikož mohlo nastat, že průměr modulu tuhosti z šesti nezestárlých těles mohl být větší než průměr tří zestárlých zkušebních těles. Zde do značné míry záviselo na hodnotách tuhosti zkušebních těles a rozdílu tuhostí mezi těmito zkušebními tělesy

6.2.1 Modul tuhosti jednotlivých asfaltových směsí

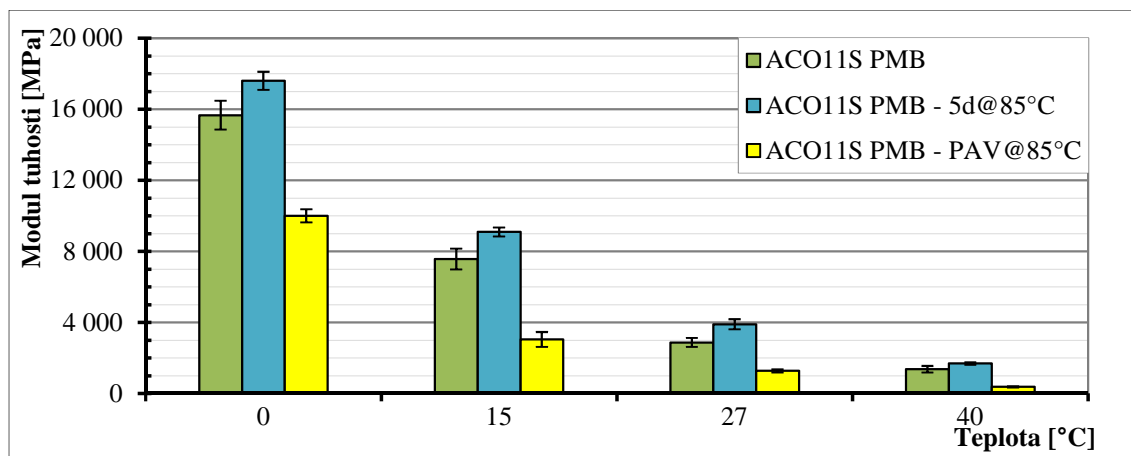
6.2.1.1 ACO11S_{Tréb.} PMB

Asfaltová zhutněná zkušební tělesa byla vystavena procesu stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C a stárnutí v tlakové nádobě při teplotě 85 °C. Mezerovitost zkušebních těles byla 3,1 %. V tabulce 13 jsou shrnuty moduly tuhosti při čtyřech teplotách pro všechny typy stárnutí, teplotní citlivost a nárůst tuhosti.

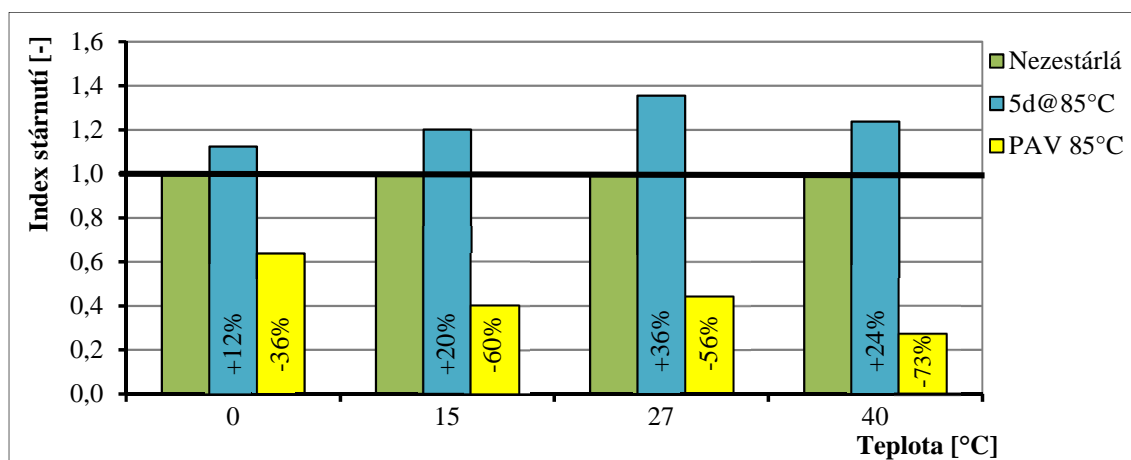
Tab. 13 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S_{Tréb.} PMB

| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | | Teplotní citlivost | Nárůst (pokles) tuhosti | | | |
|----------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | 40 °C | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | 40 °C |
| ACO11S PMB | Nezestárlá | 15667 | 7572 | 2874 | 1364 | 11,5 | - | - | - | - |
| | 5d@85°C | 17599 | 9093 | 3896 | 1687 | 10,4 | 12 % | 20 % | 36 % | 24 % |
| | PAV@85°C | 10003 | 3045 | 1275 | 374 | 26,7 | -36 % | -60 % | -56 % | -73 % |

V grafu 27 je zobrazen modul tuhosti při různých měřených teplotách a v grafu 28 je zobrazen index stárnutí. Vlivem procesu stárnutí (5d@85°C) dochází k nárůstu modulu tuhosti přibližně o 20 % při teplotě 15 °C. Naopak u zkušebních těles vystavených procesu tlakového stárnutí dochází ke snížení modulu tuhosti přibližně o 60 % při teplotě 15 °C. O snížení tuhosti vypovídá již změna mezerovitosti zkušebních zestárlých těles. Mezerovitost se vlivem tlakového stárnutí zvýšila z 3,1 % na 7,3 %. Velikost poklesu či nárůstu modulu tuhosti závisí na teplotě zkoušeného zkušebního tělesa. Dalo by se říci, že čím je nižší teplota zkušebního tělesa, tím je nárůst nebo pokles menší. Např. při teplotě 0 °C došlo po teplotním stárnutí k navýšení tuhosti o 12 % a po tlakovém stárnutí došlo k poklesu tuhosti o 36 %. Naopak u teploty 40 °C došlo po teplotním stárnutí k navýšení tuhosti o 24 % a po tlakovém stárnutí došlo k poklesu tuhosti až o 73 %.



Graf 27 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S PMB (Třebenice)



Graf 28 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11S PMB (Třebenice)

6.2.1.2 ACP22S PMB

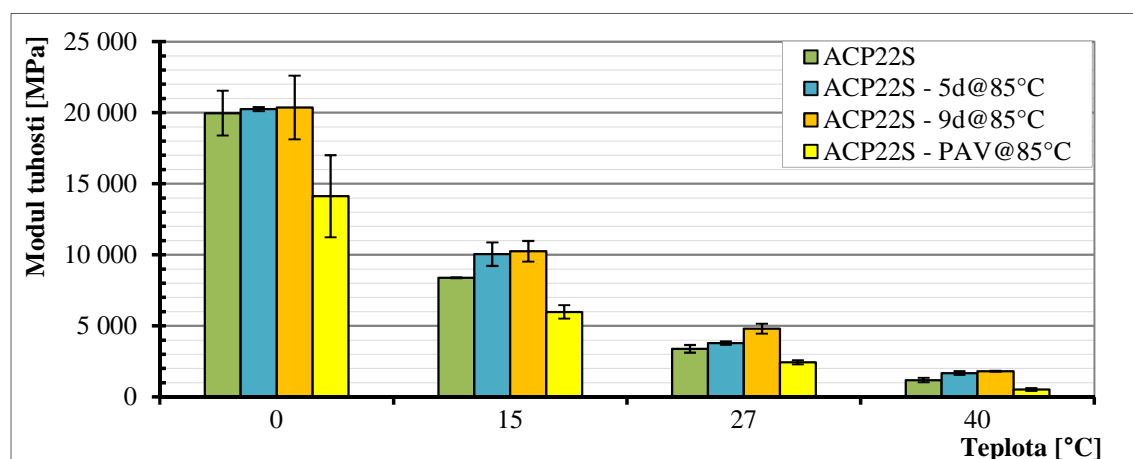
Asfaltová zhutněná zkušební tělesa byla vystavena procesu stárnutí po dobu 5 a 9 dnů při teplotě 85 °C a stárnutí v tlakové nádobě při teplotě 85 °C. Mezerovitost zkušebních těles byla 8,4 %. V tabulce 14 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu či poklesu vlivem simulovaného procesu stárnutí.

Tab. 14 Modul tuhosti asfaltové směsi ACP22S PMB

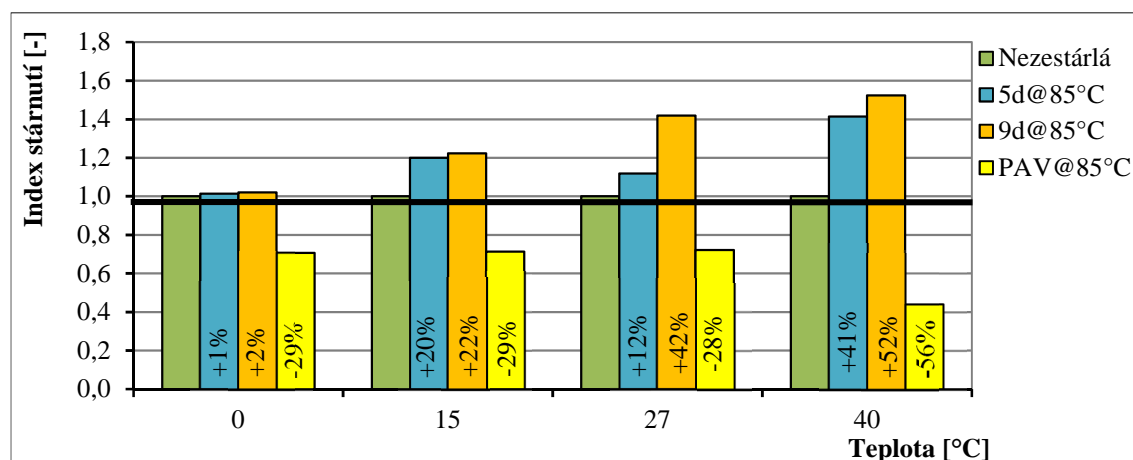
| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | | Teplotní citlivost | Nárůst (pokles) tuhosti | | | |
|----------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | 40 °C | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | 40 °C |
| ACP22S PMB | Nezestárlá | 19966 | 8377 | 3379 | 1183 | 16,9 | - | - | - | - |
| | 5d@85°C | 20253 | 10045 | 3777 | 1673 | 12,1 | 1 % | 20 % | 12 % | 41 % |
| | 9d@85°C | 20369 | 10244 | 4797 | 1802 | 11,3 | 2 % | 22 % | 42 % | 52 % |
| | PAV@85°C | 14120 | 5975 | 2440 | 522 | 27,0 | -29 % | -29 % | -28 % | -56 % |

V grafu 29 je zobrazen modul tuhosti při čtyřech měřených teplotách a v grafu 30 je zobrazen index stárnutí. Vlivem procesu stárnutí v teplotní komoře při teplotě 85 °C došlo k navýšení modulu tuhosti o 20 % po 5 dnech a o 22 % po 9 dnech při měřené teplotě 15 °C. Při teplotě 0 °C nedošlo téměř k žádnému nárůstu modulu tuhosti (po 5 dnech stárnutí došlo k navýšení o 1 % a po 9 dnech o 2 %). Naopak při teplotě 40 °C došlo k nejvyššímu nárůstu modulu tuhosti, kdy po 5 dnech došlo k navýšení tuhosti o 41 % a po 9 dnech o 52 %. Čím déle byla zkušební

tělesa vystavena teplotě 85 °C, tím více narůstala tuhost, přičemž tato závislost zjevně není lineární. U zkušebních těles, která byla vystavena tlakovému stárnutí, došlo k poklesu modulu tuhosti, jako tomu bylo i u předchozí asfaltové směsi ACO11S_{Třeb.} PMB. U zkušebních těles vytemperovaných na 15 °C došlo k poklesu tuhosti o 29 %. O poklesu tuhosti opět vypovídá změna mezerovitosti zkušebních zestárých těles. Mezerovitost se vlivem tlakového stárnutí zvýšila z 8,4 % na 13,5 %. Opět dochází k jevu, kdy při nižší teplotě zkušebního tělesa je nárůst nebo pokles tuhosti menší. Např. při teplotě 0 °C došlo ke snížení tuhosti o 29 % a při teplotě 40 °C došlo k výraznějšímu snížení tuhosti až o 56 %.



Graf 29 Modul tuhosti asfaltové směsi ACP22S PMB



Graf 30 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACP22S PMB

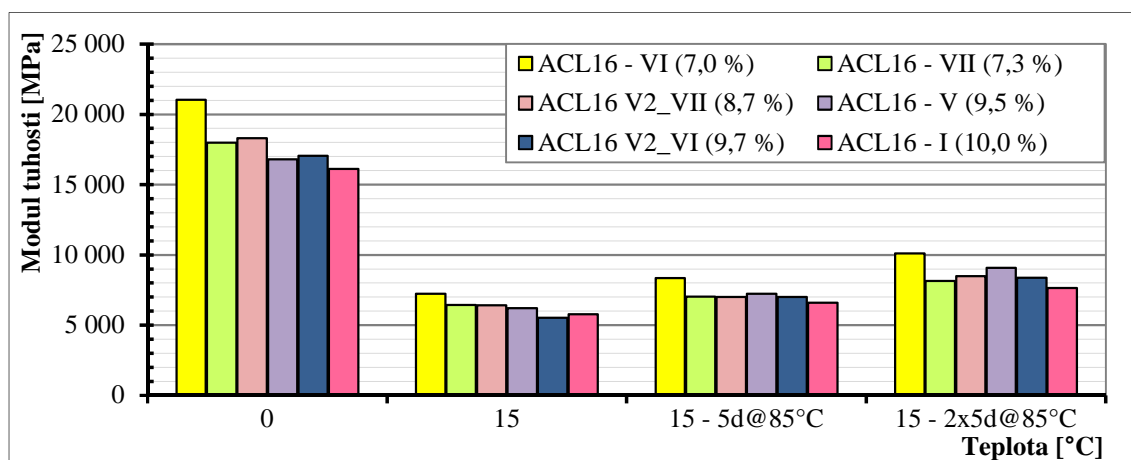
6.2.1.3 ACL16 50/70 – různé varianty

Asfaltová zhutněná zkušební tělesa byla vystavena stárnutí po dobu 5 a 10 dnů při teplotě 85 °C. Asfaltová směs byla vyráběna celkem v šesti variantách. Tyto varianty měly odlišnou mezerovitost (7–10 %). V tabulce 15 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu po procesu stárnutí.

V grafech 31 a 32 je zobrazen modul tuhosti při 0 °C a 15 °C a v grafu 33 je zobrazen index stárnutí v závislosti na mezerovitosti. U zkušebních těles všech variant, které byly vystaveny procesu stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C, došlo k nárůstu tuhosti o 10 až 17 %. Podobný trend byl zaznamenán i u stárnutí zkušebních těles, která byla vystavena účinkům tepla po dobu 10 dnů. Po delší době stárnutí, tedy po 10 dnech došlo k nárůstu tuhosti o 29 až 52 %.

Tab. 15 Modul tuhosti asfaltové směsi ACL16 50/70

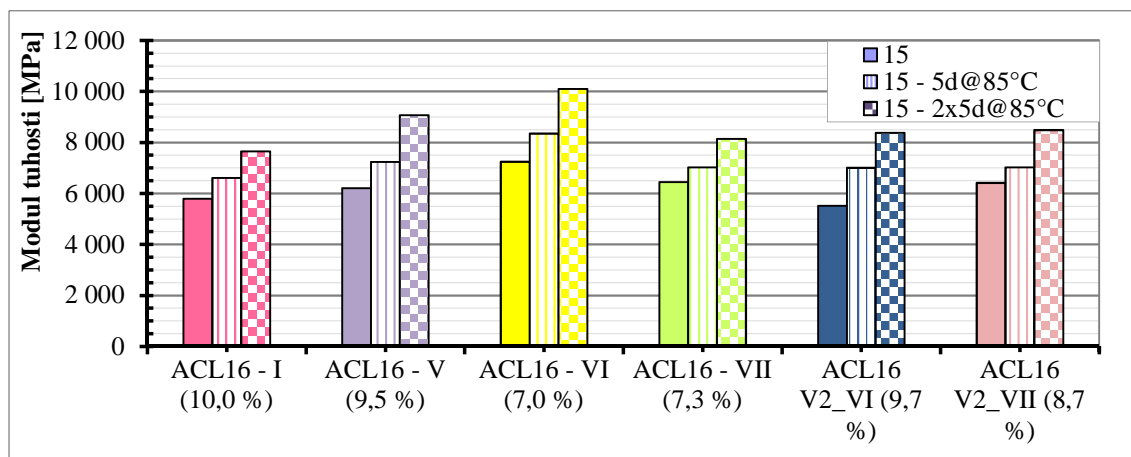
| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | Teplotní citlivost | Nárůst tuhosti |
|--------------------|--------------|---------------------------------|-------|--------------------|----------------|
| | | 0 °C | 15 °C | | 15 °C |
| ACL16 Varianta I | Nezestárlá | 16123 | 5789 | 2,8 | - |
| | 5d@85°C | - | 6606 | - | 14 % |
| | 2x5d@85°C | - | 7651 | - | 32 % |
| ACL16 Varianta V | Nezestárlá | 16795 | 6207 | 2,7 | - |
| | 5d@85°C | - | 7234 | - | 17 % |
| | 2x5d@85°C | - | 9071 | - | 46 % |
| ACL16 Varianta VI | Nezestárlá | 21043 | 7240 | 2,9 | - |
| | 5d@85°C | - | 8346 | - | 15 % |
| | 2x5d@85°C | - | 10100 | - | 40 % |
| ACL16 Varianta VII | Nezestárlá | 17993 | 6446 | 2,8 | - |
| | 5d@85°C | - | 7024 | - | 9 % |
| | 2x5d@85°C | - | 8142 | - | 26 % |
| ACL16 V2_VI | Nezestárlá | 17060 | 5520 | 3,1 | - |
| | 5d@85°C | - | 7002 | - | 27 % |
| | 2x5d@85°C | - | 8374 | - | 52 % |
| ACL16 V2_VII | Nezestárlá | 18294 | 6414 | 2,9 | - |
| | 5d@85°C | - | 7019 | - | 9 % |
| | 2x5d@85°C | - | 8484 | - | 32 % |



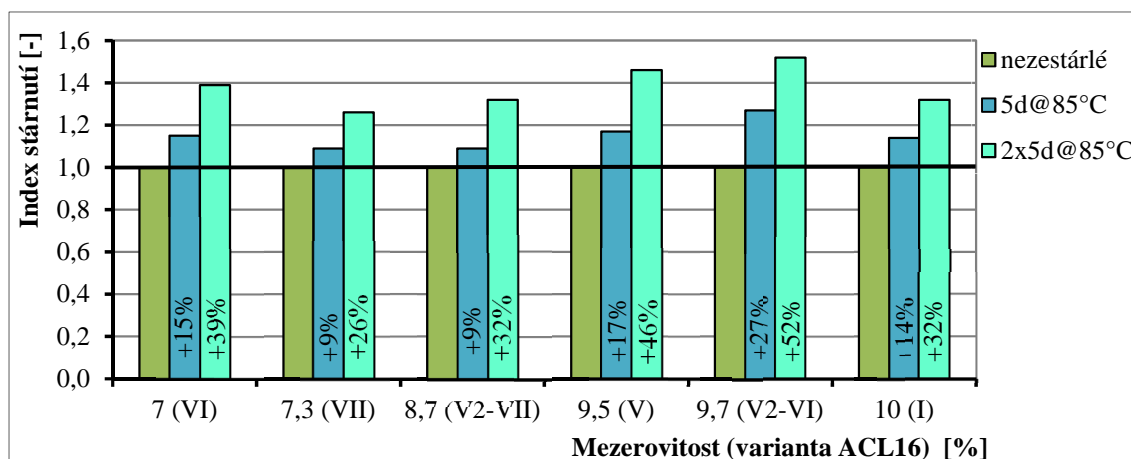
Graf 31 Modul tuhosti asfaltové směsi ACL16 50/70

Asfaltové směsi byly vyráběny se stejným typem asfaltového pojiva (50/70) a stejným dávkovaným množstvím. Asfaltové směsi se lišily pouze v mezerovitosti, která byla od 7,0 až 10,0 %. Varianta VI měla nejnižší mezerovitost, tudíž by u ní měl vycházet modul tuhosti nejvyšší, což graf 31 potvrzuje. Naopak varianta I měla nejvyšší hodnotu mezerovitosti, tudíž by měla mít nižší modul tuhosti než ostatní varianty, což graf 31 opět potvrzuje. Z hlediska stárnutí by mělo docházet u více mezerovitých směsi k výraznějšímu nárůstu tuhosti, jelikož díky vyšší mezerovitosti by mělo docházet k lepšímu přísunu vzduchu a tím k jeho většímu kontaktu s asfaltovým pojivem. Varianty VII a V2_VI mají nižší mezerovitost než varianty V a V2_VI. U variant VII a V2_VI dochází po 5 dnech stárnutí k nárůstu tuhosti o 9 % a po 10 dnech k nárůstu přibližně o 30 %. U variant V a V2_VI dochází po 5 dnech stárnutí k nárůstu

tuhosti o 17 až 27 % a po 10 dnech k nárůstu o 50 %. Naopak varianty VI (7 %) a I (10 %), u nichž se mezerovitost liší o 3 %, mají navýšení tuhosti velmi podobné. Jelikož se nezjišťovala mezerovitost po procesu stárnutí, tak nelze říci, jak moc se změnila mezerovitost daných variant, která by právě mohla ovlivnit tyto zhodnocené výsledky.



Graf 32 Modul tuhosti pro jednotlivé varianty asfaltové směsi ACL16 50/70



Graf 33 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACL16 50/70

6.2.1.4 ACO11S PMB (HiMA)

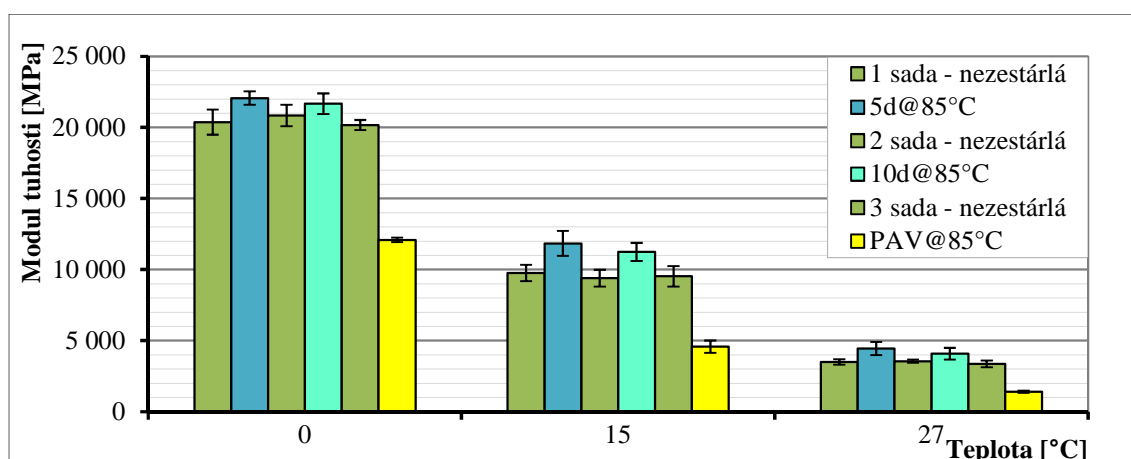
Asfaltová ztuhnutá zkušební tělesa byla vystavena stárnutí po dobu 5 a 10 dnů při teplotě 85 °C a stárnutí v tlakové nádobě PAV při teplotě 85 °C. Mezerovitost zkušebních těles byla mezi 4,3 –5,1 %. V tabulce 16 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu či poklesu po procesu stárnutí.

Tab. 16 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S_{HiMA} PMB

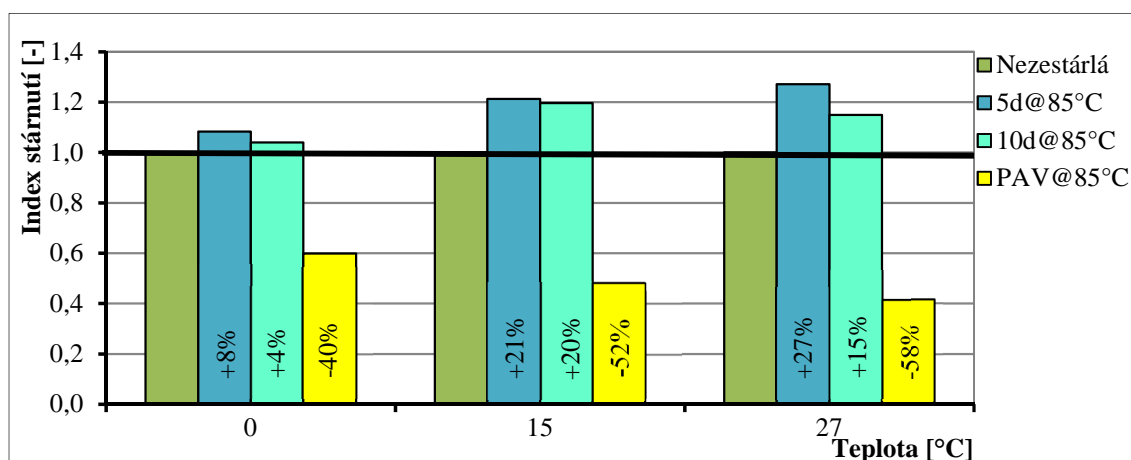
| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | Teplotní citlivost | Nárůst (pokles) tuhosti | | |
|----------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|-------------------------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | | 0 °C | 15 °C | 27 °C |
| ACO11S PMB | Nezestárlá | 20372 | 9759 | 3497 | 5,8 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 22070 | 11843 | 4448 | 5,0 | 8 % | 21 % | 27 % |
| | Nezestárlá | 20846 | 9397 | 3550 | 5,9 | - | - | - |
| | 10d@85°C | 21672 | 11244 | 4080 | 5,3 | 4 % | 20 % | 15 % |
| | PAV@85°C | 12085 | 4571 | 1398 | 8,6 | -40 % | -52 % | -58 % |

Tuhost nezestárlého zkušebního tělesa byla vždy porovnána se stejným zkušebním zestárlým tělesem, proto v tabulce 16 jsou uvedeny tři sady nezestárlých zkušebních těles a k nim odpovídající tři sady zkušebních těles, které prošly třemi způsoby stárnutí.

V grafu 34 je zobrazen modul tuhosti při 0 °C, 15 °C a 27 °C a v grafu 35 je vyhodnocen vliv stárnutí pomocí indexu stárnutí. Tuhost zkušebních těles, která byla vystavena stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C, se navýšila o 21 % při měřené teplotě 15 °C. Tělesa, která byla vystavena stárnutí delší dobu, v tomto případě tedy 10 dnů, vykazovala nárůst tuhosti o něco menší (navýšení o 4 % při teplotě 0 °C, o 20 % při teplotě 15 °C a o 15 % při teplotě 27 °C) než zkušební tělesa vystavena stárnutí po dobu 5 dnů (navýšení o 8 % při teplotě 0 °C, o 21 % při teplotě 15 °C a o 27 % při teplotě 27 °C). Během procesu stárnutí, který trval 10 dnů, mohlo dojít k vnitřnímu poškození zkušebních těles a tím mohlo dojít k menšímu navýšení tuhosti, než tomu bylo u stárnutí po dobu 5 dnů. Zkušební tělesa, která byla podrobena tlakovému stárnutí, vykazovala opak předchozích dvou typů stárnutí. Během tlakového procesu stárnutí došlo k poklesu tuhosti o 52 % při měřené teplotě 15 °C. Mezerovitost se zvýšila ze 4,7 % na 10,4 %, což opět dokazuje, že při vyšší mezerovitost by měl modul tuhosti vycházet menší. Vlivem tlaku a vysoké teploty došlo k vnitřnímu porušení zkušebních těles, jejichž mezerovitost se navýšila a tuhost snížila.



Graf 34 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S_{HiMA} PMB



Graf 35 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11S PMB

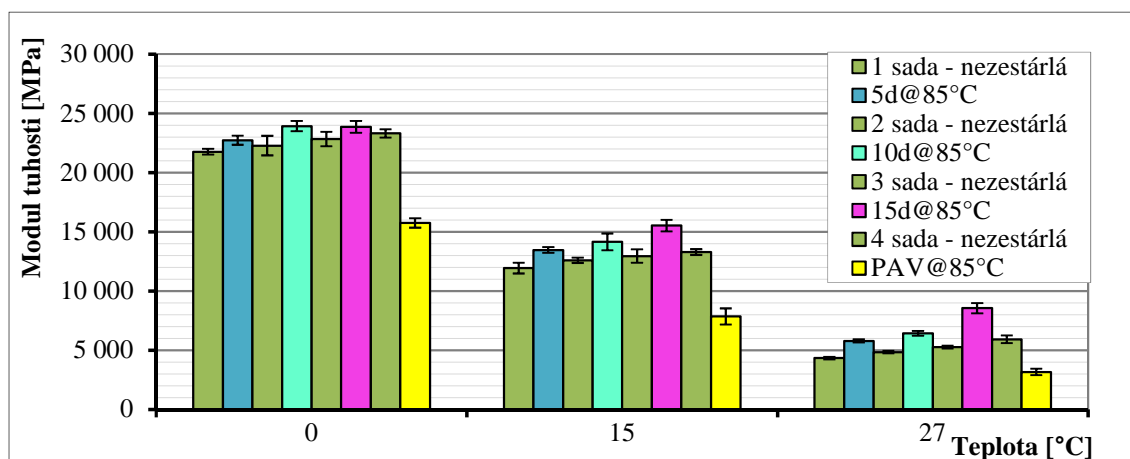
6.2.1.5 ACO11S 50/70

Asfaltová zhutněná zkušební tělesa této směsi byla vystavena stárnutí po dobu 5, 10 a 15 dnů při teplotě 85 °C a stárnutí v tlakové nádobě PAV při teplotě 85 °C. Mezerovitost zkušebních těles byla 4,0 %. V tabulce 17 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu či poklesu po procesu stárnutí.

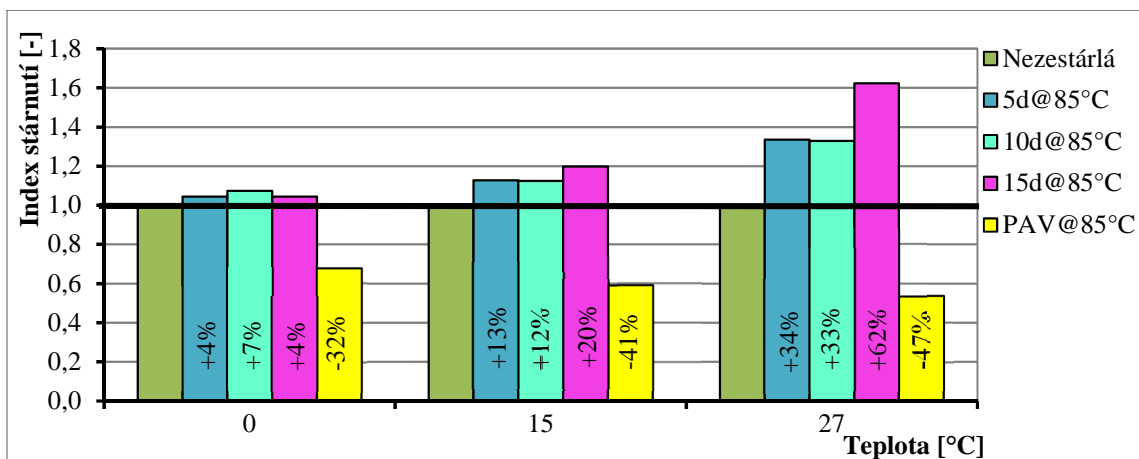
Tab. 17 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S 50/70

| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | Teplotní citlivost | Nárůst (pokles) tuhosti | | |
|--------------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|-------------------------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | | 0 °C | 15 °C | 27 °C |
| ACO11S 50/70 (PKB) | Nezestárlá | 21765 | 11939 | 4338 | 5 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 22728 | 13465 | 5792 | 3,9 | 4 % | 13 % | 34 % |
| | Nezestárlá | 22280 | 12954 | 4836 | 4,6 | - | - | - |
| | 10d@85°C | 23929 | 14153 | 6426 | 3,7 | 7 % | 12 % | 33 % |
| | Nezestárlá | 22836 | 12952 | 5268 | 4,3 | - | - | - |
| | 15d@85°C | 23858 | 15527 | 8551 | 2,8 | 4 % | 20 % | 62 % |
| | Nezestárlá | 23310 | 13294 | 5928 | 3,9 | - | - | - |
| | PAV85°C | 15746 | 7852 | 3170 | 5,0 | -32 % | -41 % | -47 % |

V grafu 36 je zobrazen modul tuhosti při 0 °C, 15 °C a 27 °C a v grafu 37 je vyhodnocen vliv procesu stárnutí pomocí indexu stárnutí. Tuhost zkušebních těles, která byla vystavena stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C se navýšila o 13 % při zkušební teplotě 15 °C. Tělesa, která byla vystavena stárnutí po delší dobu (v tomto případě 10 dnů), měla nárůsty tuhosti velmi podobné (navýšení o 7 % při teplotě 0 °C, o 12 % při teplotě 15 °C a o 33 % při teplotě 27 °C) jako zkušební tělesa vystavena stárnutí po dobu 5 dnů (navýšení o 4 % při teplotě 0 °C, o 13 % při teplotě 15 °C a o 34 % při teplotě 27 °C). Zkušební tělesa vystavena stárnutí po dobu 15 dnů měla navýšení tuhosti výraznější než předchozí dva typy stárnutí. Tuhost se po 15 dnech při teplotě 85 °C navýšila o 20 % (zkušební teplota 15 °C) a až o 62 % při měřené teplotě 40 °C. Opět zde platí, že čím vyšší je teplota měřeného zkušebního tělesa, tím je výraznější nárůst indexu stárnutí (graf 37). Po procesu stárnutí v tlakové nádobě došlo k poklesu tuhosti až o 41 %. Mezerovitost zkušebních těles zestárlých pomocí tlaku a vysoké teploty se zvýšila ze 4,0 na 9,2 %.



Graf 36 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S 50/70



Graf 37 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11S 50/70

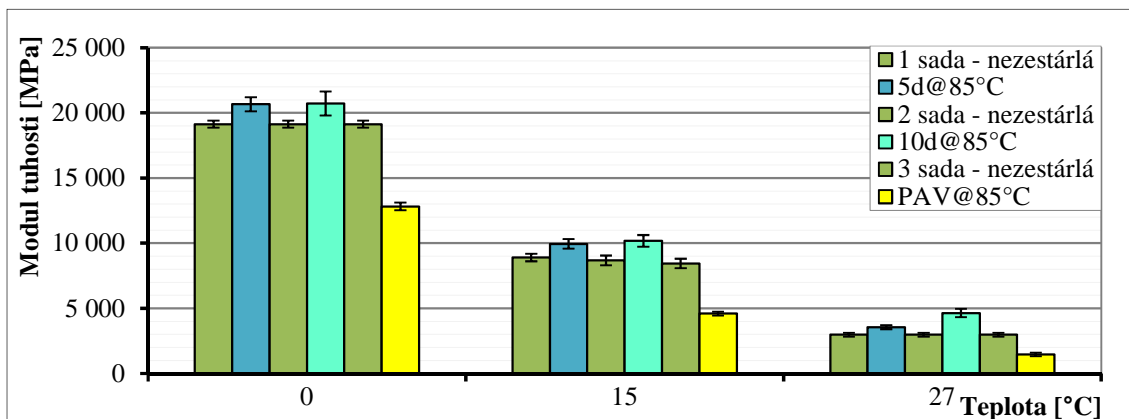
6.2.1.6 SMA11S PMB

Asfaltová zhutněná zkušební tělesa byla vystavena stárnutí po dobu 5 a 10 dnů při teplotě 85 °C a stárnutí v tlakové nádobě PAV při teplotě 85 °C. Mezerovitost zkušebních těles byla přibližně 4,4 %. V tabulce 18 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu či poklesu po procesu stárnutí.

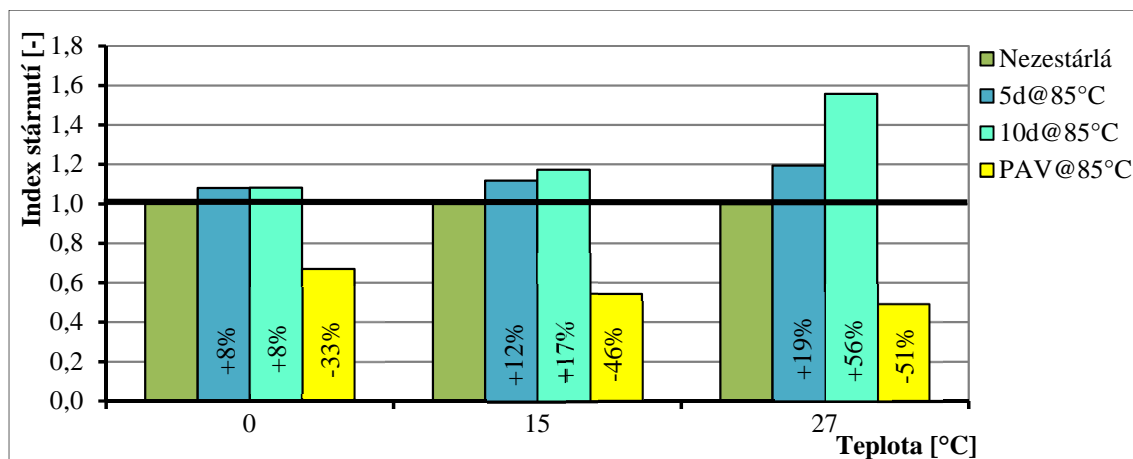
Tab. 18 Modul tuhosti asfaltové směsi SMA11S PMB

| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | Teplotní citlivost | Nárůst (pokles) tuhosti | | |
|----------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|-------------------------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | | 0 °C | 15 °C | 27 °C |
| SMA11S PMB | Nezezárlá | 19137 | 8675 | 2976 | 6,4 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 20662 | 9944 | 3553 | 5,8 | 8 % | 12 % | 19 % |
| | 10d@85°C | 20721 | 10173 | 4635 | 4,5 | 8 % | 17 % | 56 % |
| | PAV85°C | 12817 | 4594 | 1462 | 8,8 | -33 % | -46 % | -51 % |

V grafu 38 je zobrazen modul tuhosti při 0 °C, 15 °C a 27 °C a v grafu 39 je vyhodnocen vliv stárnutí pomocí indexu stárnutí. Tuhost zkušebních těles, která byla vystavena stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C se navýšila o 12 % při zkušební teplotě 15 °C. Tělesa, která byla vystavena stárnutí delší dobu, v tomto případě tedy 10 dnů, dosáhla o něco vyššího nárůstu tuhosti (navýšení o 8 % při teplotě 0 °C, o 17 % při teplotě 15 °C a o 56 % při teplotě 27 °C) než zkušební tělesa vystavena stárnutí po dobu 5 dnů (navýšení o 8 % při teplotě 0 °C, o 12 % při teplotě 15 °C a o 19 % při teplotě 27 °C). Tuhost se opět snížila při procesu stárnutí v tlakové nádobě, kdy došlo k poklesu až o 46 %. Mezerovitost zkušebních těles zestárlých vlivem tlaku a vysoké teploty se zvýšila ze 4,4 na 9,7 %.



Graf 38 Modul tuhosti asfaltové směsi SMA11S PMB



Graf 39 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi SMA11S PMB

I v případě této asfaltové směsi platí, že čím vyšší je teplota měřeného zkušební tělesa, tím je výraznější nárůst či pokles indexu stárnutí, což je výrazně znát při měřené teplotě 27 °C (graf 37).

6.2.1.7 Směsi VMT22

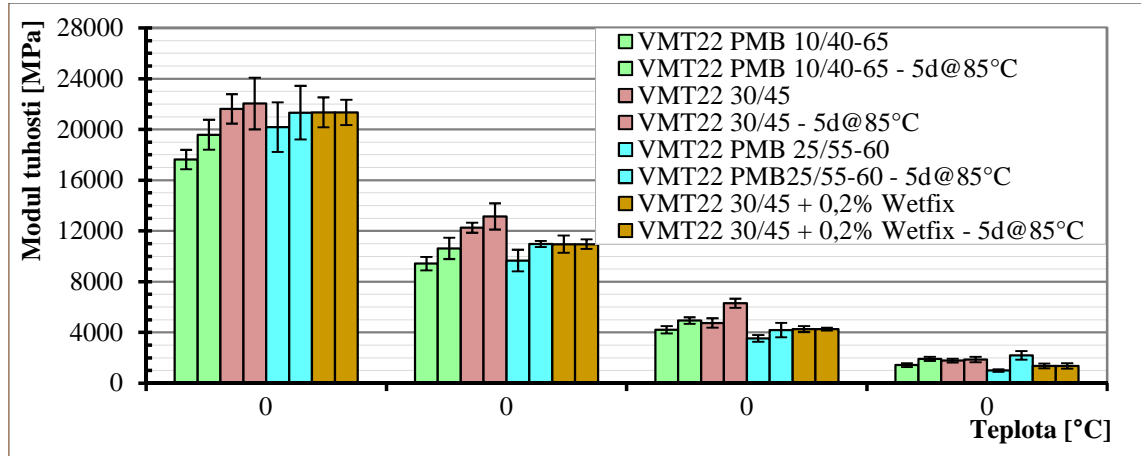
Jelikož u tohoto typu asfaltové směsi byl aplikován pouze jeden způsob stárnutí, budou tyto asfaltové směsi vyhodnoceny dohromady. Asfaltová ztuhnutá zkušební tělesa čtyř typů asfaltových směsí VMT22 byla vystavena stárnutí po dobu 5 dní při teplotě 85 °C. Mezerovitost zkušebních těles VMT(1) je 3,4 %, VMT(2) je 4,3 % a VMT(3) 4,6 %. Pro VMT(4) nebylo možné mezerovitost stanovit. V tabulce 19 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu po procesu stárnutí.

Tab. 19 Modul tuhosti asfaltových směsí VMT22

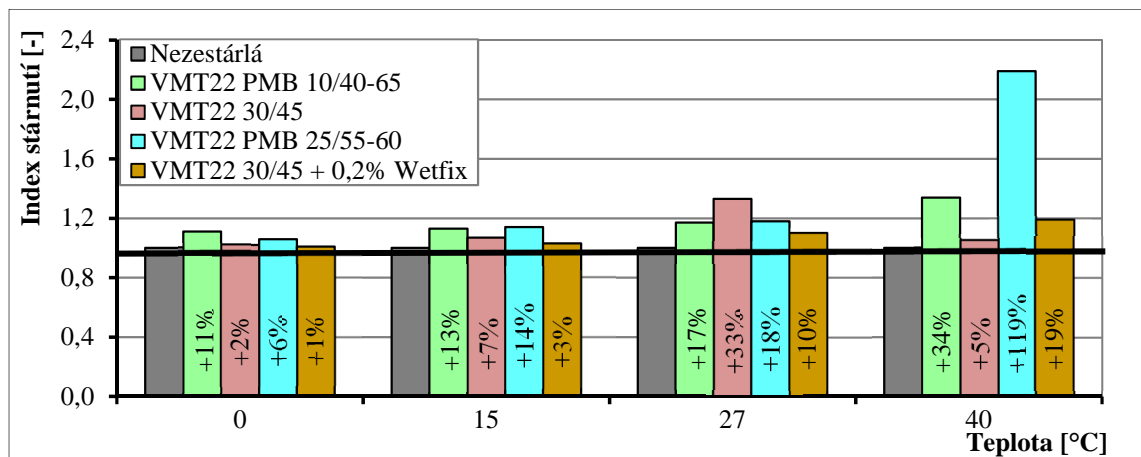
| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | | Teplotní citlivost | Nárůst tuhosti | | | |
|-------------------------------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-------|--------------------|----------------|-------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | 40 °C | | 0 °C | 15 °C | 27 °C | 40 °C |
| (1) VMT22 10/40-65 | Nežestárlá | 17621 | 9422 | 4209 | 1426 | 12,4 | - | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19581 | 10630 | 4933 | 1915 | 10,2 | 11 % | 13 % | 17 % | 34 % |
| (2) VMT22 30/45 | Nežestárlá | 21620 | 12249 | 4743 | 1780 | 12,1 | - | - | - | - |
| | 5d@85°C | 22041 | 13139 | 6298 | 1866 | 11,8 | 2 % | 7 % | 33 % | 5 % |
| (3) VMT22 25/55-60 | Nežestárlá | 20184 | 9664 | 3538 | 998 | 20,2 | - | - | - | - |
| | 5d@85°C | 21323 | 10974 | 4180 | 2190 | 9,7 | 6 % | 14 % | 18 % | 119 % |
| (4) VMT22 30/45 + 0,2% Wetfix | Nežestárlá | 21196 | 10641 | 3882 | 1143 | 18,5 | - | - | - | - |
| | 5d@85°C | 21341 | 10959 | 4264 | 1365 | 15,6 | 1 % | 3 % | 10 % | 19 % |

V grafu 40 je zobrazen modul tuhosti při všech čtyřech základních teplotách a v grafu 41 je vyhodnocen vliv stárnutí pomocí indexu stárnutí. Tuhost zkušebních těles, která byla vystavena stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C, se při měřené teplotě 15 °C navýšila o 13 % u VMT22(1), o 7 % u VMT22(2), o 14 % u VMT22(3) a o 3 % u VMT22(4). Opět zde platí, že čím vyšší je teplota zkušební tělesa, tím je výraznější nárůst tuhosti vlivem stárnutí. U asfaltové směsi VMT22(2, 4) nedocházelo k výraznému navýšení indexu stárnutí. Vyšší nárůst byl spíše zpozorován u VMT22(1, 3). Jelikož není znám obsah asfaltového pojiva v jednotlivých asfaltových směsích, tak můžeme hodnotit jen z hlediska typu asfaltového pojiva. K výraznějšímu nárůstu došlo u asfaltových směsí obsahující polymerem modifikované asfalty

PMB. Naopak asfaltové směsi obsahující silniční pojivo 30/45 měly menší nárůst indexu stárnutí. Asfaltová směs VMT22(4) obsahovala přísadu Wetfix, díky níž dle mého názoru zkušební tělesa výrazně nezestárla, obzvláště při nižších měřených teplotách. Asfaltové pojivo lépe přilnulo ke kamenivu, díky přísadě Wetfix a tím mohl být ovlivněn i samotný proces stárnutí.



Graf 40 Modul tuhosti asfaltových směsí VMT22



Graf 41 Index stárnutí tuhosti asfaltových směsí VMT22

6.2.1.8 ACO11 R25% 50/70

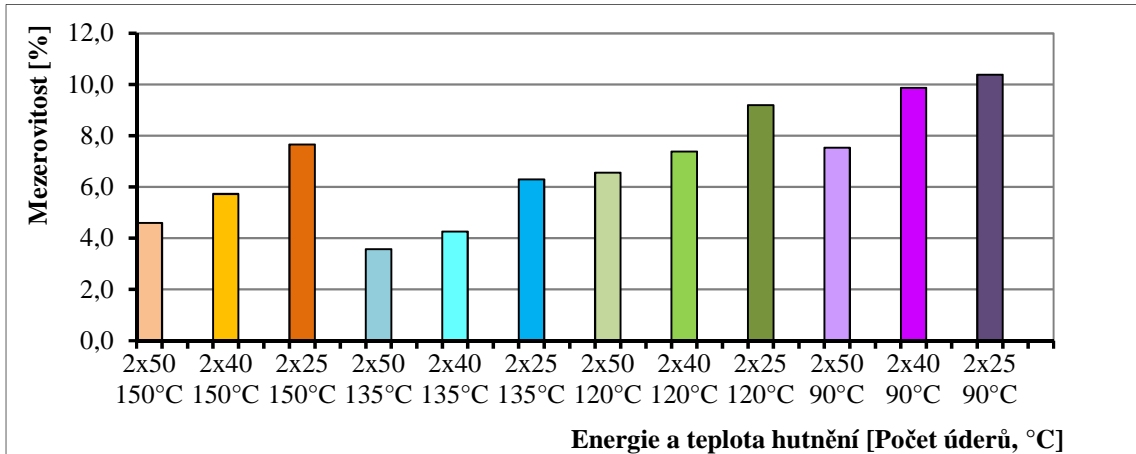
Asfaltová zhutněná zkušební tělesa byla vystavena stárnutí po dobu 5 při teplotě 85 °C. Zhutněná zkušební tělesa byla vyráběna při čtyřech různých teplotách hutnění (150 °C, 135 °C, 120 °C, 90 °C) a při třech různých hutnících energiích (2x50, 2x40, 2x25). Tedy pro každou teplotu hutnění bylo vyrobeno 9 zkušebních těles, která byla hutněna třemi způsoby. Tímto způsobem vznikla velká sada zkušebních těles lišící se svou mezerovitostí. V tabulce 20 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu po procesu stárnutí.

Tab. 20 Modul tuhosti asfaltových směsí ACO11 R25%

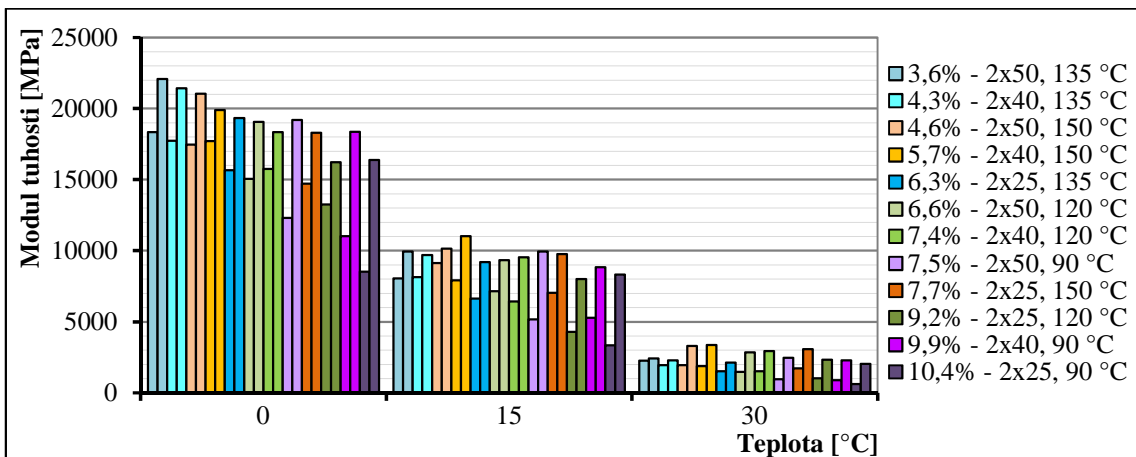
| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | Teplotní citlivost | Nárůst tuhosti | | |
|---------------------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|----------------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 30 °C | | 0 °C | 15 °C | 30 °C |
| ACO11 R25% 2x50 150 °C | Nezestárlá | 17454 | 9143 | 1959 | 8,9 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 21046 | 10153 | 3298 | 6,4 | 21 % | 11 % | 68 % |
| ACO11 R25% 2x40 150 °C | Nezestárlá | 17715 | 7908 | 1883 | 9,4 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19893 | 11033 | 3359 | 5,9 | 12 % | 40 % | 78 % |
| ACO11 R25% 2x25 150 °C | Nezestárlá | 14709 | 7033 | 1715 | 8,6 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 18303 | 9764 | 3085 | 5,9 | 24 % | 39 % | 80 % |
| ACO11 R25% 2x50 135 °C | Nezestárlá | 18332 | 8049 | 2267 | 8,1 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 22068 | 9945 | 2414 | 9,1 | 20 % | 24 % | 6 % |
| ACO11 R25% 2x40 135 °C | Nezestárlá | 17728 | 8133 | 1946 | 9,1 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 21419 | 9696 | 2298 | 9,3 | 21 % | 19 % | 18 % |
| ACO11 R25% 2x25 135 °C | Nezestárlá | 15666 | 6634 | 1530 | 10,2 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19342 | 9206 | 2138 | 9,0 | 23 % | 39 % | 40 % |
| ACO11 R25% 2x50 120 °C | Nezestárlá | 15064 | 7145 | 1472 | 10,2 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19059 | 9345 | 2844 | 6,7 | 27 % | 31 % | 93 % |
| ACO11 R25% 2x40 120 °C | Nezestárlá | 15759 | 6423 | 1522 | 10,4 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 18344 | 9544 | 2939 | 6,2 | 16 % | 49 % | 93 % |
| ACO11 R25% 2x25 120 °C | Nezestárlá | 13246 | 4295 | 1034 | 12,8 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 16217 | 7995 | 2325 | 7,0 | 22 % | 86 % | 125 % |
| ACO11 R25% 2x50 90 °C | Nezestárlá | 12312 | 5160 | 963 | 12,8 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19204 | 9951 | 2465 | 7,8 | 56 % | 93 % | 156 % |
| ACO11 R25% 2x40 90 °C | Nezestárlá | 11013 | 5286 | 900 | 12,2 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 18356 | 8838 | 2289 | 8,0 | 67 % | 67 % | 154 % |
| ACO11 R25% 2x25 90 °C | Nezestárlá | 8529 | 3346 | 612 | 13,9 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 16382 | 8323 | 2044 | 8,0 | 92 % | 149 % | 234 % |

V grafu 42 je zobrazena mezerovitost všech 12 sad zkušebních těles, přičemž jedna sada obsahovala tři zkušební tělesa. Nejvyšší mezerovitosti dosáhla sada zkušebních těles hutněná při nejnižší teplotě a to při 90 °C. Naopak nejnižší mezerovitosti by mělo být dosaženo při nejvyšší teplotě hutnění, tedy při teplotě 150 °C. Nejnižší mezerovitosti bylo dosaženo při teplotě hutnění 135 °C. Při výrobě zkušebních těles mohlo dojít k nedostatečné homogenizaci asfaltové směsi. Dále mohl nastat problém z hlediska použitého R-materiálu, který bývá často nehomogenní. Mezerovitost z hlediska hutnící energie by se měla navyšovat s postupným snižováním hutnící energie, což dle grafu 42 takovému předpokladu odpovídá.

V grafu 43 je znázorněn modul tuhosti seřazený podle zvyšující se mezerovitosti zkušebních těles. Zároveň je v grafu 43 porovnána tuhost před a po procesu stárnutí. Modul tuhosti se postupně snižuje se zvyšující se mezerovitostí. Nejvýraznější nárůst tuhosti po procesu stárnutí byl zaznamenán u zkušebních těles s vyšší mezerovitostí (9,9 % a 10,4 %) a zároveň u zkušebních těles hutněných při teplotě 90 °C. Zkušební tělesa hutněná při ostatních teplotách měla podobný nárůst tuhosti po procesu stárnutí. Nárůst tuhosti bude podrobněji popsán pro následující grafy 44 až 50.



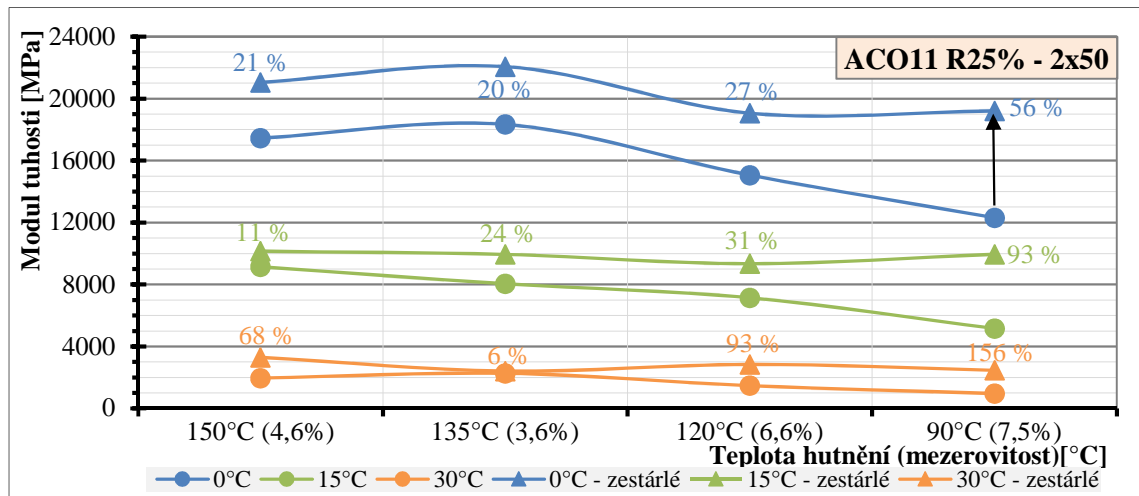
Graf 42 Mezerovitost zkušebních těles ACO11 R25%



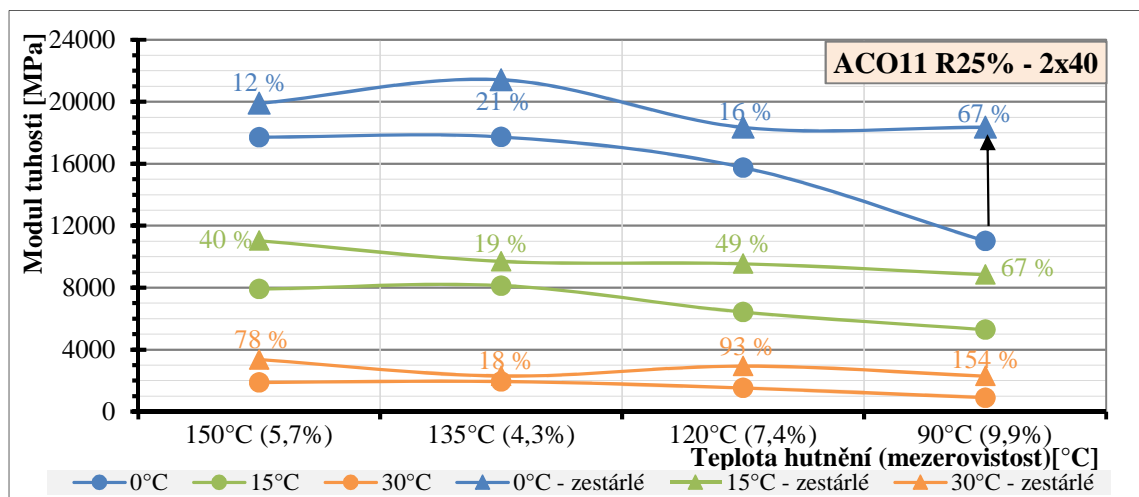
Graf 43 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11 R25%

V grafech 44, 45, 46 je znázorněn nárůst tuhosti v závislosti na teplotě hutnění. Nárůst tuhosti při hutnění energii 2x50, se nejvíce projevil u zkušebních těles hutněných při teplotě 90 °C. Zkušební tělesa hutněná při teplotě 90 °C měla nejvyšší mezerovitost, a to pro všechny tři typy hutnění. Vlivem vyšší mezerovitosti byl snazší přístup teplého vzduchu do mezer při procesu stárnutí, tudíž zkušební tělesa byla výrazněji ovlivněna procesem stárnutí. Při vzrůstající teplotě hutnění se nárůst tuhosti vlivem stárnutí spíše snižoval. Nejmenší nárůst tuhosti byl přibližně u zkušebních těles vyrobených při teplotě 135 °C. Tato zkušební tělesa měla nižší mezerovitost, obzvláště při hutnění energii 2x50 a 2x40. Vlivem nízké mezerovitosti byl nárůst tuhosti po stárnutí nižší, než tomu bylo u zkušebních těles s vyšší mezerovitostí. Podobný trend byl zaznamenán i u ostatních zkušebních těles hutněných 2x50 a 2x40. Opět tuhost měření při vyšších teplotách tedy při 30 °C, měla výraznější nárůst než tuhost měřená při nižších teplotách

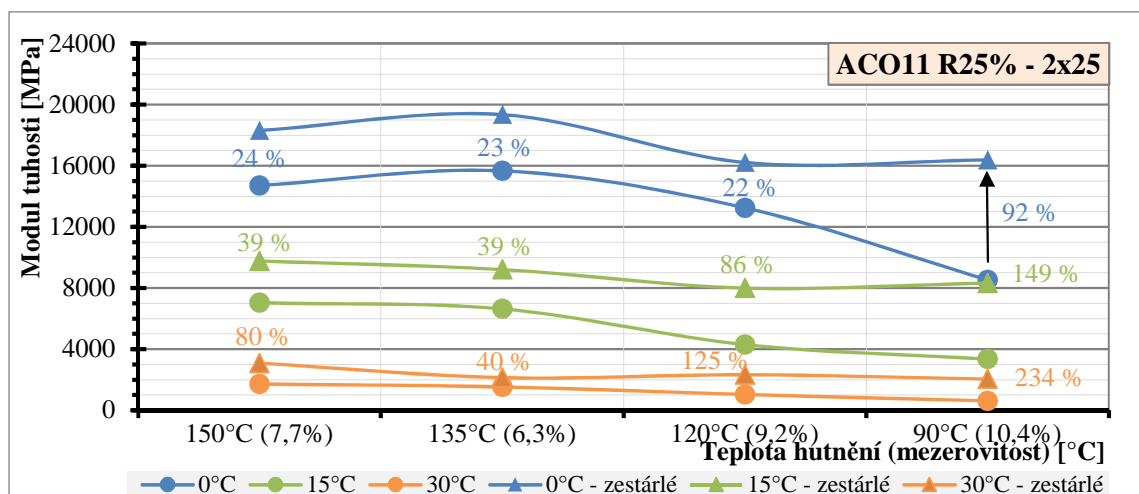
(0 °C). Asfaltové pojivo se stalo tvrdší vlivem procesu stárnutí. Vytvrzení asfaltového pojiva se nejvíce projevilo při vyšších měřených teplotách.



Graf 44 Modul tuhosti zkušenních těles ACO11 R25% - 2x50



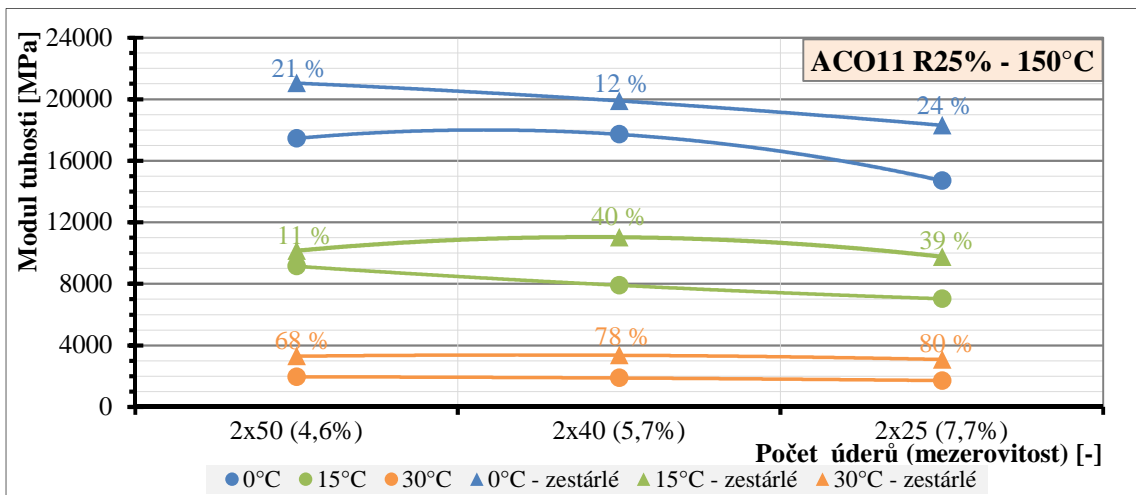
Graf 45 Modul tuhosti zkušenních těles ACO11 R25% - 2x40



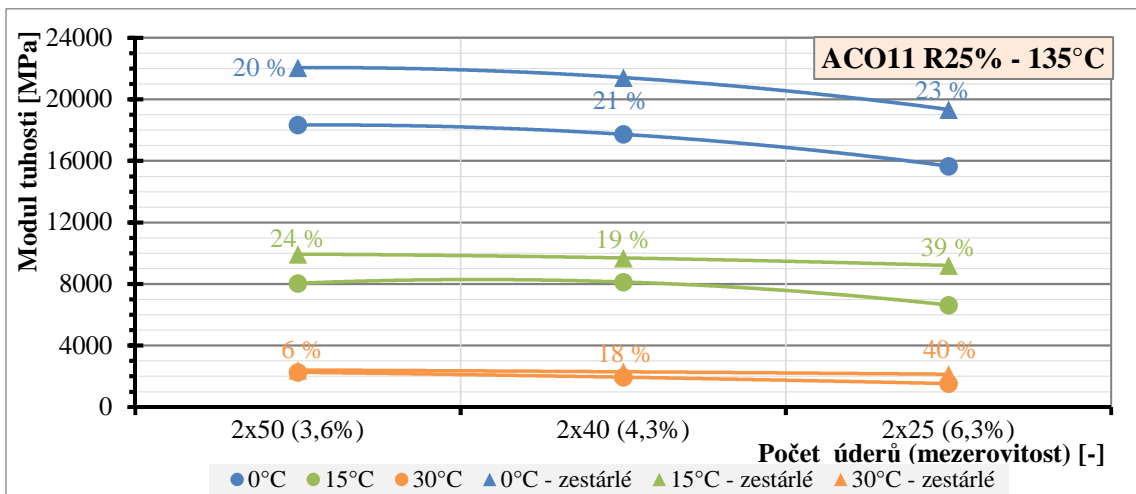
Graf 46 Modul tuhosti zkušenních těles ACO11 R25% - 2x25

V grafech 47, 48, 49, 50 je znázorněn nárůst tuhosti v závislosti na hutnící energii. Převážně ve všech grafech pro jednotlivé hutnící energie tuhost narůstá se zvyšující teplotou měřeného

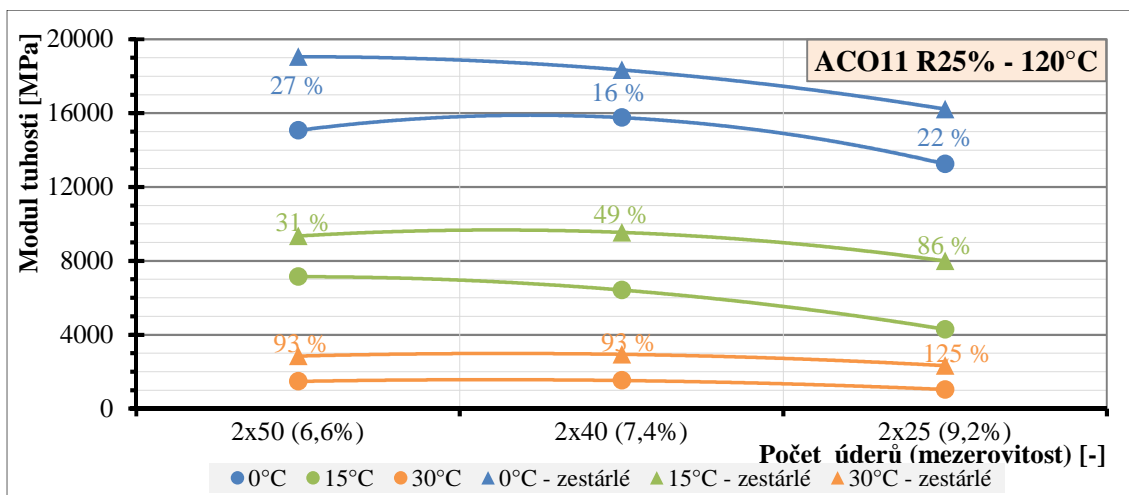
vzorku 0 °C → 30 °C. Graf 47 opět znázorňuje, že vlivem snížení energie hutnění se mezerovitost zvyšuje a tuhost klesá. Zároveň se zvyšující se mezerovitostí dochází k většímu nárůstu tuhosti po procesu stárnutí např. při hutnící energii 2x50 vyšla mezerovitost 4,6 % a nárůst tuhosti při teplotě 15 °C byl 11 % a naopak u hutnící energii 2x25 byla mezerovitost 7,7 % a nárůst tuhosti 39 %, tedy vyšší. Podobný trend byl zaznamenán i u ostatních grafů (48, 49, 50). Občas při některé měřené teplotě (0 °C, 15 °C a 30 °C) došlo oproti předpokladu k menšímu nárůstu tuhosti, např. u zkušebních těles hutněných 2x40 došlo k menšímu nárůstu tuhosti, než u zkušebních těles hutněných 2x50, a to i přesto, že zkušební tělesa měla o něco vyšší mezerovitost. Tento jev mohl být ovlivněn nehomogenitou použitého R-materiálu, jakož i procesem stárnutí, který byl aplikován na nijak nechráněných zkušebních těles.



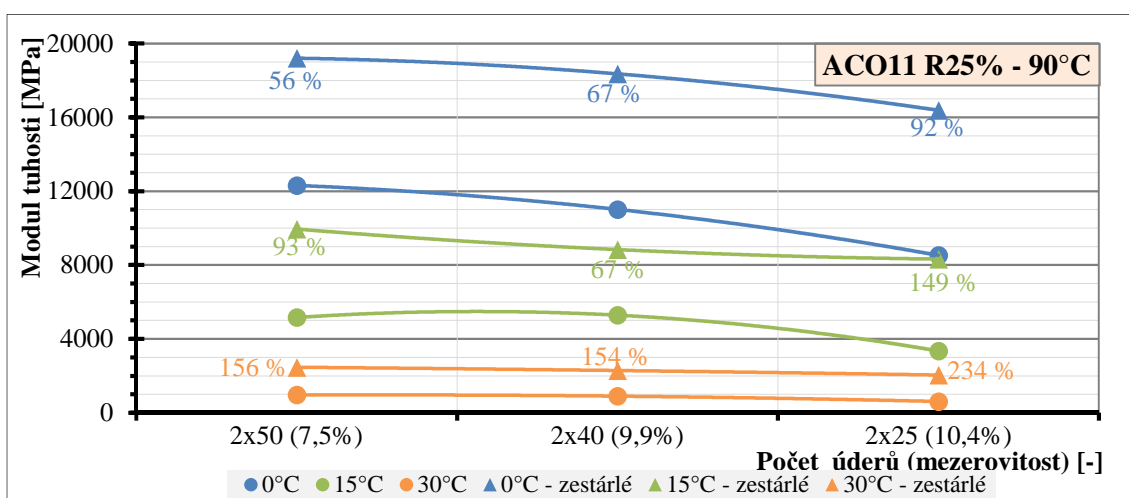
Graf 47 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 150 °C



Graf 48 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 135 °C

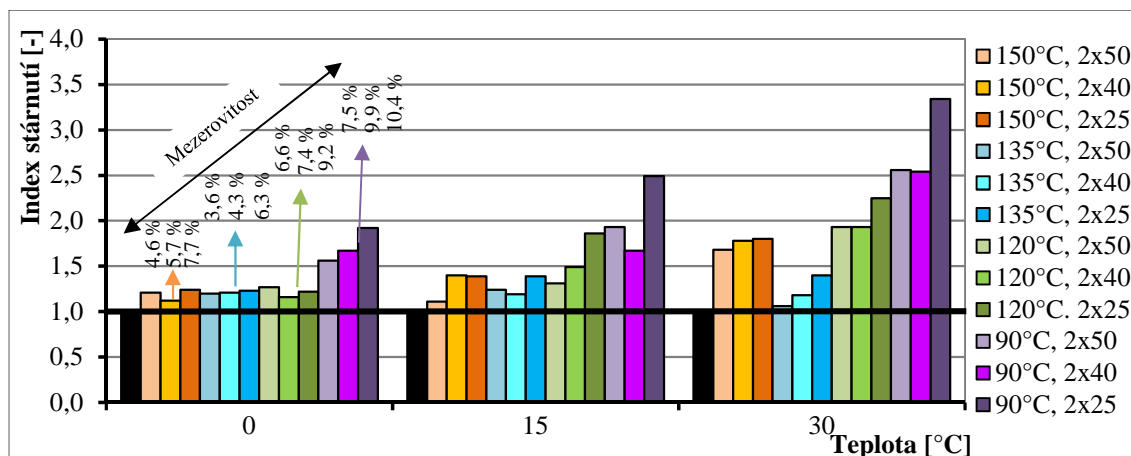


Graf 49 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 120 °C



Graf 50 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 90 °C

Na posledním grafu 51 této asfaltové směsi je vyhodnocena tuhost pomocí indexu stárnutí, který je seřazen podle teplot hutnění (od nejvyšší po nejnižší). Jak již bylo zmíněno nejvyšší nárůst tuhosti po stárnutí byl zaznamenán u zkušebních těles vyrobených při teplotě 90 °C. Nárůst tuhosti těchto zkušebních těles v závislosti na energii hutnění byl 67 až 149 % při teplotě 15 °C. Také již bylo zmíněno, že s klesající teplotou hutnění zkušebních těles se zvyšovala mezerovitost, tudíž v závislosti na mezerovitosti by se s ní měl zvětšovat i index stárnutí, čemuž data v grafu přibližně odpovídají. Pouze u zkušebních těles vyrobených při teplotě 150 °C byla mezerovitost větší než u zkušebních těles vyrobených při teplotě 135 °C. Tudíž kdyby se v grafu 51 prohodily oranžové sloupce s modrými sloupci, výrazně by se pozměnil index stárnutí pro stanovení tuhosti při teplotě 30 °C. Nárůst indexu stárnutí by byl více lineární a to i z hlediska narůstající mezerovitosti. Nárůst tuhosti u zkušebních těles vyrobených při teplotě 150 °C v závislosti na hutnicí energii byl 11 až 40 % při teplotě 15 °C. Nárůst tuhosti u zkušebních těles vyrobených při teplotě 135 °C v závislosti na hutnicí energii byl při stejné teplotě 24 až 40 %. Nárůst tuhosti zkušebních těles vyrobených při teplotě 120 °C v závislosti na hutnicí energii byl 31 až 86 % při teplotě 15 °C.



Graf 51 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11 R25%

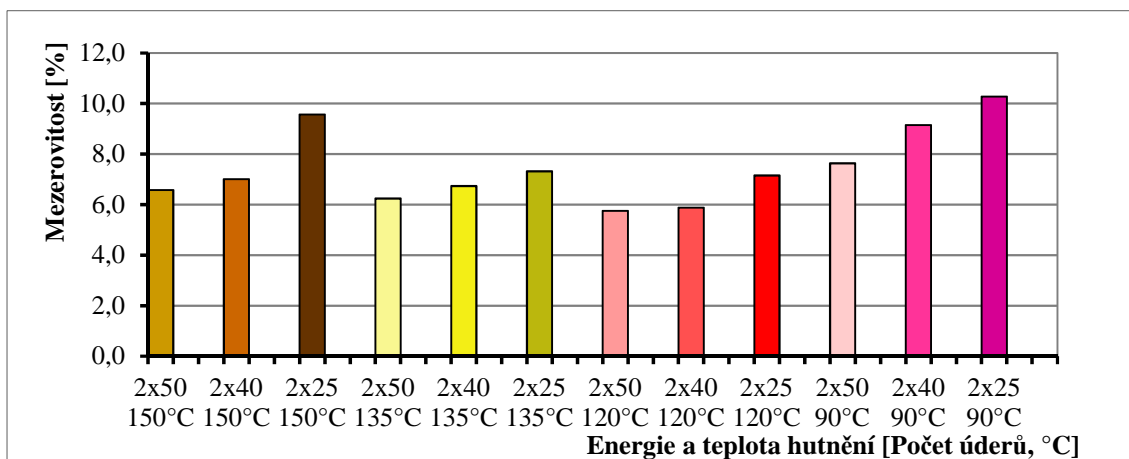
6.2.1.9 ACP16+ R16% 50/70

Zkušební tělesa byla vystavena stárnutí po dobu 5 dnů při teplotě 85 °C. Zhutněná zkušební tělesa byla vyráběna při čtyřech různých teplotách hutnění (150 °C, 135 °C, 120 °C, 90 °C) a při třech různých hutnících energiích (2x50, 2x40, 2x25). Tedy pro každou teplotu bylo vyrobeno 9 zkušebních těles, která byla hutněna třemi způsoby. Tímto způsobem vznikla velká sada zkušebních těles lišící se svou mezerovitostí. Tato zkušební tělesa byla vyráběna obdobně jako zkušební tělesa asfaltové směsi ACO11 R25%. V tabulce 21 jsou shrnuty údaje o hodnotách modulu tuhosti a jeho nárůstu po procesu stárnutí.

Tab. 21 Modul tuhosti asfaltové směsi ACP16+ R16%

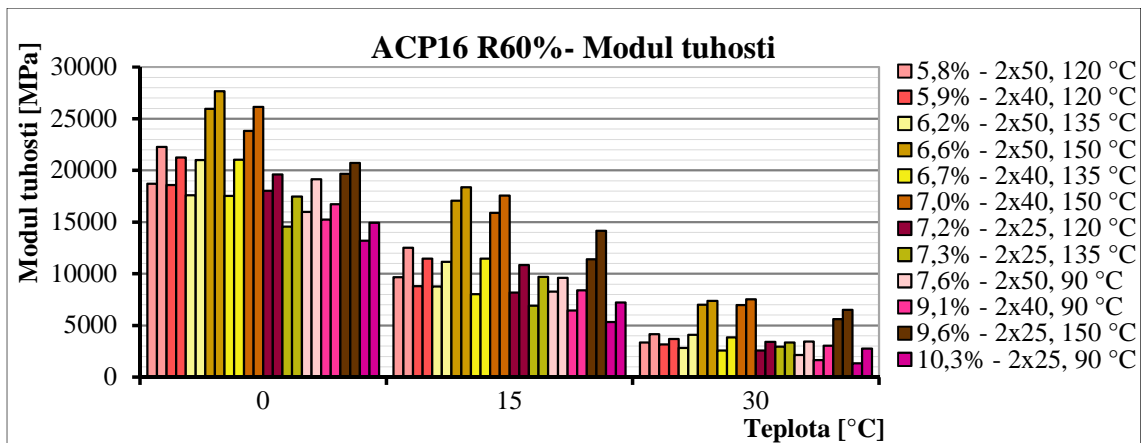
| Asfaltová směs | Typ stárnutí | Modul tuhosti [MPa] při teplotě | | | Teplotní citlivost | Nárůst tuhosti | | |
|----------------------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|--------------------|----------------|-------|-------|
| | | 0 °C | 15 °C | 30 °C | | 0 °C | 15 °C | 30 °C |
| ACP16+ R60% 2x50 150 °C | Nezestárlá | 25973 | 17072 | 7019 | 3,7 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 27648 | 18356 | 7380 | 3,7 | 6 % | 8 % | 5 % |
| ACP16+ R60% 2x40 150 °C | Nezestárlá | 23835 | 15888 | 6969 | 3,4 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 26149 | 17561 | 7539 | 3,5 | 10 % | 11 % | 8 % |
| ACP16+ R60% 2x25 150 °C | Nezestárlá | 19668 | 11402 | 5612 | 3,5 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 20723 | 14157 | 6524 | 3,2 | 5 % | 24 % | 16 % |
| ACP16+ R60% 2x50 135 °C | Nezestárlá | 17608 | 8762 | 2825 | 6,2 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 20992 | 11145 | 4109 | 5,1 | 19 % | 27 % | 45 % |
| ACP16+ R60% 2x40 135 °C | Nezestárlá | 17530 | 8022 | 2581 | 6,8 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 21044 | 11469 | 3851 | 5,5 | 20 % | 43 % | 49 % |
| ACP16+ R60% 2x25 135 °C | Nezestárlá | 14562 | 6911 | 2960 | 4,9 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 17488 | 9709 | 3363 | 5,2 | 20 % | 40 % | 14 % |
| ACP16+ R60% 2x50 120 °C | Nezestárlá | 18715 | 9672 | 3350 | 5,6 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 22274 | 12504 | 4170 | 5,3 | 19 % | 29 % | 24 % |
| ACP16+ R60% 2x40 120 °C | Nezestárlá | 18603 | 8802 | 3152 | 5,9 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 21252 | 11475 | 3697 | 5,7 | 14 % | 30 % | 17 % |
| ACP16+ R60% 2x25 120 °C | Nezestárlá | 18016 | 8198 | 2569 | 7,0 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19608 | 10845 | 3406 | 5,8 | 9 % | 32 % | 33 % |
| ACP16+ R60% 2x50 90 °C | Nezestárlá | 15990 | 8265 | 2156 | 7,4 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 19144 | 9612 | 3443 | 5,6 | 20 % | 16 % | 60 % |
| ACP16+ R60% 2x40 90 °C | Nezestárlá | 15250 | 6445 | 1660 | 9,2 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 16726 | 8409 | 3055 | 5,5 | 10 % | 30 % | 84 % |
| ACP16+ R60% 2x25 90 °C | Nezestárlá | 13200 | 5332 | 1331 | 9,9 | - | - | - |
| | 5d@85°C | 14918 | 7215 | 2468 | 6,0 | 13 % | 35 % | 108 % |

V grafu 52 je zobrazena mezerovitost všech 12 sad zkušebních těles, přičemž jedna sada obsahovala tři zkušební tělesa. Nejvyšší mezerovitosti dosáhla opět sada zkušebních těles hutněná při nejnižší teplotě (90 °C). Naopak nejnižší mezerovitosti by mělo být dosaženo při nejvyšší teplotě hutnění (při teplotě 150 °C). Nejnižší mezerovitosti bylo dosaženo při teplotě hutnění 120 °C. Při výrobě zkušebních těles mohlo dojít k nedostatečné homogenizaci asfaltové směsi. Dále mohl nastat problém z hlediska použitého R-materiálu, který bývá často nehomogenní a v tomto návrhu asfaltové směsi měl velké zastoupení (60 %). Mezerovitost z hlediska hutnicí energie by se měla navyšovat s postupným snižováním hutnicí energie, což dle grafu 52 odpovídá.



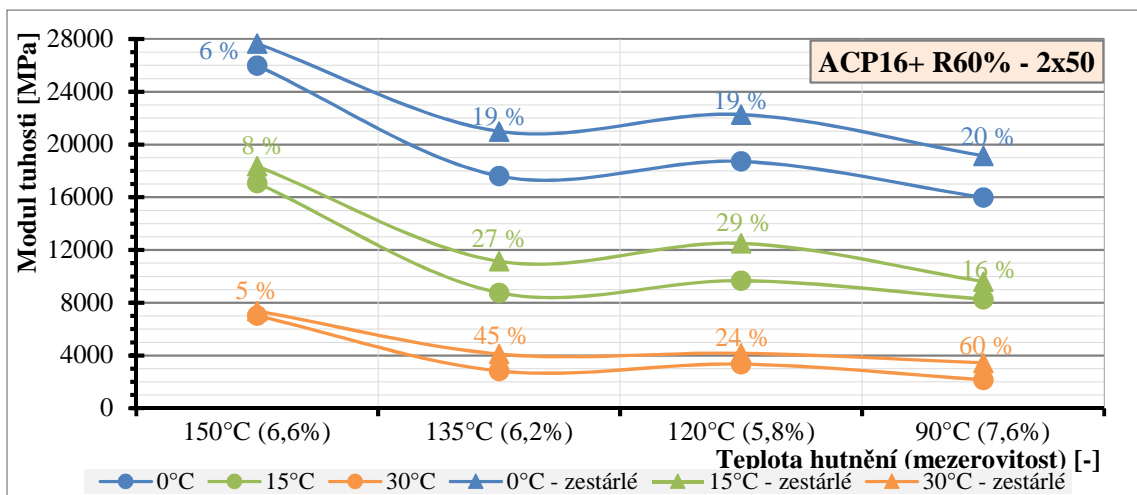
Graf 52 Mezerovitost zkušebních těles ACP16+ R60%

V grafu 53 je znázorněn modul tuhosti seřazený dle narůstající mezerovitosti zkušebních těles. Zároveň je na tomto grafu porovnána tuhost před a po procesu stárnutí. První sloupec vyjadřuje tuhost před procesem stárnutí a druhý sloupec stejné barvy znázorňuje tuhost po procesu stárnutí. Modul tuhosti se postupně snižuje se zvyšující se mezerovostí, což by měly naznačovat první sloupce od každé barvy. Nejmenší nárůst tuhosti po procesu stárnutí byl zaznamenán u zkušebních těles vyráběných při teplotě 150 °C. Zkušební tělesa hutněná při ostatních teplotách měla přibližně podobný nárůst tuhosti po procesu stárnutí. Nárůst tuhosti vlivem stárnutí bude podrobněji popsán následujícími grafy 44 až 50. Nárůst modulu tuhosti byl u těchto zkušebních těles více vyrovnaný, než tomu bylo u zkušebních těles z asfaltové směsi ACO11 R25%. Nárůst tuhosti si mohl být více podobný díky vyšší mezerovitosti a také díky obsahu větších zrn kameniva. Při výrobní teplotě 150 °C vycházela tuhost zkušebních těles nejvyšší, a naopak zkušební tělesa vyráběná při teplotě 90 °C měla nejnižší tuhost.

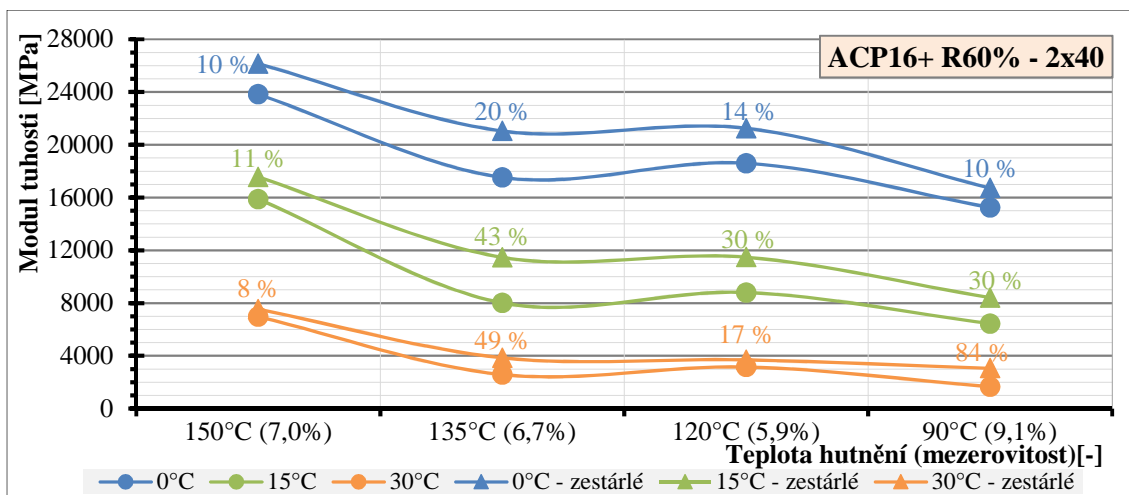


Graf 53 Modul tuhosti zkušebních těles ACP16+ R60%

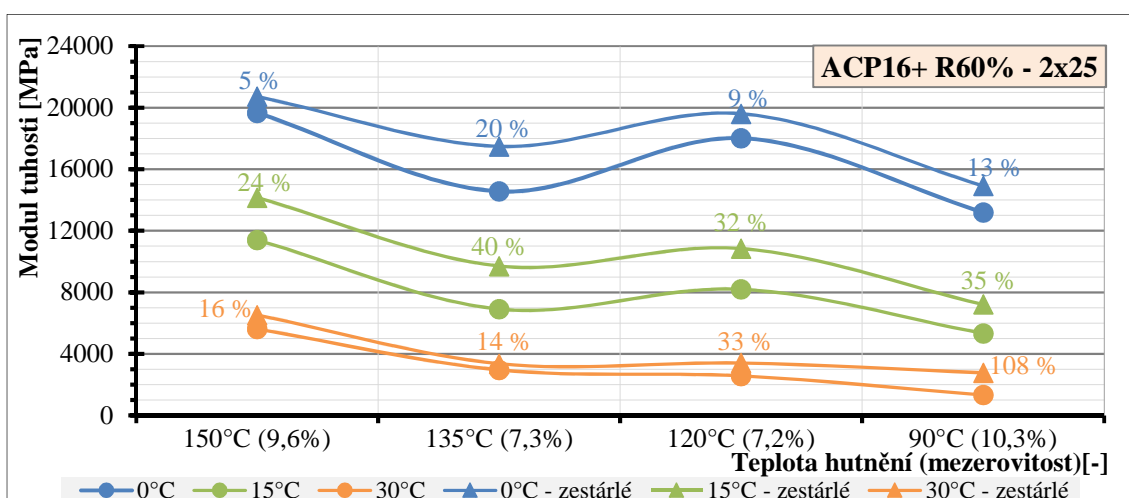
V grafech 54, 45, 56 je znázorněn nárůst tuhosti v závislosti na teplotě hutnění. Nárůst tuhosti při hutnicí energii 2x50 se nejvíce projevil u zkušebních těles hutněných při teplotě 90 °C. Zkušební tělesa vyráběna při teplotě 120 °C a 135 °C měla podobný nárůst tuhosti. Zkušební tělesa hutněná při teplotě 90 °C měla nejvyšší mezerovitost u všech třech typů hutnění. Vlivem vyšší mezerovitosti byl snazší přístup teplého vzduchu do mezer při procesu stárnutí, tudíž zkušební tělesa mohla být výrazněji ovlivněna procesem stárnutí ale i ostatní výrobní teploty měly podobnou mezerovitost, a proto mohou být některé nárůsty tuhosti podobné. Při vzrůstající teplotě hutnění se nárůst tuhosti vlivem stárnutí spíše snižoval až na výjimku u výrobní teploty 120 °C, kdy se modul tuhosti navýšil. Zkušební tělesa vyráběna při teplotě 120 °C měla v porovnání se zbývajícími sadami nejmenší mezerovitost. To také mohl být jeden z důvodů, proč tuhost plynule neklesala mezi jednotlivými výrobními teplotami. Opět zde bude velký vliv mít použitý R-materiál, který je v tomto návrhu asfaltové směsi dominantní. Samotný R-materiál mohl pocházet z různých typů asfaltových vrstev a tím ovlivnit mezerovitost a tuhost daných těles, jak již bylo zmíněno výše. Nejmenší nárůst tuhosti byl u zkušebních těles vyrobených při teplotě 150 °C, a to i přesto, že tyto zkušební tělesa neměla nejnížší mezerovitost. Vliv mezerovitosti je v tomto případě hůře porovnatelný, jelikož dané mezerovitosti si jsou na jednotlivých grafech podobné. Podobný trend, který byl zaznamenán v grafu 54, byl zpozorován i u dalších dvou grafů 55, 56. Vliv procesu stárnutí se výrazněji projevoval u vyšších teplot stanovení tuhosti (15 °C, 30 °C), obzvláště u zkušebních těles vyráběných při teplotě 90 °C, kde byl nejvýraznější nárůst tuhosti po stárnutí u teploty 30 °C.



Graf 54 Modul tuhosti zkušebních těles ACP16+ R60% - 2x50

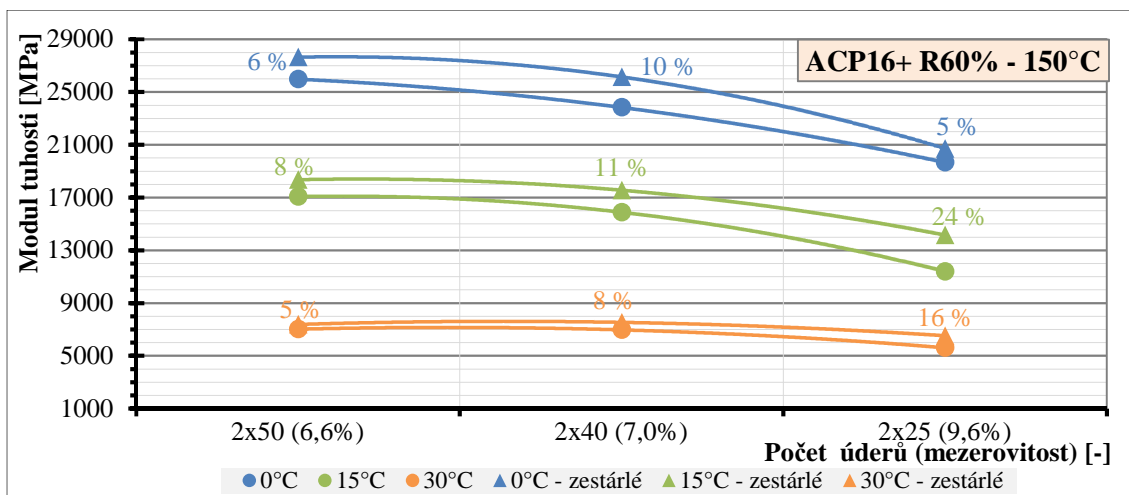


Graf 55 Modul tuhosti zkušebních těles ACP16+ R60% - 2x40

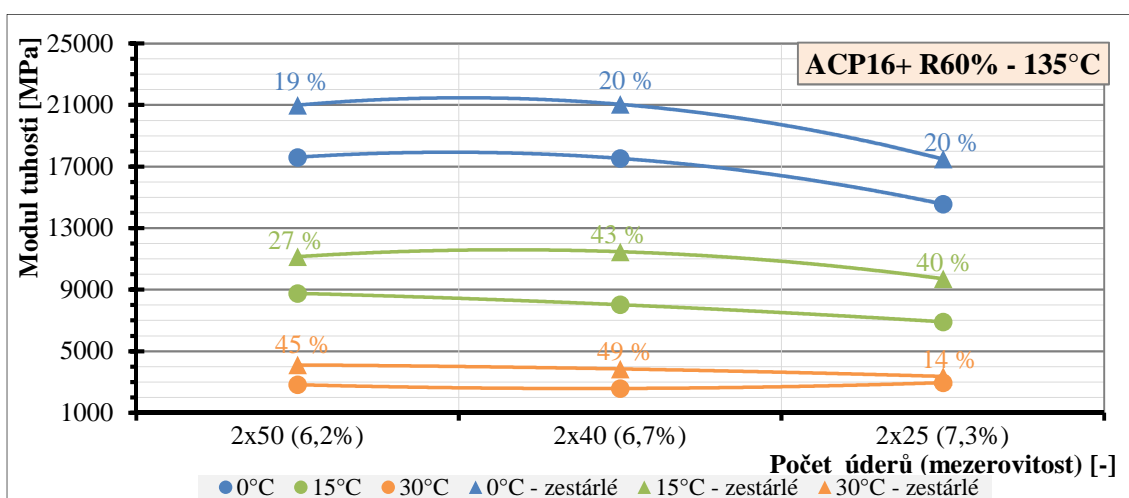


Graf 56 Modul tuhosti zkušebních těles ACP16+ R60% - 2x25

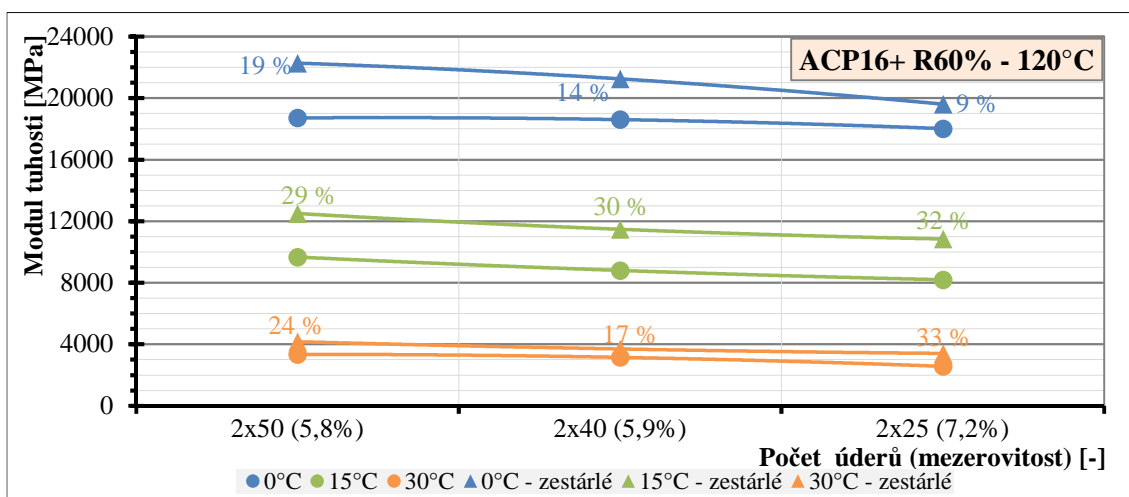
V grafech 57, 58, 59, 60 je znázorněn nárůst tuhosti v závislosti na hutnicí energii. Převážně ve všech grafech se nárůst tuhosti vlivem stárnutí pro jednotlivé hutnicí energie zvyšoval se zvyšující se teplotou měřeného zkušebního tělesa, 0 °C → 30 °C. V grafu 57 lze opět pozorovat, že vlivem snižující se energii hutnění se mezerovitost zvyšuje a tuhost klesá. I zde tedy platí, že převážně s rostoucí mezerovitostí dochází k většímu nárůstu tuhosti po stárnutí. U výrobní teploty 135 °C je tomu naopak. Tento jev mohl být ovlivněn nehomogenitou použitého R-materiálu, jakož i procesem stárnutí použitým na nijak chráněná zkušební tělesa.



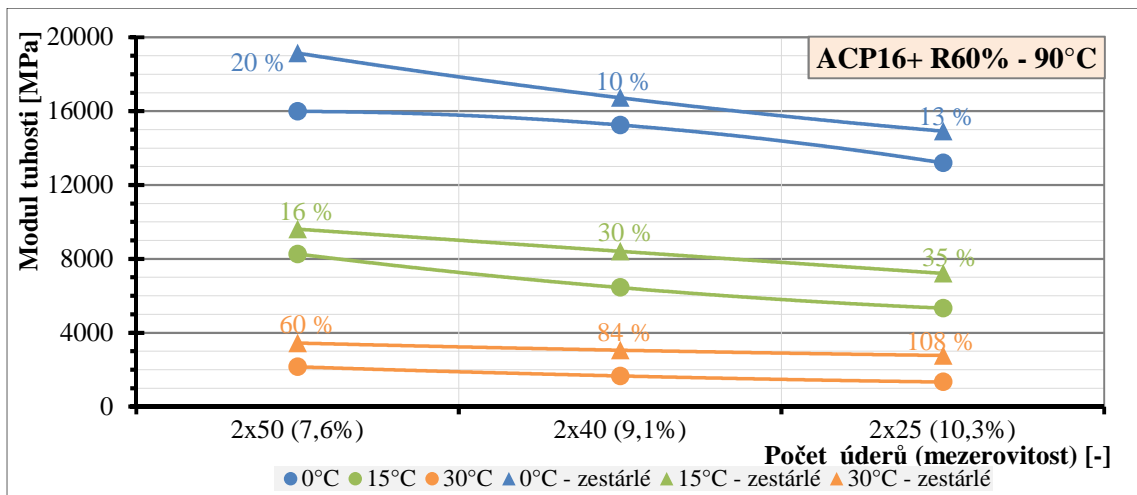
Graf 57 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 150 °C



Graf 58 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 135 °C

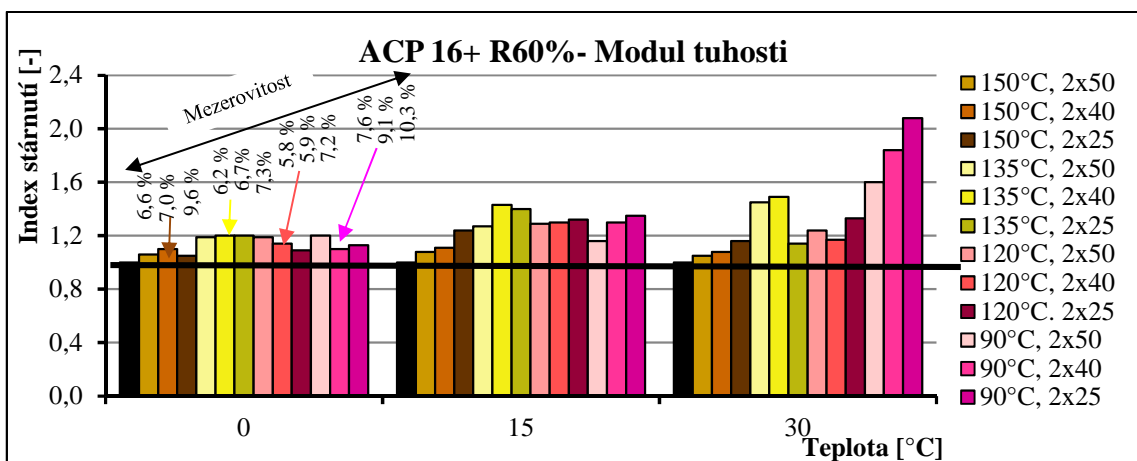


Graf 59 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 120 °C



Graf 60 Modul tuhosti zkušebních těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 90 °C

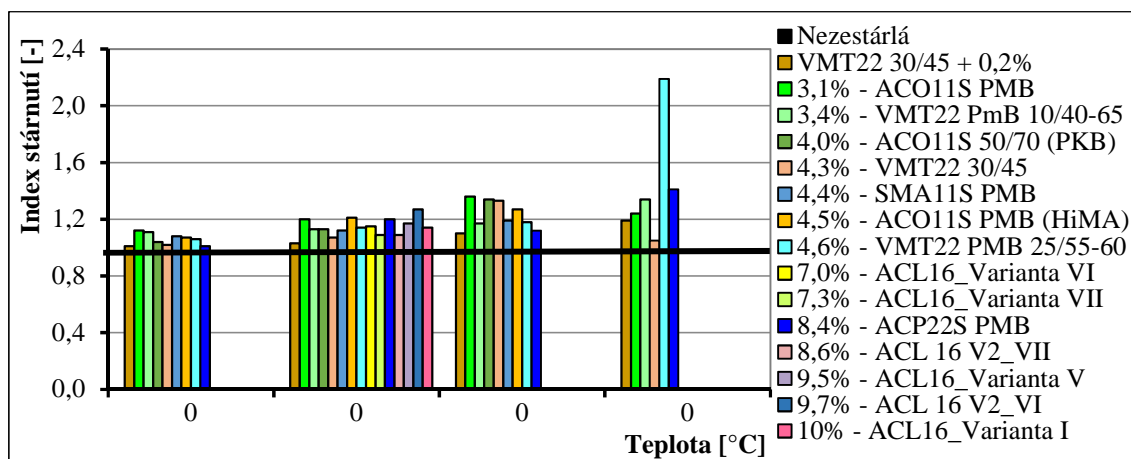
Na posledním grafu 61 pro tuto asfaltovou směs je vyhodnocena tuhost pomocí indexu stárnutí, který je seřazen podle teplot hutnění (od nejvyšší po nejnižší). Nejmenší nárůst tuhosti byl zaznamenán u zkušebních těles vyrobených při teplotě 150 °C. Nárůst tuhosti při této teplotě v závislosti na hutnicí energii byl 8 až 24 % při teplotě 15 °C. Nárůst tuhosti u zkušebních těles vyrobených při teplotě 135 °C v závislosti na hutnicí energii byl 27 až 43 % při teplotě 15 °C. Nárůst tuhosti u zkušebních těles vyrobených při teplotě 120 °C v závislosti na hutnicí energii byl 29 až 32 % při teplotě 15 °C. Nárůst tuhosti u zkušebních těles vyrobených při teplotě 90 °C v závislosti na hutnicí energii byl 16 až 35 % při teplotě 15 °C. Indexy stárnutí jsou si velmi podobné obzvláště při teplotě měření 0 °C a 15 °C. To, že jsou si indexy stárnutí podobné, může být dáno větším obsahem R-materiálu a také obsahem asfaltového pojiva z R-materiálu, které již bylo jednou zestárnuté. Asfaltové pojivo po dalším stárnutí již nemuselo výrazněji degradovat a tím pádem, nezpůsobilo výraznější nárůsty tuhosti. Nejvíce procesem stárnutí byly ovlivněny dvě sady zkušebních těles, a to zkušební tělesa vyrobená při teplotě 135 °C a 90 °C. Obzvláště byly ovlivněny tuhosti stanovení při vyšších teplotách, tedy při teplotě 30 °C.



Graf 61 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACP16+ R60%

6.2.2 Index stárnutí pro 5d@85°C a PAV@85°C

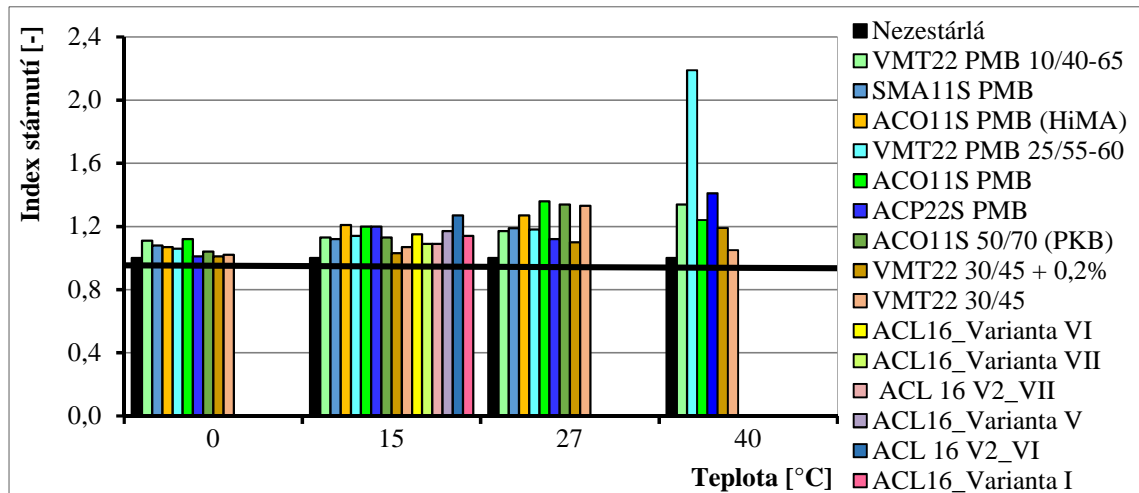
V grafu 62 je znázorněn index stárnutí procesu stárnutí 5d@85°C seřazený podle mezerovitosti jednotlivých asfaltových směsí. U jednotlivých teplot nejsou vždy všechny sloupce, jelikož některé asfaltové směsi byly zkoušeny při třech teplotách a některé při čtyřech teplotách, což záviselo na tuhosti asfaltové směsi. Asfaltové směsi typu VMT jsou tužší, proto se měřily při všech čtyřech teplotách, a naopak asfaltové směsi typu ACO jsou měkčí a bylo u nich zvoleno stanovení tuhosti jen při třech teplotách. Index stárnutí byl vypočítán z modulu tuhosti zestárlého a nezestárlého zkušební tělesa, viz výše rovnice (1). Porovnání vlivu zestárnutí různých typů asfaltových směsí v závislosti na mezerovitosti mezi sebou nevykazuje žádné viditelné závislosti. Míra ovlivnění asfaltové směsi procesem stárnutí zjevně nezávisí jen na mezerovitosti zkušebních těles, ale také na typu asfaltového pojiva, obsahu asfaltového pojiva, typu kameniva, popřípadě typu přísad, jakož i na výrobní teplotě asfaltové směsi, která již mohla ovlivnit jak krátkodobý, tak i dlouhodobý proces stárnutí aplikovaný na ztuhnutých zkušebních tělesech. Z toho hlediska by bylo asi lepší vybrat si jeden typ asfaltové směsi, která by se vyrobila ve dvou variantách s odlišným typem asfaltového pojiva nebo kameniva. U každé této varianty by bylo vhodné vyrobit sadu zkušebních těles lišící se mezerovitostí. Tím by se získal soubor hodnot, které by byly lépe porovnatelné z hlediska vlivu mezerovitosti, asfaltového pojiva a kameniva. Nárůst tuhosti zkušebních těles pro různé asfaltové směsi byl v rozmezí 1 až 12 % při teplotě 0 °C. Nárůst tuhosti zkušebních těles pro teplotu 15 °C byl 3 až 27 %. Nárůst tuhosti zkušebních těles pro teplotu 27 °C byl 10 až 36 %. Nárůst tuhosti zkušebních těles pro teplotu 40 °C byl 5 až 119 %. Opět se zde potvrzuje, že čím je vyšší teplota měřeného zkušební tělesa, tím výrazněji naroste index stárnutí. Obzvláště při teplotě 40 °C, kdy index stárnutí dosahuje vysokých hodnot. Je to logický jev, neboť asfaltové pojivo zestárla, stalo se tvrdší a při nízkých teplotách se tato skutečnost již tolik neprojeví, jelikož už jen nízkou teplotou je zkušební těleso viskoelastického materiálu tužší. Naopak při vyšších teplotách se zkušební tělesa stávají o něco měkčí a degradované asfaltové pojivo má větší tendenci se tu projevit. Tento jev bude znát i při následujícím vyhodnocení teplotní citlivosti.



Graf 62 Index stárnutí v závislosti na mezerovitosti a procesu stárnutí 5d@85°C

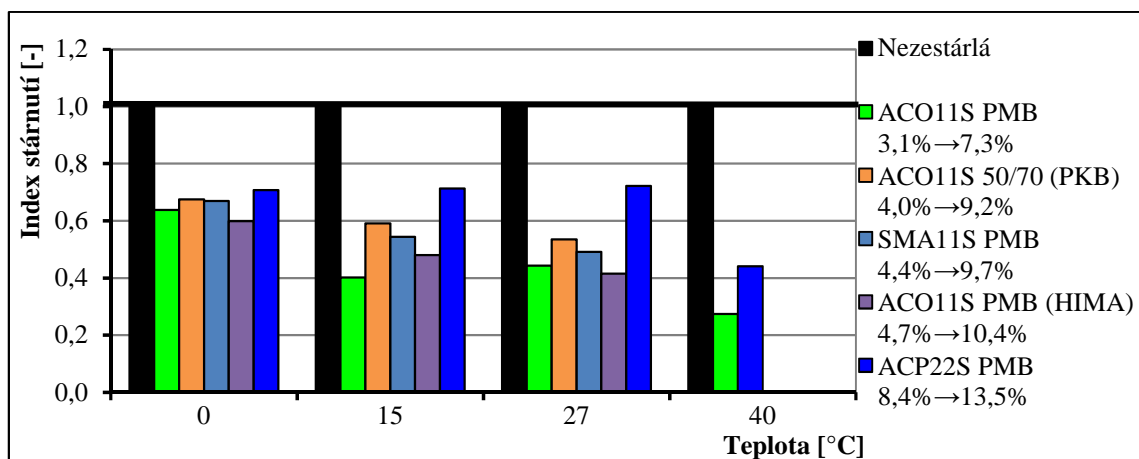
Na grafu 63 jsou znázorněny hodnoty indexu stárnutí seřazené dle typu asfaltového pojiva, tedy jako první jsou asfaltové směsi obsahující polymerem modifikované asfaltové pojivo a jako další běžné silniční asfalty. Určitá závislost zde bude i na gradaci asfaltového pojiva, která se vyjadřuje pomocí penetrace. Dále zde bude také závislost na ostatních parametrech jako

mezerovitost apod. Při teplotě 0 °C se index stárnutí navýšil více u asfaltových směsí obsahující asfaltové pojivo PMB. Při teplotě 15 °C a 27 °C byly hodnoty indexu stárnutí spíše vyrovnané. Index stárnutí při teplotě 40 °C byl opět vyšší u asfaltových směsí obsahující polymerem modifikované asfaltové pojivo.



Graf 63 Index stárnutí v závislosti na typu asfaltového pojiva a procesu stárnutí 5d@85°C

V grafu 64 je vyhodnocen index stárnutí tuhosti zkušebních těles ovlivněných procesem tlakového stárnutí. Asfaltové směsi jsou seřazeny dle původních mezerovitostí, u kterých je uvedena i mezerovitost po procesu tlakového stárnutí. Index stárnutí má spíše tendenci klesat se vzrůstající teplotou měřených zkušebních těles. Nejvíce byla tlakovým stárnutím ovlivněna asfaltová směs ACO11S PMB (HiMA) s původní mezerovitostí 3,1 %. Naopak nejméně byla ovlivněna asfaltová směs s nejvyšší mezerovitostí 8,4 % a to asfaltová směs ACP22S PMB. U více mezerovité asfaltové směsi mohl zřejmě lépe působit tlak ve volných pórech, díky tomu mohlo dojít k menšímu poškození, než tomu bylo naopak u méně mezerovité asfaltové směsi. Nárůst mezerovitosti byl více znát u asfaltových směsí, které měly původně nízkou mezerovitost, než u asfaltových směsí, které měly původní mezerovitost vyšší. V průměru dochází ke snížení tuhosti o 30 až 50 % vlivem tlakového stárnutí.



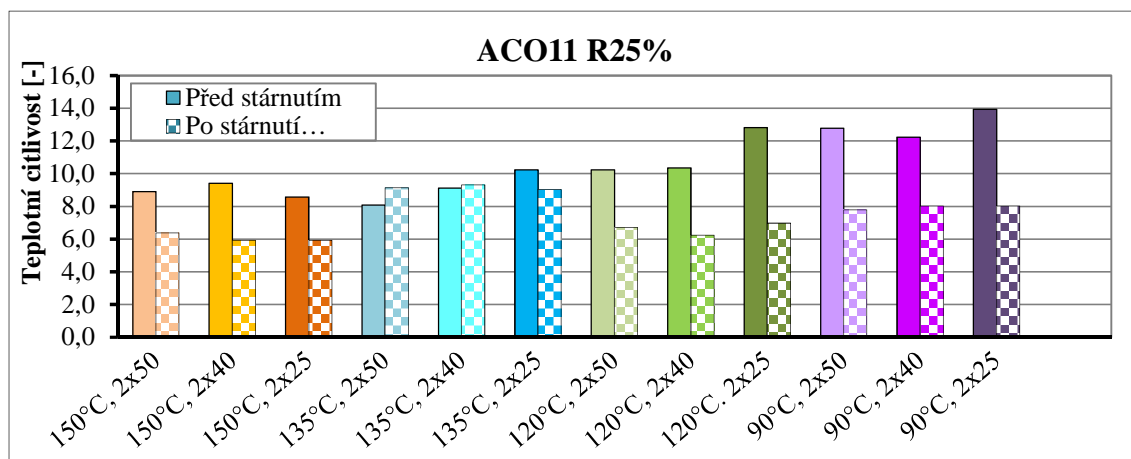
Graf 64 Index stárnutí v závislosti na mezerovitosti a procesu stárnutí PAV@85°C

6.2.3 Teplotní citlivost

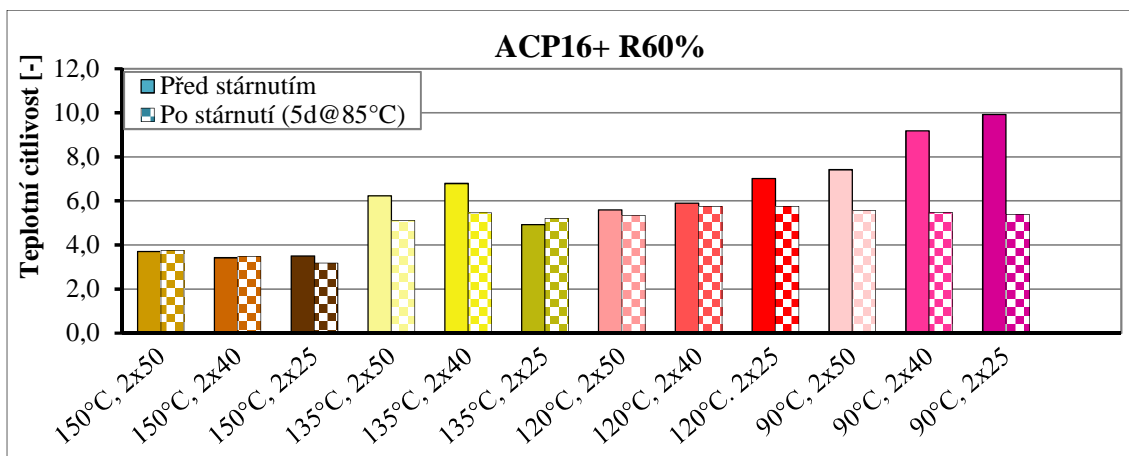
Teplotní citlivost byla vypočítána dle rovnice (16). Nejnižší teplota byla 0 °C a nejvyšší teplota byla uvažována buď 27 °C, nebo 40 °C. Výběr nejvyšší teploty závisel na teplotách, při kterých byly zkoušeny zkušební tělesa jednotlivých asfaltových směsí. U některých asfaltových směsí byly měřeny pouze tři teploty (0 °C, 15 °C, 27 °C – měkkí asfaltové směsi), u dalších zase čtyři teploty (0 °C, 15 °C, 27 °C, 40 °C – tužší asfaltové směsi).

$$T_p = \frac{\text{Modul tuhosti}_{\text{nejnižší teploty}} [\text{MPa}]}{\text{Modul tuhosti}_{\text{nejvyšší teploty}} [\text{MPa}]} \quad [-] \quad (16)$$

V grafech 65 až 68 jsou vyhodnoceny teplotní citlivosti. Teplotní citlivost asfaltové směsi ACO11 R25% je vyhodnocena v grafu 65, kde je na první pohled znát, že vlivem procesu stárnutí se zmenšila teplotní citlivost. U této asfaltové směsi by se dalo poznamenat, že čím vyšší byla mezerovitost, tím se teplotní citlivost vlivem stárnutí více zmenšila. Jelikož zkušební tělesa vyráběná při teplotě 90 °C a 120 °C měla vyšší mezerovitost a snížení teplotní citlivosti bylo výraznější vůči původní hodnotě. Zkušební tělesa hutněná při teplotě 135 °C měla nejnižší mezerovitost a téměř neměnnou teplotní citlivost. Na teplotní citlivost může mít vliv i teplota hutnění asfaltové směsi (před procesem stárnutí). Jelikož s klesající teplotou hutnění narůstala teplotní citlivost. Teplotní citlivost asfaltové směsi ACP16+ R60% je zobrazena grafem 66. Opět by se dalo říci, že nejvýraznější pokles teplotní citlivosti (po stárnutí) vůči původní hodnotě (před stárnutím) byl zaznamenán u zkušebních těles hutněných při teplotě 90 °C. U ostatních teplot hutnění nebyl pokles teplotní citlivosti, tak výrazný. Pro hutnicí teplotu 150 °C byla teplotní citlivost téměř neměnná.

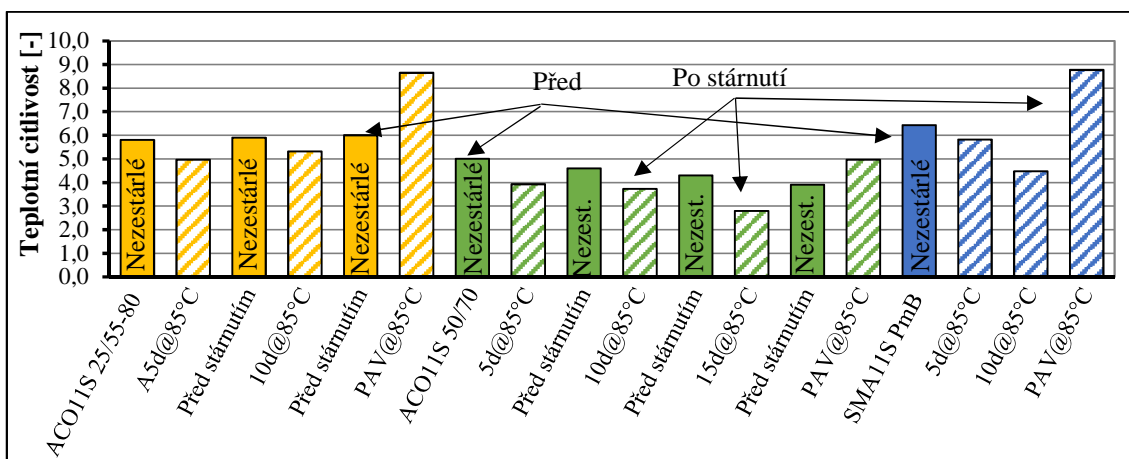


Graf 65 Teplotní citlivost pro asfaltovu směs ACO11 R25%



Graf 66 Teplotní citlivost pro asfaltovu směs ACP16+ R60%

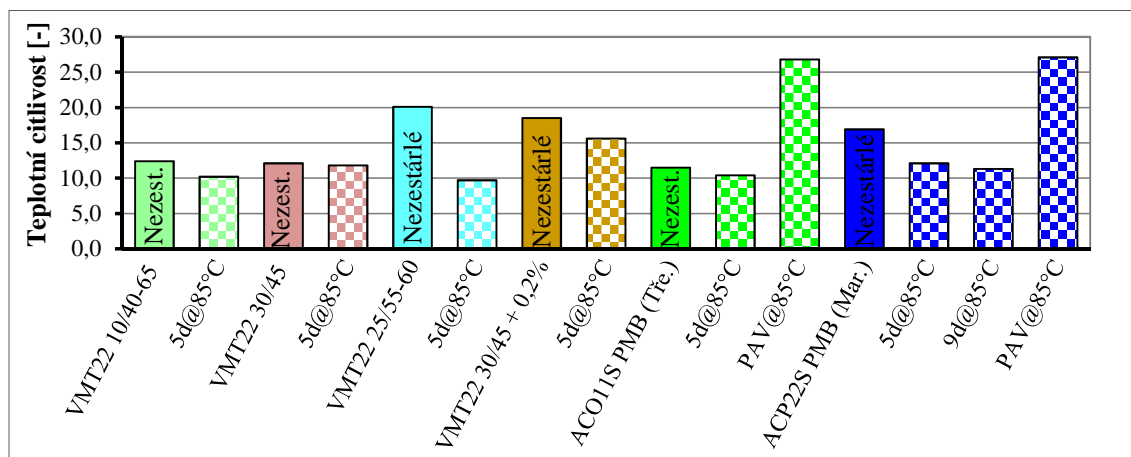
V grafu 67 jsou vyhodnoceny asfaltové směsi z hlediska teplotní citlivosti. Tyto asfaltové směsi měly modul tuhosti získaný při třech teplotách (0 °C, 15 °C, 27 °C). Na tomto grafu jsou zobrazeny tři asfaltové směsi, a to ACO11S PMB, ACO11S 50/70 a SMA11S PMB. Po procesu stárnutí se opět snížila teplotní citlivost. Po stárnutí v tlakové komoře se naopak teplotní citlivost navýšila o 30 až 45 %. Po stárnutí 5d@85°C se teplotní citlivost snížila o 10 až 22 %. Po stárnutí 10d@85°C se teplotní citlivost snížila o něco méně než u předchozího stárnutí a to o 10 až 19 % ale u asfaltové směsi SMA11S PMB se teplotní citlivost snížila více než u stárnutí 5d@85°C a to o 30 %. U asfaltové směsi ACO11S 50/70 se teplotní citlivost po stárnutí 15d@85°C snížila o 65 %. Teplotní citlivost by se teoreticky měla snižovat s narůstající dobou stárnutí v teplotní komoře, což potvrzují asfaltové směsi ACO11S 50/70 a SMA11S PMB. U předchozích asfaltových směsí bylo řečeno, že nejspíše s nárůstem mezerovitosti se zvyšuje teplotní citlivost zkušebních těles. Tím by se dala vysvětlit teplotní citlivost zaznamenaná u zkušebních těles zestárlých v tlakové nádobě. Jelikož zkušebními tělesům se výrazně zvýšila mezerovitost a tím mohlo dojít ke zvýšení teplotní citlivosti.



Graf 67 Teplotní citlivost pro asfaltové směsi ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB (0 °C → 27 °C)

V grafu 68 jsou vyhodnoceny asfaltové směsi z hlediska teplotní citlivosti. Tyto asfaltové směsi měly modul tuhosti získaný při čtyřech teplotách (0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C). Na tomto grafu je zobrazeno šest asfaltových směsí, a to všechny čtyři asfaltové směsi VMT22, dále pak ACO11S PMB (Třebenice) a ACP22S PMB. Vlivem procesu stárnutí (5d@85°C, 9d@85°C) klesla teplotní citlivost. U asfaltové směsi ACP22S se teplotní citlivost postupně s dobou

stárnutí zmenšovala, jako tomu bylo podobně u předchozích asfaltových směsí. Po 5 dnech při teplotě 85 °C došlo ke snížení teplotní citlivosti o 28 % a po 9 dnech o 33 %. Po tlakovém stárnutí se opět teplotní citlivost navýšila o 133 % u asfaltové směsi ACO11S_{Třeb.} a o 60 % u asfaltové směsi ACP22S. K výraznějšímu navýšení došlo u asfaltové směsi ACO11S_{Třeb.} s nižší mezerovitostí (3,1 % → 7,3 %) než tomu bylo u asfaltové směsi ACP22S s vyšší mezerovitostí (8,4 % → 13,5 %).

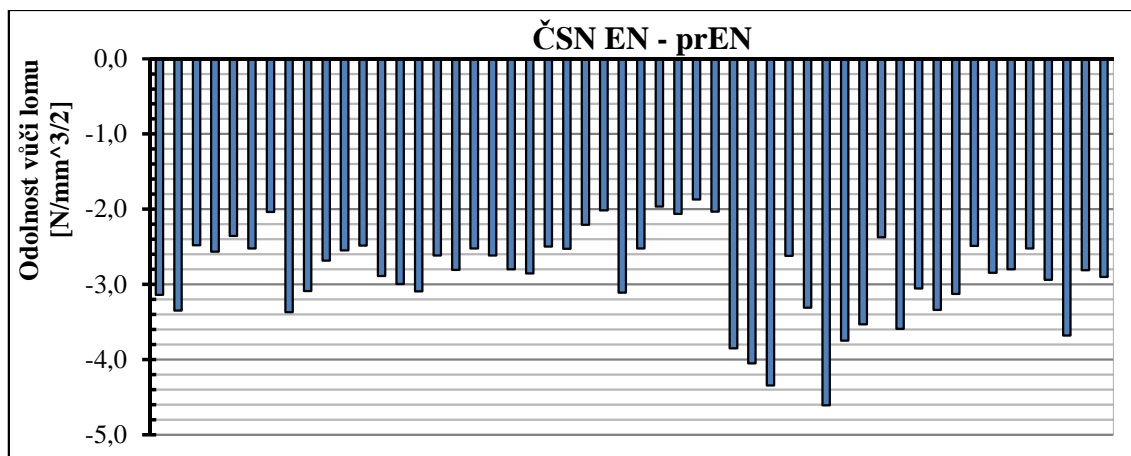


Graf 68 Teplotní citlivost pro asfaltové směsi VMT22, ACO11S_{Třeb.} PMB , ACP22S PMB (0 °C → 40 °C)

6.3 Odolnost vůči vzniku trhliny

Odolnost vůči vzniku mrazové trhliny bylo zkoušeno vždy při 0 °C. U většiny asfaltových směsí byly odzkoušeny trhliny nezestárlé a zestárlé, avšak u některých asfaltových směsí byly odzkoušeny pouze zestárlé trhliny, kvůli nedostatku zkušebních těles. Vyhodnoceny zde budou pouze asfaltové směsi, u kterých byla odzkoušena, jak nezestárlá, tak i zestárlá zkušební tělesa. Vliv stárnutí bude opět vyhodnocen pomocí indexu stárnutí podle rovnic (13) až (15). Zkouška byla hodnocena dle ČSN EN 12697-44 z roku 2011. V roce 2016 byla připravena revize normy pro vyhodnocení této zkoušky, a to pod označením prEN 12697-44. V normě prEN 12697-44 se změnila dvě rovnice, jak již bylo uvedeno výše. Tyto změny budou zobrazeny v některých grafech. Během vyhodnocování jednotlivých asfaltových směsí budou uvedeny fotky některých zkušebních těles.

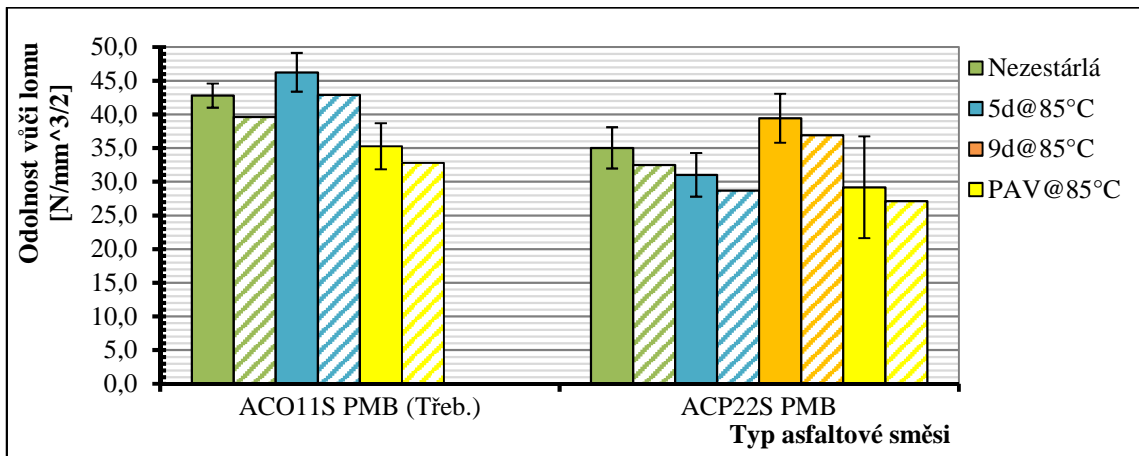
V grafu 69 je zobrazeno snížení lomové houževnatosti vůči starší normě. Lomová houževnatost se vůči starší normě ČSN EN 12697-44 snížila v průměru o 2 až 3 N/mm^{3/2}. Rozdíl lomové houževnatosti mezi dvěma uvedenými normami byl spočítán u všech zde uvedených asfaltových směsí. Jelikož v grafu 69 je jen souhrn rozdílů, tak u dvou asfaltových směsí zobrazených na grafu (70, 76) bude lomová houževnatost vyhodnocena pro obě normy zároveň. V zásadě se nic výrazně nezměnilo. Např. pokud výsledné hodnoty zestárlých a nezestárlých zkušebních těles vyhodnocené dle původní normy ČSN EN 12697-44:2011 vycházely v určitém pořadí, tak po vyhodnocení dle normy prEN 12697-44 se toto pořadí nezměnilo, viz graf 70, 76.



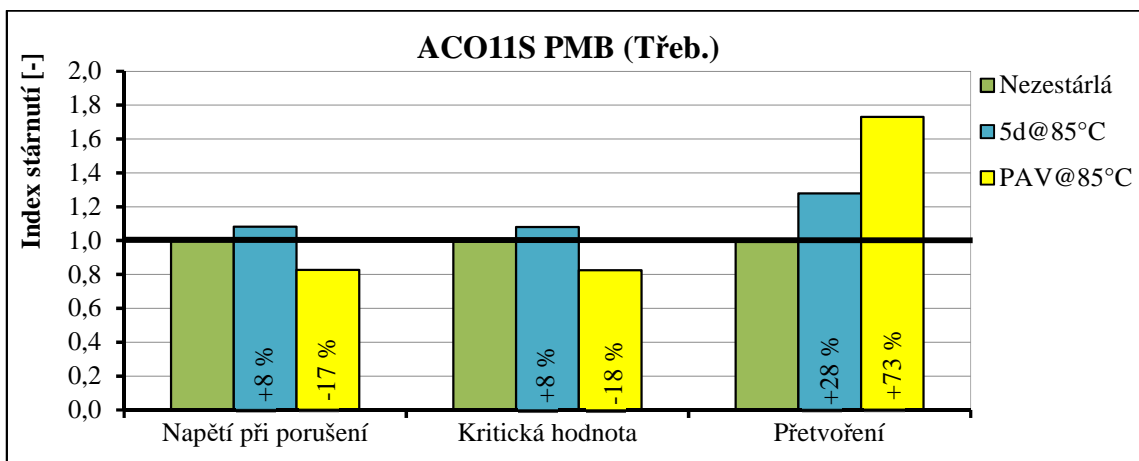
Graf 69 Rozdíl lomové houževnatosti mezi normou ČSN EN 12697-44 a prEN 12697-44

V grafu 70 je vyhodnocena lomová houževnatost asfaltové směsi ACO11S_{Tréb.} PMB a ACP22S PMB. V grafu 71 a 72 je vyhodnocen index stárnutí pro obě uvedené asfaltové směsi. Lomová houževnatost je zde zobrazena dle typů stárnutí, přičemž v plné barvě je vyhodnocení dle normy ČSN EN 12967-44 a v čerchované barvě dle normy prEN 12697-44. Jak již bylo uvedeno výše, vyhodnocení podle obou zde uvedených norem, nijak nezměnilo pořadí hodnot. Snížení lomové houževnatosti dle nové normy prEN oproti staré normě ČSN EN bylo okolo 3 N/mm^{2/3}. Lomová houževnatost by se měla spíše s vlivem stárnutí snižovat, jelikož asfaltové pojivo po stárnutí je sice tužší ale zároveň křehčí a tím pádem méně odolné vůči nižším teplotám. Dle mého názoru by zkušební zestárlé těleso mělo vydržet větší sílu ale s menší deformací. Otázkou pak je, zda se rychleji projeví tuhost nebo křehkost zkoušeného zkušebního tělesa. U asfaltové směsi ACO11S PMB se lomová houževnatost po pěti dnech stárnutí zvýšila o 8 %. Po stárnutí v tlakové komoře se lomová houževnatost výrazně snížila o 18 %. Zkušební tělesa byla nejspíše při stárnutí v tlakové komoře vnitřně porušena, čemuž napovídala již snížená tuhost měřených zkušebních těles. Naopak u asfaltové směsi ACP22S došlo po 5denním stárnutí k poklesu lomové houževnatosti o 11 % a naopak po 9 dnech stárnutí došlo k navýšení lomové houževnatosti o 13 %. Opět vlivem tlakového stárnutí došlo ke snížení lomové houževnatosti o 17 %. Jak bylo uvedeno již výše, lomová houževnatost by se měla spíše snižovat pro procesu stárnutí z hlediska křehčího pojiva, ale lomová houževnatost není ovlivněna jen procesem stárnutí. Lomovou houževnatost ovlivňuje také mezerovitost asfaltové směsi, velikost a rozmístění zrn kameniva v jednotlivých zkušebních tělesech, kvalita přípravy zkušebních půlválcových těles (jejich řezání) a další faktory jako je teplota či rychlost zatěžování, které byly v tomto případě zkoušky neměnné. Asfaltové směsi, které obsahují větší zrna kameniva, by měly být náchylnější k porušení křehkým lomem. Z hlediska rozmístění zrn kameniva může nastat, že při vzniku trhliny může trhlina narazit na větší zrno kameniva, tím se může navýšit síla potřebná k porušení zrna nebo jeho případnému vyhnutí, zde samozřejmě bude záviset také na přilnavosti asfaltového pojiva k použitému kamenivu. Z hlediska mezerovitosti se lomová houževnatost snižuje s rostoucí mezerovitostí, jak je tomu v případě těchto dvou asfaltových směsí. Asfaltová směs ACO11S má menší mezerovitost a vyšší lomovou houževnatost než asfaltová směs ACP22S. Na obrázku 21 jsou zobrazena porušená zkušební tělesa asfaltové směsi ACP22S, která byla vystavena tlakovému stárnutí. Např. trhlina zkušebního tělesa 8B byla na rozmezí platnosti zkoušky. Zkušební tělesa, která byla na rozmezí platnosti zkoušky, jsou v tabulce vždy

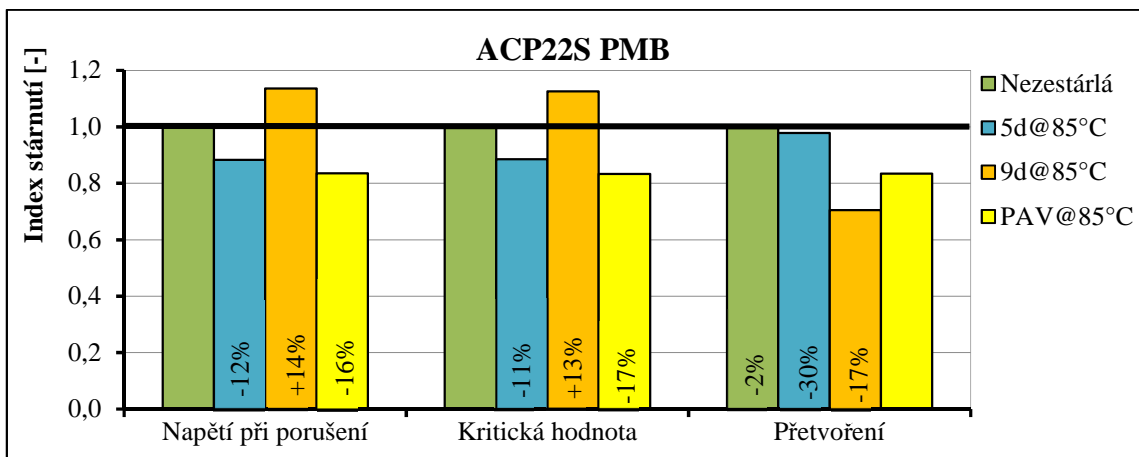
vybarvená oranžově a zkušební tělesa nesplňující dané normy jsou vybarvená červeně. Tyto tabulky jsou uvedeny v příloze C.



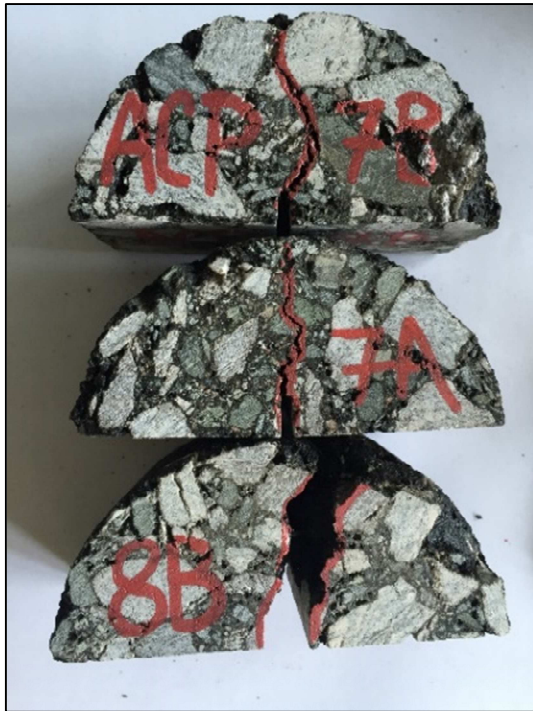
Graf 70 Lomová houževnatost asfaltové směsi ACO11S PMB (Třeb.) a ACP22S PMB



Graf 71 Index stárnutí lomové houževnatosti asfaltové směsi ACO11S (Třeb.)



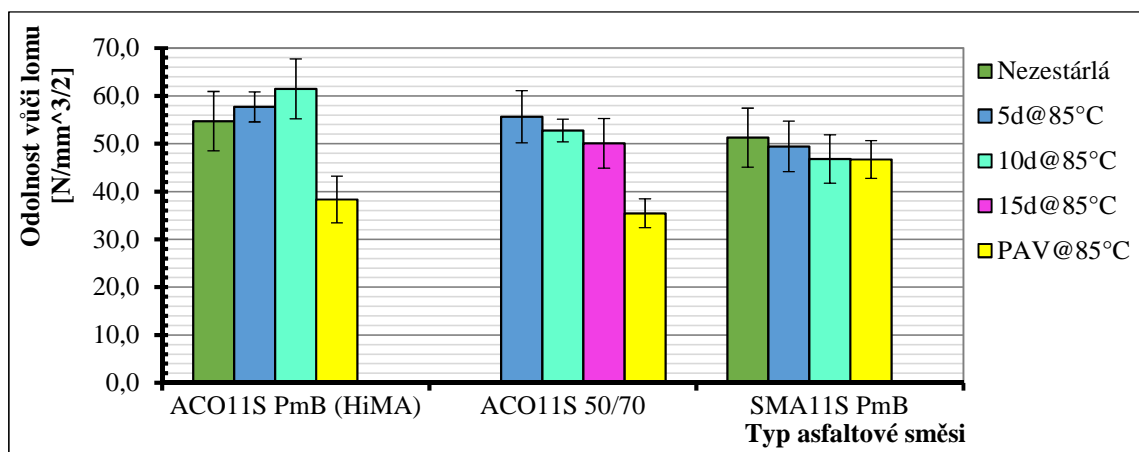
Graf 72 Index stárnutí lomové houževnatosti asfaltové směsi ACP22S PMB



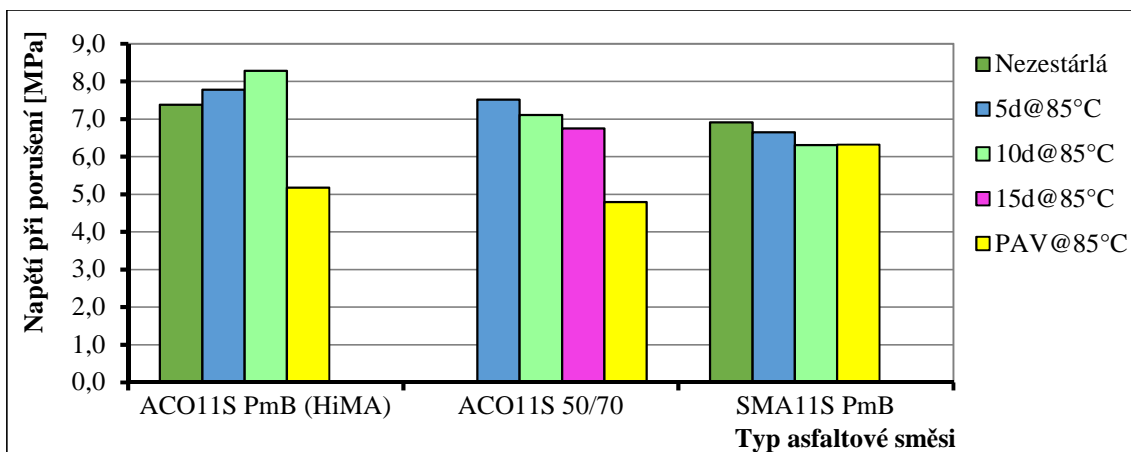
Obr. 21 Fotografie porušených půlválcových zkušebních těles asfaltové směsi ACP22S

V grafech 73 a 74 je vyhodnocena lomová houževnatost a napětí při porušení u třech asfaltových směsí, a to u ACO11S PMB (HiMA), ACO11S 50/70 a SMA11S PMB. V grafu 75 je vyhodnocen index stárnutí pro tyto tři asfaltové směsi. Jelikož lomová houževnatost vychází z napětí při porušení, tak mají stejný trend nárůstu či poklesu po procesu stárnutí. Zároveň napětí při porušení vychází z maximální síly, pokud je tedy zestárlé zkušební těleso schopno přenést vyšší sílu než nezestárlé zkušební těleso. Vypočítané napětí při porušení se potom navýší. Lomová houževnatost se u asfaltové směsi ACO11S postupně s dobou stárnutí navyšovala až na 12 %. Po tlakovém stárnutí došlo ke snížení lomové houževnatosti o 30 %. U asfaltové směsi ACO11S 50/70 nezbyla zkušební tělesa

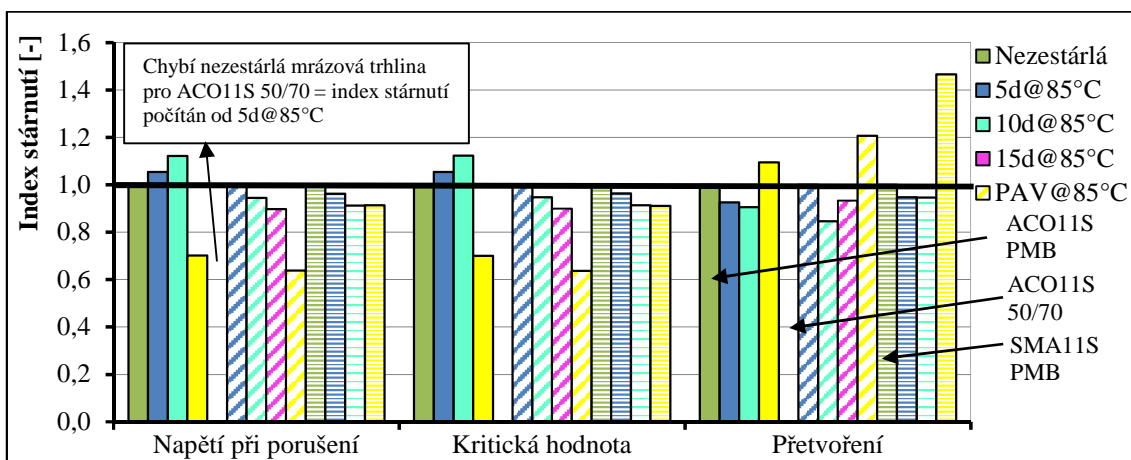
pro odzkoušení nezestárlých hodnot, proto index stárnutí je vztažen k 5dennímu stárnutí při teplotě 85 °C, který je tedy roven hodnotě 1,0 v grafu 75. U této asfaltové směsi dochází ke snížení lomové houževnatosti vlivem stárnutí. Lomová houževnatost se s dobou stárnutí postupně snižovala o 5 až 12 %. Vlivem tlakového stárnutí došlo ke snížení o 36 %. U asfaltové směsi SMA11S PMB došlo opět ke snížení lomové houževnatosti vlivem stárnutí. Po stárnutí 5d@85°C došlo ke snížení o 3,6 % a po stárnutí 10d@85°C došlo k většímu poklesu až o 9 %. Vlivem tlakového stárnutí došlo ke snížení lomové houževnatosti o 9 %. Po stárnutí v tlakové komoře dochází vždy ke snížení lomové houževnatosti a k nárůstu přetvoření. Jak již jsem zmínila výše, je teoreticky možné, že dojde k nárůstu maximální síly vlivem teplotního stárnutí ale za menší deformace, což by mohla naznačovat asfaltová směs ACO11S PMB (HiMA), u které se lomová houževnatost navýšila vlivem stárnutí, a zároveň se snížilo přetvoření zkušebních těles u této asfaltové směsi. U ostatních asfaltových směsí se také vlivem teplotního stárnutí snižovalo přetvoření.



Graf 73 Lomová houževnatost zkušebních těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB



Graf 74 Napětí při porušení zkušebních těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB



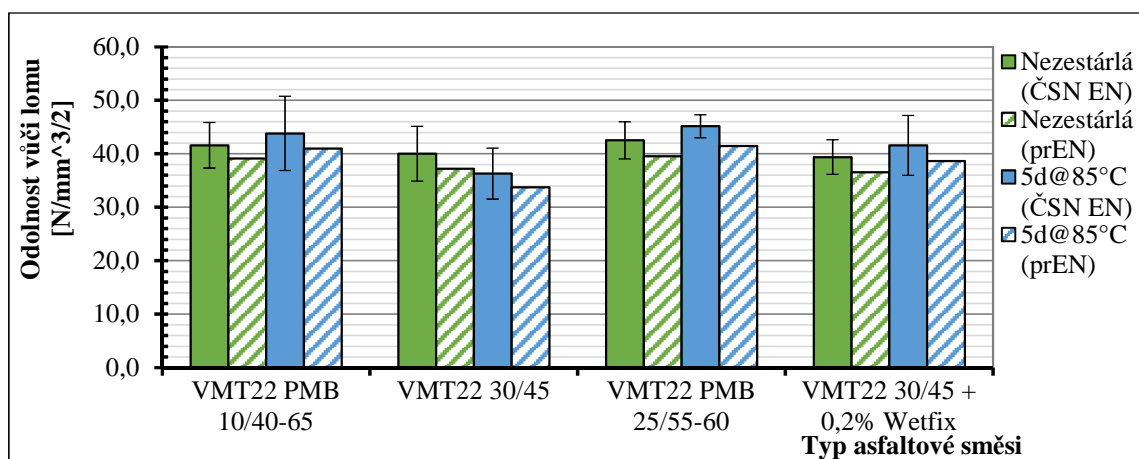
Graf 75 Index stárnutí lomové houževnatosti zkušebních těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB

Na obrázku 22 jsou opět vyfotografovány odzkoušená zkušební tělesa s výrazně vyznačeným průběhem mrazové trhliny. Na tomto obrázku jsou správně porušená zkušební tělesa všech tří typů asfaltových směsí.

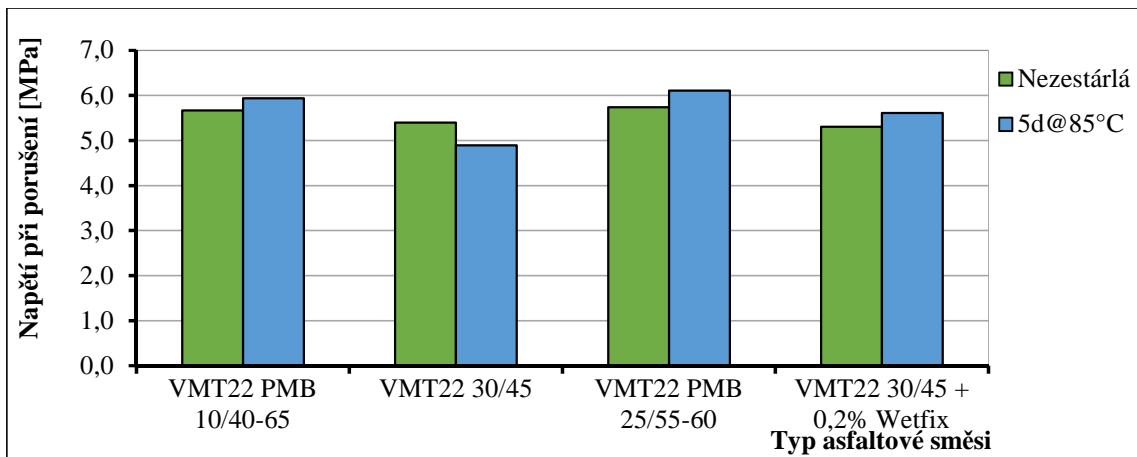


Obr. 22 Fotografie porušených zkušebních těles (ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB)

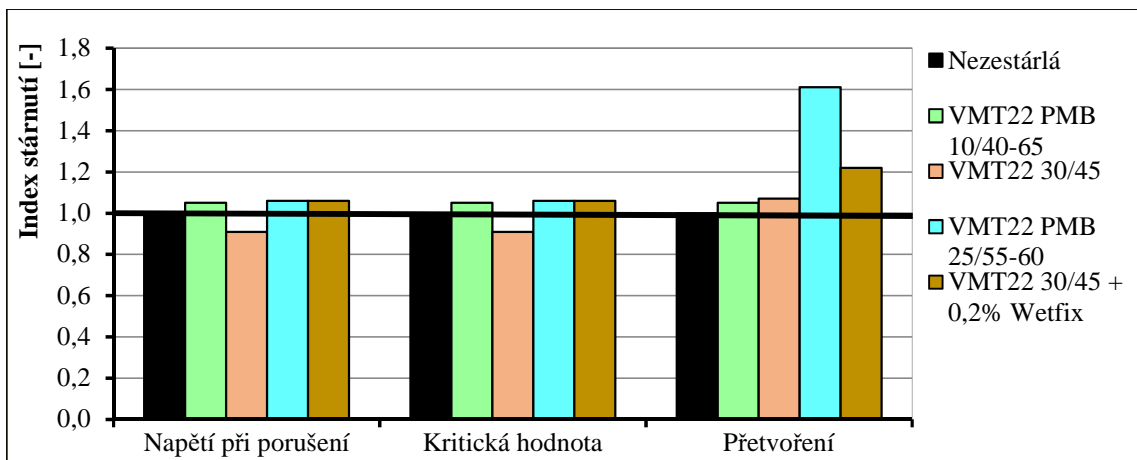
V grafu 76 a 77 je vyhodnocena lomová houževnatost a napětí při porušení u čtyř asfaltových směsí typu VMT22. V grafu 78 je vyhodnocen index stárnutí pro tyto asfaltové směsi. V grafu 76 je vyhodnocena lomová houževnatost dle norem ČSN EN 12697-44 a prEN 12697-44. Opět pořadí maximálních a minimálních hodnot bylo zachováno a rozdíl mezi těmito dvěma normami je v průměru $3 \text{ N/mm}^{3/2}$. U asfaltových směsí typu VMT22 byl aplikován pouze jeden typ stárnutí a to $5d@85^\circ\text{C}$. Lomová houževnatost se vlivem procesu stárnutí navýšila o 5-6 % u asfaltové směsi VMT22 PMB 10/40-65, VMT22 PMB 25/55-60 a VMT22 30/45 s Wetfix. Naopak u asfaltové směsi VMT22 30/45 došlo ke snížení lomové houževnatosti o 9 %. U všech asfaltových směsí došlo k navýšení přetvoření. Výrazný vliv zde bude mít maximální velikost použitého zrna kameniva v asfaltové směsi. Zároveň zkušební tělesa z těchto asfaltových směsí neměla až tak hladký povrch neboli zkušební tělesa vykazovala vyšší povrchovou nerovnost, což může také ovlivnit danou zkoušku. Horší povrchová nerovnost vznikla během hutnění zkušebních těles, kdy vznikly větší povrchové mezery, které měly během hutnění být vyplněny jemnější frakcí kameniva obaleného asfaltovým pojivem. Tuto skutečnost naznačuje obrázek 23. Kdy na pravé straně jsou zkušební tělesa s menšími nerovnostmi povrchu a na levé straně zkušební tělesa s vyšší povrchovou nerovností. Všechna zkušební tělesa na tomto obrázku splnila danou zkoušku z hlediska normového rozsahu vzniklé trhliny. Jako první jsou zde zobrazena zkušební tělesa asfaltové směsi VMT22 PMB 25/55-60, kdy zkušební těleso s hladším povrchem dosáhlo maximální síly 7,29 kN a zkušební těleso s poměrně výraznou hloubkovou nerovností mělo maximální sílu 2,92 kN. V tomto případě bylo zkušební těleso o síle 2,92 kN vyřazeno z průměrného výsledku, jelikož již vizuálním pohledem bylo poznat, že toto zkušební těleso se poruší při velmi malé síle. Pod těmito zkušebními tělesy jsou zobrazena zkušební tělesa asfaltové směsi VMT22 30/45 + 0,2 % Wetfix, kdy zkušební těleso s hladším povrchem dosáhlo maximální síly 7,35 kN a zkušební těleso s vyšší hloubkovou nerovností („hrubším povrchem“) mělo menší maximální sílu 5,47 kN. Podobně tomu bylo i u poslední zobrazené asfaltové směsi, kdy zkušební těleso asfaltové směsi VMT22 30/45 s hladším povrchem mělo maximální sílu 8,09 kN a zkušební těleso s vyšší hloubkovou nerovností mělo maximální sílu 6,10 kN. Na obrázku 24 jsou zobrazena špatně porušená zkušební tělesa. Kdy šlo převážně o porušení na okraji zkušebního tělesa, což může nastat tehdy, kdy spodní hrana zkušebního tělesa není seříznutá do roviny. U prostředního zkušebního tělesa došlo z jedné strany ke správnému vzniku trhliny, ale na druhé straně došlo k vylomení kusu asfaltové směsi mimo naříznutou drážku.



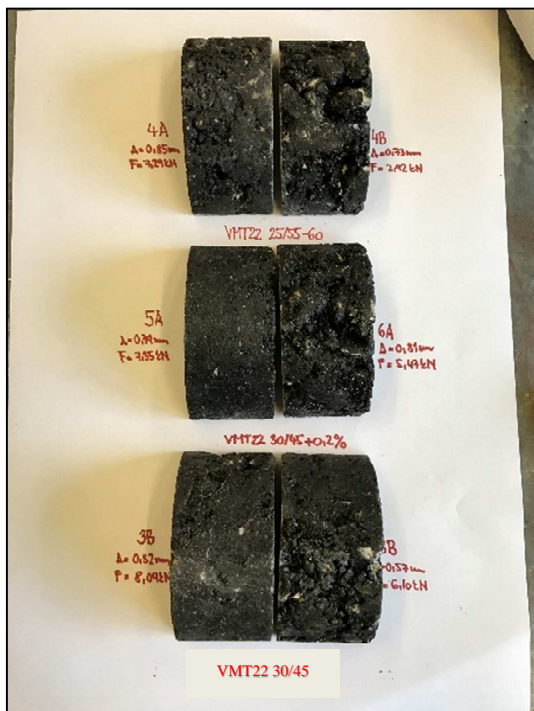
Graf 76 Lomová houževnatost zkušebních těles VMT22



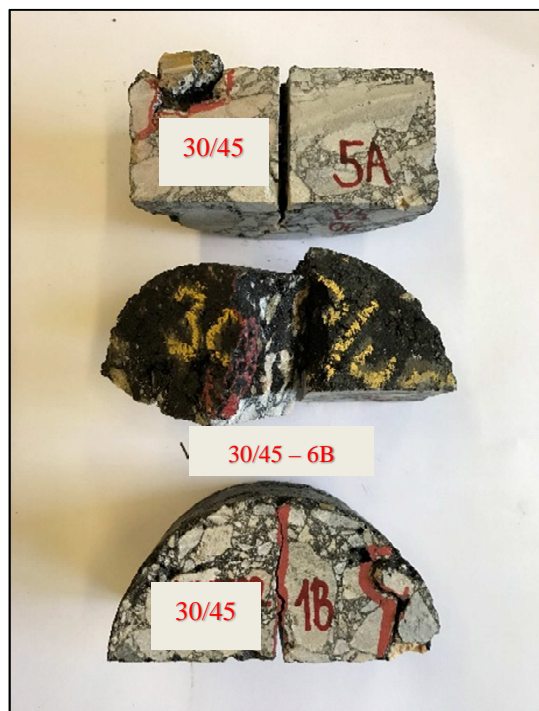
Graf 77 Napětí při porušení zkušebních těles VMT22



Graf 78 Index stárnutí lomové houževnatosti zkušebních těles VMT22

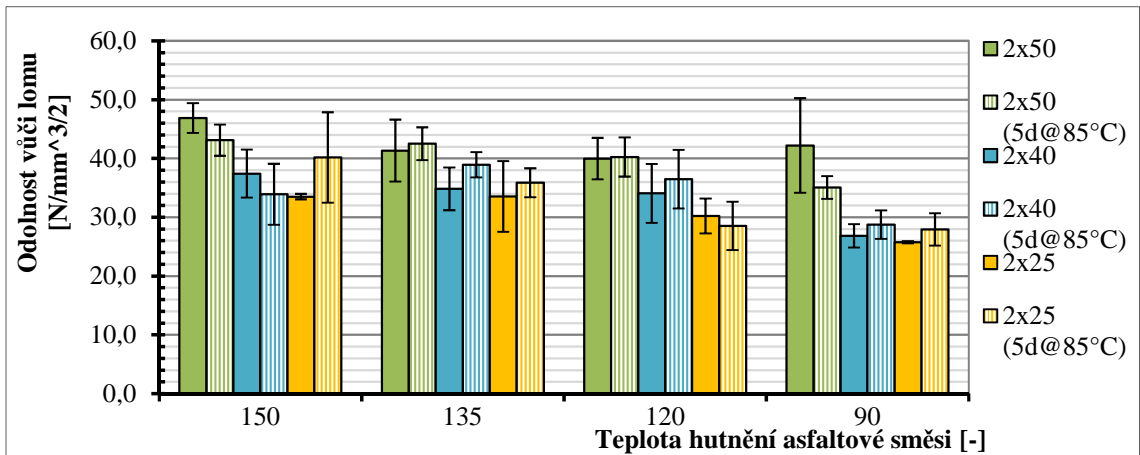


Obr. 23 Rozdíl povrchů a maximálních sil zkušebních těles VMT22

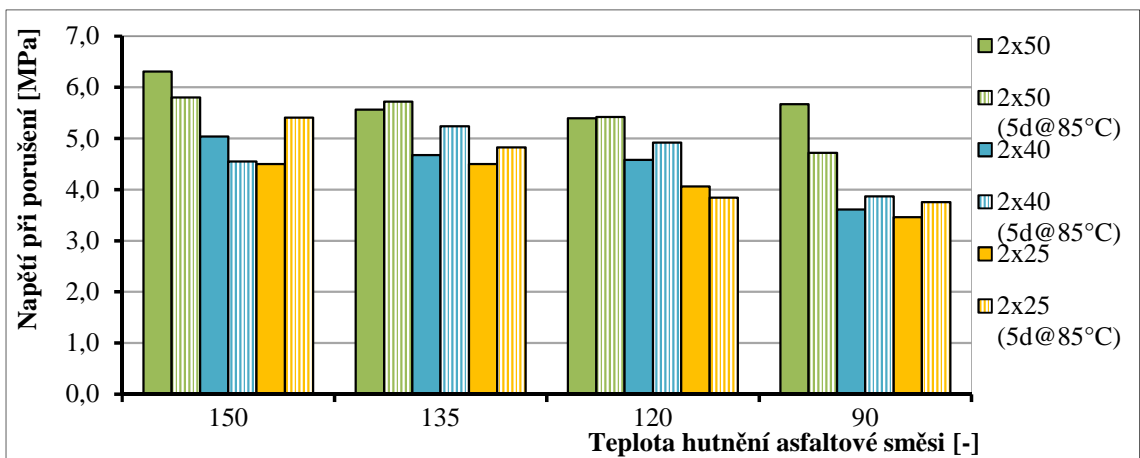


Obr.24 Zkušební těleso asfaltové směsi VMT22 špatně porušená

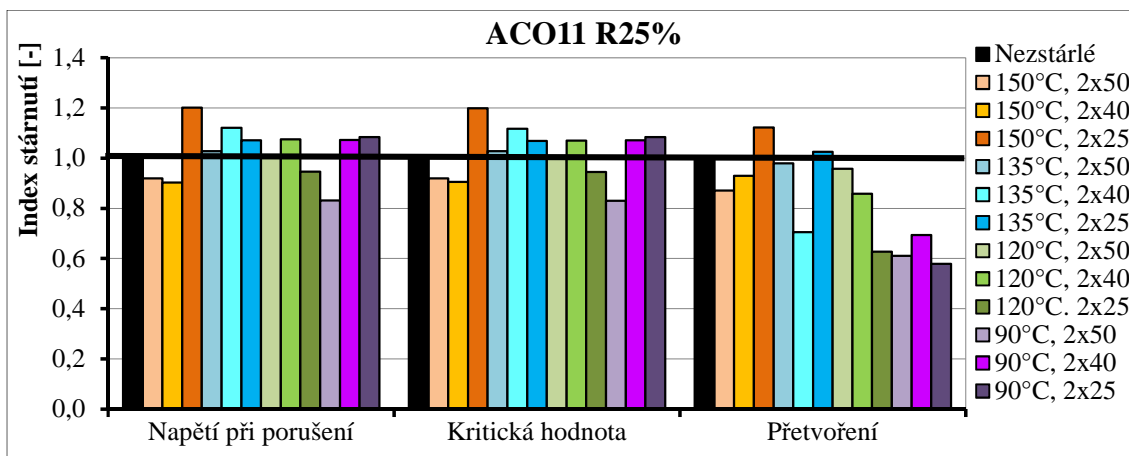
V grafech 79 a 80 je vyhodnocena lomová houževnatost a napětí při porušení u asfaltové směsi ACO11 R25%. V grafu 81 je vyhodnocen index stárnutí pro tuto asfaltovou směs. Zkušební tělesa u této směsi byla hutněna při čtyřech teplotách (150 °C, 135 °C, 120 °C, 90 °C). Pro každou teplotu hutnění byla asfaltová směs hutněna třemi hutními energiemi. Lomová houževnatost se po stárnutí snížila u zkušebních těles hutněných při teplotě 150 °C (2x50, 2x40), 120 °C (±2x50, 2x25) a 90 °C (2x50). Lomová houževnatost se snížila přibližně o 10 %. U ostatních vyráběných zkušebních těles došlo k navýšení lomové houževnatosti po procesu stárnutí o 3 až 20 %. V grafu 81 lze vypořadovat převážné navýšení lomové houževnatosti po procesu stárnutí ale naopak snížení přetvoření u převážné většiny zkušebních těles.



Graf 79 Lomová houževnatost zkušebních těles ACO11 R25%

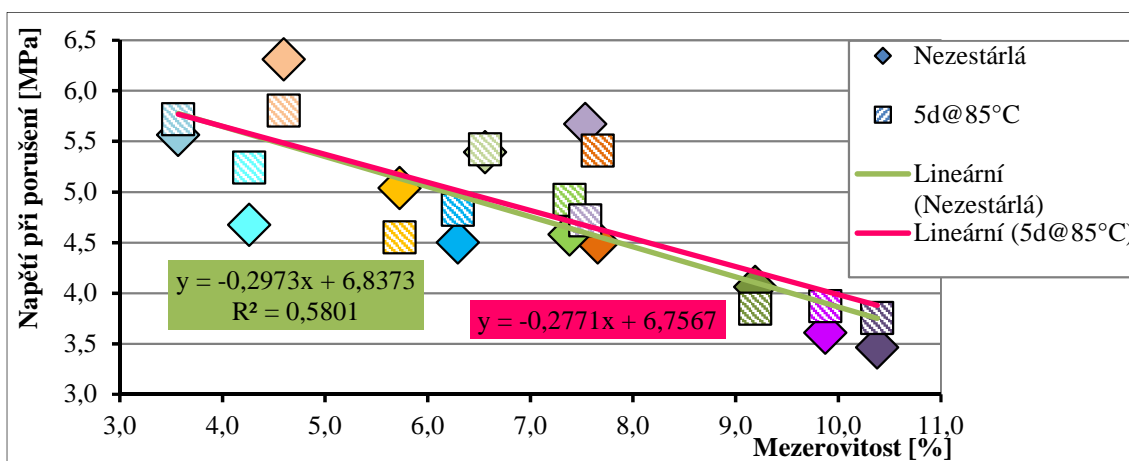


Graf 80 Napětí při porušení zkušebních těles ACO11 R25%

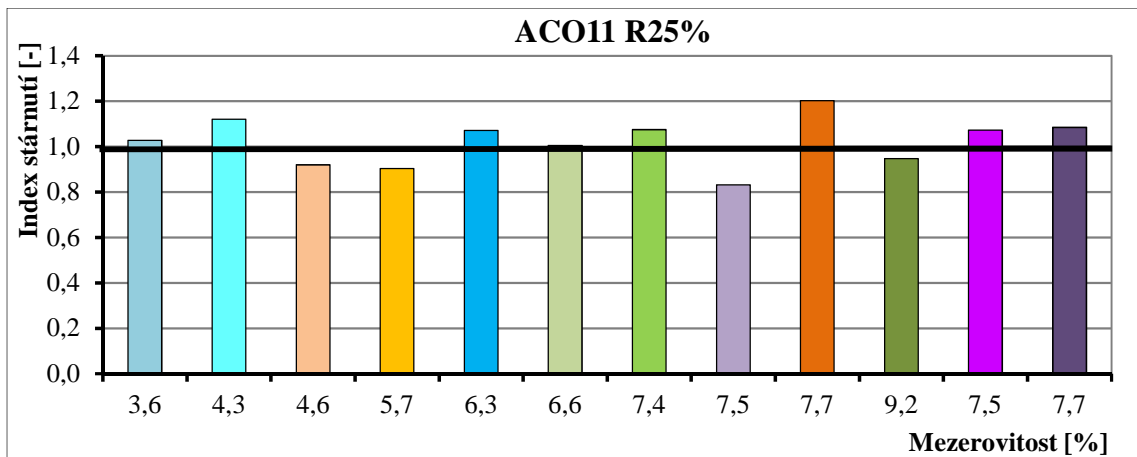


Graf 81 Index stárnutí lomové houževnatosti zkušebních těles ACO11 R25%

V grafu 82 je znázorněno napětí při porušení nezestárlých a zestárlých zkušebních těles v závislosti na mezerovitosti zkušebních těles. Lze opět říci, že napětí při porušení zkušebních těles se převážně snižuje s rostoucí mezerovitostí. Určitou roli také hraje teplota a energie hutnění zkušebních těles, které nejenom že ovlivnily mezerovitost ale také napětí při porušení zkušebních těles. V případě, že vynesené body propojíme lineární přímkou, tak vlivem stárnutí se vzniklá křivka více napřímila. Bylo by tedy možné konstatovat, že vlivem stárnutí byla zkušební tělesa schopna přenést větší napětí (sílu), než došlo k jejich porušení. V grafu 83 je znázorněna závislost indexu stárnutí lomové houževnatosti na rostoucí mezerovitost zkušebních těles. Na tomto grafu nelze jednoznačně určit závislost vlivu stárnutí na lomovou houževnatost z hlediska různé mezerovitosti zkušebních těles. Na obrázku 25 jsou vyfotografovány správně porušená zkušební tělesa.



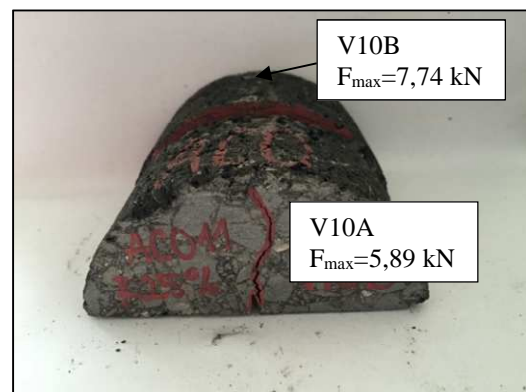
Graf 82 Napětí při porušení zkušebních těles v závislosti na vzrůstající mezerovitosti



Graf 83 Index stárnutí lomové houževnatosti v závislosti na mezerovitosti



Obr. 25 Porušená zkušební tělesa asfaltové směsi ACO11 R25%



Obr. 26 Rozdílná výška zkušebních těles ACO11 R25% vlivem jejich přípravy

Na obrázku 26 je vyfotografováno jedno zkušební těleso, z kterého po seříznutí vznikly dvě zkušební půlválcová tělesa. Na první pohled je znát, že zadní zkušební těleso V10B je vyšší nežli přední zkušební těleso V10A. Jelikož zkušební těleso dosáhla jiné maximální síly při vzniku první trhliny, dalo by se tedy předpokládat, že odlišná výška zkušebních těles ovlivnila výsledek dané zkoušky. Tato skutečnost se mi nedávno opět potvrdila, kdy jsem zkoušela sadu šesti půlválcových těles od jedné asfaltové směsi. Na těchto zkušebních těles bylo již z vizuálního pohledu poznat, že tři zkušební tělesa byla výrazně nižší než zbývající tři zkušební tělesa. Nižší zkušební tělesa měla maximální sílu kolem 5 kN a vyšší zkušební tělesa měla maximální sílu kolem 8 kN, což už je výrazný rozdíl. Na obrázku 27 je zkušební těleso 1B (zestárlé zkušební těleso hutněné při teplotě 150 °C hutnicí energií 2x50). Toto zkušební těleso nemělo hladkou spodní plochu po seříznutí. V levém horním rohu byl výstupek, který ovlivnil průběh zkoušky. Přesto že na zkušebním tělese byly nalepeny plíšky, tak zkušební těleso nebylo zatěžováno na rovnou spodní plochu, proto daný výstupek způsobil vznik další trhliny mimo normovou trhlínu. Výsledek byl vyhodnocen jako neplatný, protože během probíhající zkoušky došlo k vytvoření trhliny i na jiném místě, než je stanoveno normou ČSN EN 12697-44. Z některých obrázku zde uvedených vyplývá, že je důležité zkušební těleso před danou zkouškou řádně připravit. Dále je uveden obrázek 28, kdy výsledek zkoušky byl vyhodnocen

jako neplatný. Tento obrázek je zde uveden pro zajímavost možného porušení zkušebního tělesa a týká se asfaltové směsi ACP16+ R60%, u které byla zkouška odolnosti vůči vzniku první trhliny odzkoušena pouze na zestárlých zkušebních tělesech. Tedy vyhodnocení asfaltové směsi, zde nebylo provedeno.



Obr. 27 Špatný vznik trhliny na zkušebním tělese ACO11 R25% - 1B



Obr. 28 Špatně porušené zkušební těleso ACP16+ R60% - 10B

7 ZÁVĚR

Proces stárnutí byl aplikován přibližně na deseti různých asfaltových směsích. Na všech uvedených asfaltových směsích byl aplikován teplotní proces stárnutí, který zahrnoval stárnutí zkušebních těles po dobu 5 dnů ve vyhřevné komoře při teplotě 85 °C. U některých asfaltových směsí bylo dále aplikováno buď delší teplotní stárnutí ve vyhřevné komoře, a to po dobu 9, 10 a 15 dnů nebo proces tlakového stárnutí (metoda PAV). Vliv stárnutí zjišťovaný na zkušebních tělesech pro jednotlivé asfaltové směsi byl vyhodnocen na změně mezerovitosti zkušebních těles, dále změně tuhosti a odolnosti vůči šíření trhliny. Změna, která nastala vlivem procesu stárnutí, byla vyhodnocena pomocí indexu stárnutí.

Jak již bylo zmíněno výše, mezerovitost zkušebních těles vlivem teplotního stárnutí byla snížena přibližně o 0,1 až 0,3 %. Také zde bylo uvedeno, že vyhodnocení této zkoušky není zcela přesné. Jelikož, pro zjištění mezerovitosti zkušebních těles je potřeba znát objemové hmotnosti nasycených zkušebních těles. Pokud bude např. zjišťovaná objemová hmotnost nasyceného tělesa dvakrát opakována na tom samém zkušebním tělese, tak se může stát, že objemové hmotnosti se budou lišit z těchto dvou nezávislých měření. Tato skutečnost je velmi pravděpodobná, protože pro získání objemové hmotnosti je zapotřebí hmotnost nasyceného osušeného zkušební tělesa. V takovém případě se nedá zaručit, aby pokaždé došlo k dokonalému osušení zkušební nasyceného tělesa, jako tomu bylo u prvního měření. Tedy, předpoklad že se mezerovitost zkušebních těles vlivem stárnutí sníží, by výsledné hodnoty potvrzovaly, ale zároveň při takto malých rozdílných procentech by se také dalo usuzovat na určitou odchylku, která by mohla nastat během dvou nezávislých měření toho samého zkušební tělesa. Naopak vlivem tlakového stárnutí došlo k podstatnému rozdílu mezerovitosti mezi nezestárlými a zestárlými zkušebními tělesy. Po procesu tlakového stárnutí došlo k navýšení mezerovitosti o 4 až 6 % (převážně došlo ke dvojnásobnému navýšení mezerovitosti). Během nárůstu tlaku a jeho snižování v tlakové nádobě byla zkušební tělesa vytemperována na teplotu 85 °C. Působící tlak mohl snadněji porušit měkká zkušební tělesa,

čemuž odpovídal i vzhled zkušebních těles po vyjmutí z tlakové nádoby, kdy zkušební tělesa byla vertikálně deformovaná („nafouknutá“). Vlivem tlaku došlo k navýšení mezerovitosti a vnitřnímu narušení zkušebních těles.

Tuhost se vlivem teplotního stárnutí navyšovala a vlivem tlakového stárnutí snižovala. Z hlediska teplotního stárnutí se po 5 dnech tuhost navýšila u všech asfaltových směsí v rozmezí 3 až 27 % při měřené teplotě 15 °C. Nárůst tuhosti vlivem teplotního stárnutí klesal se snižující se měřenou teplotou. S narůstajícím dobou stárnutí se tuhost převážně postupně zvyšovala. Nárůst tuhosti byl převážně vyšší s narůstající mezerovitostí. Zhodnotit, zda asfaltová směs s určitým typem asfaltového pojiva zestárla méně či více nelze jednoznačně určit. Již výše bylo uvedeno, že vliv procesu stárnutí závisí na mnoha parametrech jako mezerovitost asfaltové směsi, typ a obsah asfaltového pojiva, přilnavost asfaltového pojiva k použitému kamenivu, druh kameniva apod. Už jen z těchto hledisek by bylo nejsnazší se pokusit vybrat jednu jedinou asfaltovou směs, která by se vyrobila ve více variantách mezerovitosti, se dvěma typy asfaltového pojiva či dvěma odlišnými druhy kameniva a tím by se získala řada zkušebních těles, která by se snadněji mezi sebou porovnávala. Během procesu tlakového stárnutí došlo ke snížení tuhosti o 30 a 50 % při měřené teplotě 15 °C. Snížení tuhosti naznačovala již navýšená mezerovitost vlivem tlakového stárnutí. Index stárnutí, také vymezen jako pokles tuhosti vůči původní hodnotě, má tendenci se snižovat se vzrůstající teplotou. Čím je vyšší měřená teplota, tím je pokles tuhosti výraznější. Teplotní citlivost se vlivem teplotního stárnutí snižuje a s vlivem tlakového stárnutí zvyšuje.

Odolnost vůči vzniku trhliny byla vyhodnocena dle dosud platné normy ČSN EN 12697-44:2011 i dle nově revidované normy prEN 12697-44. V revidované normě prEN byla pozměněna rovnice pro výpočet lomové houževnatosti a potřebný geometrický faktor zkušebního tělesa pro výpočet lomové houževnatosti. Lomová houževnatost se vlivem revidované normy prEN snížila v průměru o 3 N/mm^{3/2}. U poloviny asfaltových směsí došlo ke snížení lomové houževnatosti a u zbylé části asfaltových směsí došlo k navýšení lomové houževnatosti. Lomová houževnatost se po teplotním stárnutí snížila v průměru o 10 % nebo se navýšila v průměru o 10 %. Přetvoření se s vlivem teplotního stárnutí snižovalo, kromě výkyvu u jedné asfaltové směsi. Lomová houževnatost se vlivem tlakového stárnutí snížila o 9 až 36 %. Přetvoření se vlivem tlakového stárnutí spíše navyšovalo. Zkušební tělesa vystavená vlivu teplotního stárnutí by měla vykazovat větší tuhost ale zároveň zvýšenou křehkost s ohledem k přítomnosti zestárnutého asfaltového pojiva. Předpoklad byl, že díky vlivu stárnutí se bude lomová houževnatost snižovat, což potvrdila polovina asfaltových směsí. Avšak zkušební tělesa by mohla přenést větší sílu, tím by se projevila vyšší tuhost získaná během procesu stárnutí, ale zároveň by měla přenést větší sílu při menší deformaci. Tím by se daly vysvětlit zbylé výsledky, kde došlo sice k navýšení lomové houževnatosti, avšak při menším přetvoření. Zkušební tělesa vystavená tlakovému stárnutí byla během tohoto procesu vnitřně porušena, což se projevilo i u této zkoušky. Vlivem tlakového stárnutí došlo oproti zkušebním tělesům vystaveným teplotnímu stárnutí k výraznějšímu poklesu lomové houževnatosti. U této zkoušky je důležitá příprava zkušebních těles (jejich správné seříznutí). V této diplomové práci jsou uvedené fotografie odzkoušených těles, kdy některá zkušební tělesa nebyla důkladně seříznuta, a to se poté projevilo při vzniku nesprávné trhliny. Hodnoty výsledků z této zkoušky jsou ovlivněny precizností přípravy půlválcových zkušebních těles, která není zrovna jednoduchá.

Proces teplotního stárnutí navýšil tuhost všech asfaltových směsí a přibližně u poloviny asfaltových směsí snížil lomovou houževnatost zkušebních těles. Naopak proces tlakového stárnutí výrazně navýšil mezerovitost zkušebních těles, dále snížil tuhosti a lomové houževnatosti těchto zkušebních těles. Jelikož nemáme žádné přímé porovnání s reálnou asfaltovou vrstvou, která je již nějakou dobu vystavena dlouhodobému procesu stárnutí, tak nelze říci k jakému stáří by se tyto dva procesy stárnutí daly přirovnat nebo zda je například proces tlakového stárnutí vhodný. Proces tlakového stárnutí v porovnání s teplotním stárnutím výrazněji ovlivnil asfaltová ztuhnutá zkušební tělesa. Těžko říci, zda je proces tlakového stárnutí nevhodný. Na asfaltovou vozovku působí během její životnosti mnoha činitelů, které ovlivňují její tuhost. Není proto jednoduché určit, zda proces stárnutí, který probíhá v asfaltové vozovce, lze přirovnat spíše k teplotnímu stárnutí nebo i k tlakovému stárnutí. Proces tlakového stárnutí a jeho hodnoty získané na zkušebních tělesech ztuhnuté asfaltové směsi by se nejspíše dal přirovnat k hodnotám, které by se získaly na porušené asfaltové vozovce. Např. metoda SATS zkoumala, jaký proces stárnutí by se dal přirovnat ke snížení tuhosti asfaltové vozovky, která nastala na určitém druhu komunikace. Tyto dva typy stárnutí jsou od sebe sice odlišné, ale mohou působit zároveň při stárnutí asfaltové vozovky. Z určitého hlediska by pravděpodobně bylo dobré vyrobit takový typ asfaltové směsi, u které by se dalo laboratorní stárnutí porovnat se stárnutím in-situ. Tím by se získal rozsáhlejší pohled na princip laboratorního stárnutí a jeho přirovnání k určitému stáří reálné asfaltové vozovky.

SEZNAMY A PŘÍLOHY

8.0 SEZNAMY

8.1 Seznam použité literatury

- [1] Kotoušová, Adriana: Bakalářská práce – *Vícenásobná recyklace u směsí racyklace za studena*, 2015.
- [2] Bell, C. A., AbWahab, Y., Cristi, M. E., and Sosnovske, D. SHRP-A-383: *Selection of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures*. Oregon state University Corvallis, March 1994. Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-383.pdf>
- [3] THESIS, M. Sc.: *Development of a laboratory ageing method for bitumen in porous asphalt*, 2010. Dostupné z: [http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:d998faa5-105d-46be-83c02442f78516c3/DEVELOPMENT_OF_A_LABORATORY_AGEING_METHOD_FOR BITUMEN IN POROUS ASPHALT.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:d998faa5-105d-46be-83c02442f78516c3/DEVELOPMENT_OF_A_LABORATORY_AGEING_METHOD_FOR_BITUMEN_IN_POROUS ASPHALT.pdf)
- [4] HAGOS, E. T.: *The Effect of Aging on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete*, 2008. Dostupné z: <http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:3bd5be8f-4850-4986-b9fa-2751db9cd642/datastream/OBJ/download>
- [5] Dr. Hofko Bernhard, Hospodka Markus, Eberhardsteiner Lukas, Prof. Dr. Blab Roland: *Aktuální poznatky k aspektům stárnutí asfaltových povliv a směsí*, Pozemní komunikace 2014.
- [6] Y. Richard Kim, Ph.D., Farhad Yousefi Rad, Shane Underwood, Ph.D. et. al. Project NCHRP 09-54: *Long-term aging of asphalt mixtures for performance testing and prediction*, 2013.
- [7] Mohd Khairul Idham, Mohd Rosli Hainin, Haryati Yaacob, M. Naquiuddin M Warid: *Effect of aging on resilient modulus of hot mix asphalt mixtures*, August 2013. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272614587_Effect_of_Aging_on_Resilient_Modulus_of_Hot_Mix_Aspphalt_Mixtures
- [8] Bell, Chris A. SHRP-A-305: *Aging of asphalt-aggregate systems*, 1989 Oregon state university. Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-305.pdf>
- [9] Bell, C. A., Wieder, Alan J., Fellin, Marco J., SHRP-A-390: *Laboratory aging of asphalt-aggregate mixtures: Field Validation*. Oregon state University Corvallis, April 1994. Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-390.pdf>
- [10] Young Kyu Choi: *Development of the saturation ageing tensile stiffness (SATS) test for high modulus base materials*, April 2005. Dostupné z: <https://www.nottingham.ac.uk/research/groups/ntec/documents/theses/choiyphdthesis.pdf>
- [11] Prithvi S. Kandhal, Sanjoy Chakraborty: *Effect of asphalt film thickness on short and long term aging of asphalt paving mixtures*, 1996: Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/242604510_Effect_of_Aspphalt_Film_Thickness_on_Short_and_Long-Term_Aging_of_Aspphalt_Paving_Mixtures
- [12] PrEN 12697-52:2013: *Bituminous mixtures – test methods – Part 52: Conditioning address oxidative ageing*. 2014 [Cit. 2015-4-15]

- [13] Sedláček, Bc. Jan: Diplomová práce – *Vliv technologické nekázně při provádění asfaltových vozovek na vybrané materiálové charakteristiky asfaltového betonu*, 2016.
- [14] ČSN EN 14769. *Asfalty a asfaltová pojiva – Urychlené dlouhodobé stárnutí v tlakové nádobě (PAV)*, březen 2006.
- [15] ČSN EN 12697-6+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa*. Úřad pro technickou normalizaci, listopad 2012.
- [16] ČSN EN 12697-5. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 4: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Úřad pro technickou normalizaci, červenec 2010.
- [17] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Český normalizační institut, květen 2004.
- [18] ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost*. Úřad pro technickou normalizaci, září 2012.
- [19] ČSN EN 12697-44. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese*. Úřad pro technickou normalizaci, březen 2011.

8.2 Seznam obrázků

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Obr. 1 Účinky působení látek obsažených ve vzduchu [5]..... | 12 - |
| Obr. 2 Teplotní ztráty vzhledem k poloze v tlakové nádobě | 31 - |
| Obr. 3 Nádobka pro tlakové stárnutí..... | 32 - |
| Obr. 4 Tlaková nádobka s využitím pomocného krytu | 33 - |
| Obr. 5 Obsah tlakové nádoby při využití metody standard SATS | 34 - |
| Obr. 6 Teplotní komora s nucenou cirkulací vzduchu („sušárna“)..... | 42 - |
| Obr. 7 Tlaková nádobka PAV..... | 42 - |
| Obr. 8 Nástavec pro osazení kovových misek..... | 43 - |
| Obr. 9 Zkušební tělesa obalená ocelovou sítí..... | 43 - |
| Obr. 10 Nezestárlá a zestárlá zkušební tělesa v PAV | 44 - |
| Obr. 11 Vážení ponořených a osušených zkušebních těles..... | 47 - |
| Obr. 12 Suchý a naplněný pyknometr s nástavcem..... | 48 - |
| Obr. 13 Odvzdušněná destilovaná voda..... | 48 - |
| Obr. 14 Rozdrobená asfaltová směs..... | 49 - |
| Obr. 15 Vakuová komora..... | 49 - |
| Obr. 16 Zkušební zařízení NAT..... | 50 - |
| Obr. 17 Kotoučová pilka..... | 51 - |
| Obr. 18 Půlválcové zkušební těleso a jeho rozměry | 52 - |
| Obr. 19 Nástavec a lis pro zkoušku šíření trhliny za ohybu..... | 52 - |
| Obr. 20 Oblast platného výsledku zkoušky šíření trhlin | 52 - |
| Obr. 21 Fotografie porušených půlválcových zkušebních těles asfaltové směsi ACP22S..... | 85 - |
| Obr. 22 Fotografie porušených zkušebních těles (ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB).... | 86 - |
| Obr. 23 Rozdíl povrchů a maximálních sil..... | 88 - |
| Obr. 24 Zkoušení tělesa asfaltové směsi VMT22 zkušebních těles VMT22 špatně porušená..... | 88 - |
| Obr. 25 Porušená zkušební tělesa asfaltové směsi ACO11 R25% | 91 - |
| Obr. 26 Rozdílná výška zkušebních těles ACO11 R25% vlivem jejich přípravy | 91 - |
| Obr. 27 Špatný vznik trhliny na zkušebním tělese ACO11 R25% - 1B | 92 - |
| Obr. 28 Špatně porušené zkušební těleso ACP16+ R60% - 10B..... | 92 - |

8.3 Seznam grafů

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Graf 1 Penetrace v závislosti na mezerovitosti u 5 let staré asfaltové vozovky [3] | 10 - |
| Graf 2 Index stárnutí modulu tuhosti u krátkodobého stárnutí volně ložené směsi dle SHRP A-383 ... | 19 - |
| Graf 3 Index stárnutí modulu tuhosti u krátkodobého stárnutí s vlivem prodloužené doby míchání dle SHRP A-383 | 19 - |
| Graf 4 Index stárnutí modulu tuhosti u dlouhodobého stárnutí v teplotní komoře + stabilizace | 20 - |
| Graf 5 Index stárnutí modulu tuhosti u stárnutí pomocí tlakové oxidace | 20 - |
| Graf 6 Porovnání indexu stárnutí modulu tuhosti z hlediska rozdílného působení tlaku | 21 - |
| Graf 7 Index stárnutí modulu tuhosti u dlouhodobého stárnutí v triaxiální komoře při teplotě 25 °C ... | 21 - |
| Graf 8 Index stárnutí modulu tuhosti u dlouhodobého stárnutí v triaxiální komoře při teplotě 60 °C ... | 21 - |
| Graf 9 Porovnání vlivu stárnutí na modulu tuhosti mezi laboratorními a in-situ zkušebními tělesy | 23 - |
| Graf 10 Porovnání vlivu stárnutí na modulu tuhosti mezi laboratorními a in-situ zkušebními tělesy ... | 23 - |
| Graf 11 Nárůst tuhosti vyjádřený indexovou charakteristikou po různých režimech stárnutí | 26 - |
| Graf 12 Modul tuhosti při teplotě 25 °C a 40 °C | 27 - |
| Graf 13 Nárůst modulu tuhosti po simulaci stárnutí | 27 - |
| Graf 14 Modul tuhosti testování při teplotě 20 °C | 30 - |
| Graf 15 Nárůst modulu tuhosti testování při teplotě 20 °C | 30 - |
| Graf 16 Metoda SATS – nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C | 31 - |
| Graf 17 Dry HIPAT – nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C | 32 - |
| Graf 18 Závislost zachované tuhosti a zachované saturace | 32 - |
| Graf 19 Vliv využití ochranného krytu na nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C | 33 - |
| Graf 20 Nárůst modulu tuhosti při teplotě 20 °C při využití metody standard SATS | 34 - |
| Graf 21 Nárůst modulu tuhosti při snížené teplotě odtlakování | 35 - |
| Graf 22 Vliv teploty odtakování na nárůst modulu tuhosti měřeného při teplotě 20 °C | 36 - |
| Graf 23 Modul tuhosti v závislosti na tloušťce asfaltového filmu měřený při teplotě 25 °C | 37 - |
| Graf 24 Nárůst modulu tuhosti po dlouhodobém stárnutí [11] | 37 - |
| Graf 25 Nárůst výšek zkušebních těles po procesu stárnutí v tlakové nádobě | 44 - |
| Graf 26 Změna mezerovitosti vlivem procesu stárnutí | 56 - |
| Graf 27 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S PMB (Třebenice) | 58 - |
| Graf 28 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11S PMB (Třebenice) | 58 - |
| Graf 29 Modul tuhosti asfaltové směsi ACP22S PMB | 59 - |
| Graf 30 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACP22S PMB | 59 - |
| Graf 31 Modul tuhosti asfaltové směsi ACL16 50/70 | 60 - |
| Graf 32 Modul tuhosti pro jednotlivé varianty asfaltové směsi ACL16 50/70 | 61 - |
| Graf 33 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACL16 50/70 | 61 - |
| Graf 34 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S _{HiMA} PMB | 62 - |
| Graf 35 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11S PMB | 62 - |
| Graf 36 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S 50/70 | 63 - |
| Graf 37 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11S 50/70 | 64 - |
| Graf 38 Modul tuhosti asfaltové směsi SMA11S PMB | 64 - |
| Graf 39 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi SMA11S PMB | 65 - |
| Graf 40 Modul tuhosti asfaltových směsí VMT22 | 66 - |
| Graf 41 Index stárnutí tuhosti asfaltových směsí VMT22 | 66 - |
| Graf 42 Mezerovitost zkušebních těles ACO11 R25% | 68 - |
| Graf 43 Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11 R25% | 68 - |
| Graf 44 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11 R25% - 2x50 | 69 - |
| Graf 45 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11 R25% - 2x40 | 69 - |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Graf 46 Modul tuhosti zkušenných těles ACO11 R25% - 2x25 | - 69 - |
| Graf 47 Modul tuhosti zkušenných těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 150 °C | - 70 - |
| Graf 48 Modul tuhosti zkušenných těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 135 °C | - 70 - |
| Graf 49 Modul tuhosti zkušenných těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 120 °C | - 71 - |
| Graf 50 Modul tuhosti zkušenných těles ACO11 R25% hutněných při teplotě 90 °C | - 71 - |
| Graf 51 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACO11 R25% | - 72 - |
| Graf 52 Mezerovitost zkušenných těles ACP16+ R60% | - 73 - |
| Graf 53 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% | - 74 - |
| Graf 54 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% - 2x50 | - 74 - |
| Graf 55 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% - 2x40 | - 75 - |
| Graf 56 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% - 2x25 | - 75 - |
| Graf 57 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 150 °C | - 76 - |
| Graf 58 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 135 °C | - 76 - |
| Graf 59 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 120 °C | - 76 - |
| Graf 60 Modul tuhosti zkušenných těles ACP16+ R60% hutněných při teplotě 90 °C | - 77 - |
| Graf 61 Index stárnutí tuhosti asfaltové směsi ACP16+ R60% | - 77 - |
| Graf 62 Index stárnutí v závislosti na mezerovitosti a procesu stárnutí 5d@85°C | - 78 - |
| Graf 63 Index stárnutí v závislosti na typu asfaltového pojiva a procesu stárnutí 5d@85°C | - 79 - |
| Graf 64 Index stárnutí v závislosti na mezerovitosti a procesu stárnutí PAV@85°C | - 79 - |
| Graf 65 Teplotní citlivost pro asfaltovu směs ACO11 R25% | - 80 - |
| Graf 66 Teplotní citlivost pro asfaltovu směs ACP16+ R60% | - 81 - |
| Graf 67 Teplotní citlivost pro asfaltové směsi ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB (0 °C → 27 °C) | - 81 - |
| Graf 68 Teplotní citlivost pro asfaltové směsi VMT22, ACO11S _{Třeb.} PMB , ACP22S PMB (0 °C → 40 °C) | - 82 - |
| Graf 69 Rozdíl lomové houževnatosti mezi normou ČSN EN 12697-44 a prEN 12697-44 | - 83 - |
| Graf 70 Lomová houževnatost asfaltové směsi ACO11S PMB (Třeb.) a ACP22S PMB | - 84 - |
| Graf 71 Index stárnutí lomové houževnatosti asfaltové směsi ACO11S (Třeb.) | - 84 - |
| Graf 72 Index stárnutí lomové houževnatosti asfaltové směsi ACP22S PMB | - 84 - |
| Graf 73 Lomová houževnatost zkušenných těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB | - 85 - |
| Graf 74 Napětí při porušení zkušenných těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB | - 86 - |
| Graf 75 Index stárnutí lomové houževnatosti zkušenných těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB | - 86 - |
| Graf 76 Lomová houževnatost zkušenných těles VMT22 | - 87 - |
| Graf 77 Napětí při porušení zkušenných těles VMT22 | - 88 - |
| Graf 78 Index stárnutí lomové houževnatosti zkušenných těles VMT22 | - 88 - |
| Graf 79 Lomová houževnatost zkušenných těles ACO11 R25% | - 89 - |
| Graf 80 Napětí při porušení zkušenných těles ACO11 R25% | - 89 - |
| Graf 81 Index stárnutí lomové houževnatosti zkušenných těles ACO11 R25% | - 90 - |
| Graf 82 Napětí při porušení zkušenných těles v závislosti na vzrůstající mezerovitosti | - 90 - |
| Graf 83 Index stárnutí lomové houževnatosti v závislosti na mezerovitosti | - 91 - |

8.4 Seznam tabulek

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tab. 1 Metody stárnutí aplikované na zhutněných asfaltových směsích [6] | - 14 - |
| Tab. 2 Metody stárnutí aplikované na volně ložené asfaltové směsi [6] | - 14 - |
| Tab. 3 Metody stárnutí využité ve studii SHRP A-383 | - 17 - |
| Tab. 4 Základní údaje o vybraných lokalitách pozemních komunikací ve státě Washington | - 22 - |

| | | |
|---------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| Tab. 5 | Základní informace o ověřovaných asfaltových směších | - 27 - |
| Tab. 6 | Základní údaje o asfaltových směsích [13] | - 39 - |
| Tab. 7 | Základní údaje o asfaltových směsích | - 40 - |
| Tab. 8 | Simulace stárnutí asfaltových směsích | - 41 - |
| Tab. 9 | Výšky zkušebních těles před a po procesu stárnutí v PAV | - 44 - |
| Tab. 10 | Typy zkoušek před a po procesu stárnutí na zkušebních tělesech | - 45 - |
| Tab. 11 | Typy zkoušek před a po procesu stárnutí na zkušebních tělesech | - 46 - |
| Tab. 12 | Změna mezerovitosti vlivem procesu stárnutí | - 56 - |
| Tab. 13 | Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S _{TR} eb. PMB | - 57 - |
| Tab. 14 | Modul tuhosti asfaltové směsi ACP22S PMB | - 58 - |
| Tab. 15 | Modul tuhosti asfaltové směsi ACL16 50/70 | - 60 - |
| Tab. 16 | Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S _{HiMA} PMB | - 61 - |
| Tab. 17 | Modul tuhosti asfaltové směsi ACO11S 50/70 | - 63 - |
| Tab. 18 | Modul tuhosti asfaltové směsi SMA11S PMB | - 64 - |
| Tab. 19 | Modul tuhosti asfaltových směsích VMT22 | - 65 - |
| Tab. 20 | Modul tuhosti asfaltových směsích ACO11 R25% | - 67 - |
| Tab. 21 | Modul tuhosti asfaltové směsi ACP16+ R16% | - 72 - |

8.5 Seznam použitých zkratk

| | |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACO11S PMB | Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu vozovky s velikostí maximálního zrna 11 mm s asfaltovým pojivem PMB (polymerem modifikovaný asfalt) a se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací. |
| ACP22S PMB | Asfaltový beton pro podkladní vrstvu s velikostí maximálního zrna 22 mm s asfaltovým pojivem PMB a se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací. |
| ACL16 50/70 | Asfaltový beton pro ložní vrstvu s velikostí maximálního zrna 16 mm se silničním asfaltovým pojivem 50/70. |
| ACO11S 50/70 | Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu vozovky s velikostí maximálního zrna 11 mm se silničním asfaltovým pojivem 50/70. |
| SMA11S PMB | Asfaltový koberec mastixový s velikostí maximálního zrna 11 mm s asfaltovým pojivem PMB (polymerem modifikovaný asfalt). |
| VMT22 PMB | Asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti, s velikostí maximálního zrna 22 mm s asfaltovým pojivem PMB (polymerem modifikovaný asfalt). |
| VMT22 30/45 | Asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti, s velikostí maximálního zrna 22 mm se silničním asfaltovým pojivem 30/45. |
| VMT22 30/45 +0,2% Wetfix | Asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti, s velikostí maximálního zrna 22 mm se silničním asfaltovým pojivem 30/45 s přísadou Wetfix, která zlepšuje přilnavost. |
| ACO11 R25% | Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu vozovky s velikostí maximálního zrna 11 mm, asfaltová směs obsahuje 25 % R-materiálu. |
| ACP16+ R60% | Asfaltový beton pro podkladní vrstvu s velikostí maximálního zrna 16 mm („+“ asfaltová směs nahrazující kvalitativní třídu směsí I dle ČSN 73 6121-1), asfaltová směs obsahuje 60 % R-materiálu. |

5d@85°C (9d, 10d, 15d) Stárnutí zkušebních těles po dobu 5 dnů v teplotní komoře při teplotě 85 °C (popř. stárnutí po dobu 9 dnů, 10 dnů nebo 15 dnů).

PAV@85°C Stárnutí zkušebních těles v tlakové nádobě po dobu 20 hodin při teplotě 85 °C.

9.0 PŘÍLOHY

9.1 Příloha A

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tab. A1 Hmotnost a základní rozměry zkušebních těles ACO11S _{Tréb.} , ACP22S PMB, ACL16, VMT22... | - 102 - |
| Tab. A2 Hmotnost a základní rozměry zkušebních těles asfaltových směsí s R-materiálem (ACO11 25% R-mat. a ACP16+ 60% R-mat. [13])..... | - 103 - |
| Tab. A3 Hmotnost a základní rozměry zkušebních těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB | - 104 - |
| Tab. A4 Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles ACO11S _{Tréb.} PMB a ACP22S PMB..... | - 104 - |
| Tab. A5 Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles ACL16 a VMT22 | - 105 - |
| Tab. A6 Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles ACO11S, ACO11S 50/70 a SMA11S PMB- | 106 |

9.2 Příloha B

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tab. B1 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S _{Tréb.} PMB | - 107 - |
| Tab. B2 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S _{Tréb.} PMB | - 108 - |
| Tab. B3 Modul tuhosti zkušebních těles ACL16 (varianta I, V, VI, VII)..... | - 109 - |
| Tab. B4 Modul tuhosti zkušebních těles ACL16 (varianta V2_VI, V2_VII) | - 110 - |
| Tab. B5 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S PMB (HiMA)..... | - 111 - |
| Tab. B6 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S PMB (HiMA)..... | - 112 - |
| Tab. B7 Modul tuhosti zkušebních těles SMA11S PMB..... | - 112 - |
| Tab. B8 Modul tuhosti zkušebních těles SMA11S PMB..... | - 113 - |
| Tab. B9 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S 50/70 | - 114 - |
| Tab. B10 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S 50/70 | - 115 - |
| Tab. B11 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 PMB 10/40-65 | - 116 - |
| Tab. B12 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 30/45 | - 117 - |
| Tab. B13 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 PMB 25/55-60 | - 118 - |
| Tab. B14 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 30/45 + 0,2 % Wetfix..... | - 119 - |
| Tab. B15 Modul tuhosti nezestárých zkušebních těles ACO11 R25% a ACP16+ R60% | - 120 - |
| Tab. B16 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 150 °C..... | - 120 - |
| Tab. B17 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 135 °C..... | - 121 - |
| Tab. B18 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 120 °C..... | - 121 - |
| Tab. B19 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 120 °C..... | - 122 - |
| Tab. B20 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 90 °C..... | - 122 - |
| Tab. B21 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 150 °C..... | - 123 - |
| Tab. B22 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 135 °C..... | - 123 - |
| Tab. B23 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 135 °C..... | - 124 - |
| Tab. B24 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 120 °C..... | - 124 - |
| Tab. B25 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 90 °C..... | - 125 - |

9.3 Příloha C

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tab. C1 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11S PMB (HiMA) při teplotě 0 °C..... | - 126 - |
| Tab. C2 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11S 50/70 při teplotě 0 °C | - 127 - |
| Tab. C3 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa SMA11S PMB při teplotě 0 °C..... | - 128 - |
| Tab. C4 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11S _{Třeb.} PMB a ACP22S PMB při teplotě 0 °C..... | - 129 - |
| Tab. C5 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa VMT22 při teplotě 0 °C..... | - 130 - |
| Tab. C6 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa VMT22 při teplotě 0 °C..... | - 131 - |
| Tab. C7 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (150 °C) při teplotě 0 °C..... | - 131 - |
| Tab. C8 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (135 °C) při teplotě 0 °C..... | - 132 - |
| Tab. C9 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (120 °C) při teplotě 0 °C..... | - 133 - |
| Tab. C10 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (90 °C) při teplotě 0 °C..... | - 134 - |

PŘÍLOHA A

Tab. A1 Hmotnost a základní rozměry zkušebních těles ACO11S_{Třeb.} PMB, ACP22S PMB, ACL16, VMT22

| Zkušební tělesa asfaltové směsi | | Průměr | Výška | Hmotnost | Zkušební tělesa asfaltové směsi | | Průměr | Výška | Hmotnost |
|------------------------------------|------------|--------|-------|----------------|-------------------------------------|----------|--------|--------|----------------|
| | | d | h | m _s | | | d | h | m _s |
| | | [mm] | [mm] | [g] | | | [mm] | [mm] | [g] |
| ACO11S PMB (Tře.) | 1 | 101,8 | 63,7 | 1217,6 | ACL 16 V2_VI | V2_VI 1 | 102,0 | 63,9 | 1245,2 |
| | 2 | 101,7 | 65,4 | 1205,0 | | V2_VI 2 | 101,7 | 63,8 | 1242,1 |
| | 3 | 101,8 | 63,2 | 1207,1 | | V2_VI 3 | 101,6 | 64,3 | 1244,8 |
| | 4 | 101,7 | 63,9 | 1218,0 | ACL 16 V2_VII | V2_VII 1 | 101,9 | 61,8 | 1244,1 |
| | 5 | 103,1 | 61,1 | 1202,8 | | V2_VII 2 | 102,2 | 61,9 | 1242,6 |
| | 6 | 101,6 | 64,4 | 1229,7 | | V2_VII 3 | 101,9 | 62,2 | 1245,2 |
| | 7 | 101,7 | 64,1 | 1213,9 | | V2_VII 4 | 102,0 | 64,6 | 1297,7 |
| | 8 | 101,6 | 65,6 | 1253,3 | | V2_VII 5 | 103,0 | 63,1 | 1293,0 |
| | 9 | 102,2 | 62,3 | 1200,3 | | V2_VII 6 | 101,7 | 65,1 | 1300,1 |
| ACP22S PMB | 2 | 101,8 | 67,0 | 1234,9 | VMT22 10/40- 65 | 1 | 103,7 | 66,1 | 1260,3 |
| | 3 | 101,5 | 66,3 | 1237,1 | | 2 | 103,0 | 66,2 | 1262,0 |
| | 4 | 102,0 | 66,2 | 1239,6 | | 3 | 102,6 | 66,0 | 1258,7 |
| | 5 | 101,1 | 67,9 | 1240,4 | | 4 | 103,2 | 66,4 | 1240,3 |
| | 6 | 101,4 | 65,0 | 1236,0 | | 5 | 103,4 | 66,4 | 1258,9 |
| | 7 | 101,2 | 66,6 | 1235,8 | | 6 | 102,9 | 65,3 | 1241,1 |
| | 8 | 101,5 | 67,5 | 1232,8 | VMT22 30/45 | 1 | 102,1 | 63,3 | 1173,6 |
| | 9 | 101,4 | 65,0 | 1248,0 | | 2 | 101,7 | 65,1 | 1178,0 |
| | 10 | 101,6 | 59,1 | 1121,1 | | 3 | 101,5 | 62,9 | 1173,1 |
| | 11 | 101,9 | 64,9 | 1235,1 | | 4 | 101,8 | 64,0 | 1175,6 |
| | 12 | 101,4 | 67,4 | 1339,3 | | 5 | 101,7 | 65,2 | 1176,0 |
| | 13 | 102,6 | 62,5 | 1237,7 | | 6 | 102,3 | 63,9 | 1177,8 |
| | 14 | 101,4 | 66,2 | 1233,1 | VMT22 25/55- 60 | 1 | 101,9 | 63,0 | 1178,7 |
| | 15 | 101,6 | 64,9 | 1248,8 | | 2 | 101,9 | 63,6 | 1172,8 |
| | ACL16 I | VI-11 | 101,5 | 64,7 | | 1241,3 | 3 | 101,9 | 63,6 |
| VI-12 | | 101,6 | 65,3 | 1244,7 | 4 | 101,9 | 65,5 | 1177,1 | |
| VI-13 | | 101,6 | 64,8 | 1245,5 | 5 | 102,0 | 63,3 | 1178,1 | |
| ACL16 V | VV-11 | 103,0 | 61,7 | 1243,6 | 6 | 101,9 | 62,5 | 1176,4 | |
| | VV-12 | 101,5 | 63,7 | 1246,3 | VMT22 30/45 + 0,2 % Wetfix | 1 | 101,5 | 65,5 | 1255,2 |
| | VV-13 | 101,6 | 63,7 | 1247,2 | | 2 | 101,5 | 66,8 | 1272,9 |
| ACL16 VI | VVI-11 | 101,7 | 61,3 | 1245,1 | | 3 | 101,6 | 65,7 | 1257,5 |
| | VVI-12 | 102,0 | 60,5 | 1243,7 | | 4 | 101,6 | 65,9 | 1251,1 |
| | VVI-13 | 101,7 | 61,0 | 1245,3 | | 5 | 101,6 | 66,1 | 1255,1 |
| ACL16 VII | VVII-11 | 101,7 | 62,5 | 1247,2 | | 6 | 101,5 | 68,4 | 1255,2 |
| | VVII-12 | 102,0 | 61,5 | 1247,7 | | | | | |
| | VVII-13 | 102,9 | 60,3 | 1246,0 | | | | | |

Tab. A2 Hmotnost a základní rozměry zkušebních těles asfaltových směsí s R-materiálem (ACO11 25% R-mat. a ACP16+ 60% R-mat. [13])

| Zkušební tělesa ACO11 R25% | | Průměr | Výška | Hmotnost | Zkušební tělesa ACP16+ R60% | | Průměr | Výška | Hmotnost |
|-------------------------------|----|--------|-------|----------|--------------------------------|----|--------|-------|----------|
| | | d | h | ms | | | d | h | ms |
| | | [mm] | [mm] | [g] | | | [mm] | [mm] | [g] |
| 2x50 150 °C | 1 | 101,6 | 62,3 | 1256,9 | 2x50 150 °C | 1 | 101,6 | 62,6 | 1233,7 |
| | 3 | 101,8 | 62,8 | 1258,5 | | 2 | 101,6 | 64,0 | 1245,6 |
| | 5 | 101,7 | 63,0 | 1263,6 | | 4 | 101,6 | 63,0 | 1234,8 |
| 2x40 150 °C | 7 | 101,7 | 62,6 | 1250,7 | 2x40 150 °C | 7 | 101,6 | 64,4 | 1262,3 |
| | 8 | 101,4 | 63,4 | 1257,7 | | 8 | 102,2 | 63,4 | 1247,6 |
| | 10 | 101,6 | 63,5 | 1251,5 | | 10 | 101,8 | 64,2 | 1248,5 |
| 2x25 150 °C | 13 | 101,7 | 65,1 | 1266,7 | 2x25 150 °C | 13 | 101,6 | 66,9 | 1253,1 |
| | 14 | 101,2 | 67,5 | 1262,7 | | 14 | 101,7 | 72,1 | 1318,2 |
| | 16 | 102,3 | 63,6 | 1251,3 | | 16 | 101,6 | 67,0 | 1242,0 |
| 2x50 120 °C | 19 | 101,7 | 61,8 | 1220,3 | 2x50 120 °C | 19 | 101,7 | 65,7 | 1273,7 |
| | 20 | 101,6 | 62,8 | 1237,0 | | 20 | 101,6 | 63,1 | 1233,8 |
| | 22 | 101,6 | 60,7 | 1191,8 | | 22 | 101,6 | 62,4 | 1211,6 |
| 2x40 120 °C | 25 | 101,8 | 60,7 | 1180,8 | 2x40 120 °C | 25 | 101,7 | 64,5 | 1232,4 |
| | 26 | 101,6 | 62,7 | 1210,6 | | 26 | 101,6 | 64,4 | 1241,7 |
| | 28 | 101,9 | 64,3 | 1251,5 | | 28 | 101,6 | 62,9 | 1221,4 |
| 2x25 120 °C | 31 | 101,6 | 64,6 | 1221,4 | 2x25 120 °C | 31 | 101,6 | 62,2 | 1171,1 |
| | 32 | 101,6 | 66,7 | 1231,8 | | 32 | 101,7 | 64,9 | 1224,0 |
| | 34 | 102,3 | 65,6 | 1238,3 | | 34 | 101,7 | 65,7 | 1225,6 |
| 2x50 90 °C | 37 | 101,5 | 64,7 | 1252,8 | 2x50 90 °C | 37 | 101,6 | 63,1 | 1201,3 |
| | 38 | 101,6 | 65,1 | 1256,5 | | 38 | 101,6 | 64,7 | 1224,9 |
| | 40 | 101,7 | 65,5 | 1247,1 | | 40 | 101,6 | 64,8 | 1209,5 |
| 2x40 90 °C | 43 | 101,6 | 66,1 | 1241,9 | 2x40 90 °C | 43 | 101,6 | 65,6 | 1220,6 |
| | 44 | 101,8 | 64,7 | 1239,2 | | 44 | 101,7 | 63,3 | 1155,4 |
| | 46 | 101,7 | 70,0 | 1251,0 | | 46 | 101,6 | 64,6 | 1160,6 |
| 2x25 90 °C | 49 | 101,7 | 68,5 | 1254,6 | 2x25 90 °C | 49 | 101,6 | 66,0 | 1156,2 |
| | 50 | 101,8 | 68,2 | 1246,3 | | 50 | 101,6 | 63,0 | 1106,9 |
| | 52 | 101,6 | 68,0 | 1237,5 | | 52 | 101,6 | 63,2 | 1104,2 |
| 2x50 135 °C | 55 | 101,6 | 62,3 | 1252,8 | 2x50 135 °C | 55 | 101,6 | 64,3 | 1243,7 |
| | 56 | 101,6 | 62,1 | 1263,0 | | 56 | 101,7 | 66,1 | 1254,3 |
| | 58 | 101,7 | 62,1 | 1264,4 | | 58 | 101,6 | 65,0 | 1254,4 |
| 2x40 135 °C | 55 | 101,7 | 63,0 | 1264,4 | 2x40 135 °C | 61 | 101,6 | 66,3 | 1252,7 |
| | 56 | 101,6 | 62,8 | 1252,6 | | 62 | 101,7 | 67,0 | 1251,5 |
| | 58 | 101,7 | 62,0 | 1240,4 | | 64 | 101,6 | 65,9 | 1251,8 |
| 2x25 135 °C | 67 | 101,7 | 64,0 | 1247,9 | 2x25 135 °C | 67 | 102,2 | 67,4 | 1253,7 |
| | 68 | 101,6 | 64,2 | 1241,6 | | 68 | 101,6 | 67,9 | 1243,8 |
| | 70 | 101,6 | 63,8 | 1239,2 | | 70 | 101,7 | 64,6 | 1150,5 |

Tab. A3 Hmotnost a základní rozměry zkušebních těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70, SMA11S PMB

| Zkušební tělesa asfaltové směsi | | Průměr | Výška | Hmotnost | Zkušební tělesa asfaltové směsi | | Průměr | Výška | Hmotnost |
|------------------------------------|----|--------|-------|----------------|------------------------------------|----|--------|-------|----------------|
| | | d | h | m _s | | | d | h | m _s |
| | | [mm] | [mm] | [g] | | | [mm] | [mm] | [g] |
| ACO11S PMB | 1 | 101,5 | 65,8 | 1250,5 | ACO11S 50/70 | 1 | 101,6 | 65,0 | 1238,5 |
| | 2 | 101,6 | 65,4 | 1237,4 | | 2 | 101,5 | 65,5 | 1245,3 |
| | 3 | 101,8 | 65,2 | 1240,6 | | 3 | 102,2 | 64,5 | 1246,4 |
| | 4 | 103,0 | 63,9 | 1242,0 | | 4 | 101,6 | 65,0 | 1236,6 |
| | 5 | 101,7 | 66,1 | 1243,6 | | 5 | 101,7 | 64,5 | 1241,0 |
| | 6 | 101,6 | 65,8 | 1247,0 | | 6 | 103,1 | 64,1 | 1246,2 |
| | 7 | 101,7 | 65,4 | 1236,3 | | 7 | 101,7 | 65,1 | 1240,1 |
| | 8 | 102,1 | 65,2 | 1241,2 | | 8 | 101,7 | 65,3 | 1244,0 |
| | 9 | 101,8 | 66,7 | 1238,5 | | 9 | 103,1 | 64,0 | 1249,0 |
| | 10 | 101,7 | 66,0 | 1245,3 | | 10 | 101,7 | 65,6 | 1247,5 |
| | 11 | 101,7 | 66,2 | 1238,3 | | 11 | 101,9 | 65,0 | 1245,4 |
| | 12 | 102,2 | 65,6 | 1236,1 | | 12 | 101,7 | 64,9 | 1248,1 |
| | 13 | 102,0 | 65,8 | 1240,7 | | 13 | 101,7 | 66,1 | 1246,1 |
| | 14 | 101,7 | 66,6 | 1247,5 | | 14 | 102,0 | 64,6 | 1240,0 |
| | 15 | 101,6 | 66,5 | 1241,5 | | 15 | 101,7 | 65,0 | 1241,9 |
| | 16 | 103,9 | 66,4 | 1246,9 | | 16 | 101,9 | 64,9 | 1244,0 |
| SMA11S PMB | 1 | 101,6 | 66,5 | 1239,7 | SMA11S PMB | 9 | 101,6 | 67,1 | 1245,3 |
| | 2 | 101,4 | 66,6 | 1242,2 | | 10 | 101,5 | 67,4 | 1242,9 |
| | 3 | 101,7 | 67,0 | 1240,9 | | 11 | 101,9 | 68,4 | 1246,6 |
| | 4 | 101,7 | 67,3 | 1245,9 | | 12 | 101,8 | 65,7 | 1250,9 |
| | 5 | 101,7 | 67,4 | 1237,7 | | 13 | 101,6 | 67,3 | 1250,4 |
| | 6 | 101,7 | 67,4 | 1255,8 | | 14 | 101,6 | 67,5 | 1247,4 |
| | 7 | 101,6 | 66,9 | 1249,3 | | 15 | 101,4 | 66,8 | 1237,4 |
| | 8 | 101,7 | 66,9 | 1242,9 | | 16 | 103,0 | 65,6 | 1232,5 |

 Tab. A4 Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles ACO11S_{Třeb.} PMB a ACP22S PMB

| Zkušební tělesa z asfaltové směsi | | Hmotnost | | | Tepl. | Hustota vody | Objemová hmotnost | Maximální objem. hmot. | Mezerovitost | |
|--------------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|-------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|-----|
| | | m _s | m _m | m _v | T | r _w | r _{vz} | r _{max} | | |
| | | [g] | [g] | [g] | [°C] | [g.cm ⁻³] | [g.cm ⁻³] | [g.cm ⁻³] | [%] | |
| ACO11S PMB (Třeb.) | 1 | 1 217,6 | 709,2 | 1 219,1 | 16,9 | 0,9988 | 2,385 | 2,461 | 3,1 | 3,1 |
| | 2 | 1 205,0 | 690,8 | 1 208,8 | | | 2,323 | | 5,6 | |
| | 3 | 1 207,1 | 703,1 | 1 208,7 | | | 2,385 | | 3,1 | |
| | 4 | 1 218,0 | 710,7 | 1 220,3 | | | 2,387 | | 3,0 | |
| | 5 | 1 202,8 | 701,2 | 1 204,2 | | | 2,388 | | 2,9 | |
| | 6 | 1 229,7 | 715,6 | 1 230,9 | | | 2,384 | | 3,1 | |
| | 7 | 1 213,9 | 706,8 | 1 216,1 | | | 2,381 | | 3,2 | |
| | 8 | 1 253,3 | 731,5 | 1 255,3 | | | 2,390 | | 2,9 | |
| | 9 | 1 200,3 | 699,0 | 1 202,2 | | | 2,382 | | 3,2 | |
| ACP22S PMB | A | 1234,0 | 738,9 | 1246,7 | 18,6 | 0,9986 | 2,427 | 2,773 | 8,2 | 8,4 |
| | B | 1233,1 | 733,9 | 1248,6 | | | 2,392 | | 7,8 | |
| | C | 1231,3 | 733,2 | 1250,8 | | | 2,375 | | 9,3 | |

Tab. A5 Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles ACL16 a VMT22

| Zkušební tělesa z asfaltové směsi | | Hmotnost | | | Tepl. T | Hustota vody rw | Objemová hmotnost rvz | Maximální objem. hmot. r _{max} | Mezerovitost [%] | |
|--------------------------------------|----------|----------------|----------------|----------------|------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|------|
| | | m _s | m _m | m _v | | | | | | |
| | | [g] | [g] | [g] | [°C] | [g.cm ⁻³] | [g.cm ⁻³] | [g.cm ⁻³] | [%] | |
| ACL16 I | VI-11 | 1241,3 | 761,4 | 1255,1 | 22,3 | 0,9978 | 2,509 | 0,778 | 10,0 | 10,0 |
| | VI-12 | 1244,7 | 767,5 | 1260,3 | | | 2,520 | | 9,6 | |
| | VI-13 | 1245,5 | 760,7 | 1257,7 | | | 2,500 | | 10,3 | |
| ACL16 V | VV-11 | 1243,6 | 766,0 | 1255,2 | 21,0 | 0,9981 | 2,537 | 2,789 | 9,0 | 9,5 |
| | VV-12 | 1246,3 | 765,8 | 1259,0 | | | 2,522 | | 9,6 | |
| | VV-13 | 1247,2 | 765,4 | 1259,9 | | | 2,517 | | 9,7 | |
| ACL16 VI | VVI-11 | 1245,1 | 770,1 | 1249,7 | 21,0 | 0,9981 | 2,591 | 2,785 | 7,0 | 7,0 |
| | VVI-12 | 1243,7 | 767,3 | 1246,8 | | | 2,589 | | 7,0 | |
| | VVI-13 | 1245,3 | 769,8 | 1249,0 | | | 2,594 | | 6,9 | |
| ACL16 VII | VVII-11 | 1247,2 | 766,2 | 1251,0 | 21,0 | 0,9981 | 2,568 | 2,776 | 7,5 | 7,3 |
| | VVII-12 | 1247,7 | 768,6 | 1251,4 | | | 2,579 | | 7,1 | |
| | VVII-13 | 1246,0 | 767,6 | 1250,0 | | | 2,578 | | 7,1 | |
| ACL 16 V2_VI | V2_VI 1 | 1245,2 | 762,7 | 1253,8 | 24,3 | 0,9973 | 2,529 | 2,797 | 9,6 | 9,7 |
| | V2_VI 2 | 1242,1 | 762,1 | 1250,3 | | | 2,537 | | 9,3 | |
| | V2_VI 3 | 1244,8 | 762,4 | 1255,9 | | | 2,516 | | 10,1 | |
| ACL 16 V2_VII | V2_VII 1 | 1244,1 | 767,2 | 1252,2 | 25,7 | 0,9969 | 2,557 | 2,800 | 8,7 | 8,7 |
| | V2_VII 2 | 1242,6 | 764,9 | 1252,3 | | | 2,542 | | 9,2 | |
| | V2_VII 3 | 1245,2 | 767,7 | 1252,7 | | | 2,560 | | 8,6 | |
| | V2_VII 4 | 1297,7 | 801,0 | 1306,3 | 27,8 | 0,9964 | 2,559 | | 8,6 | |
| | V2_VII 5 | 1293,0 | 794,5 | 1298,6 | | | 2,556 | | 8,7 | |
| | V2_VII 6 | 1300,1 | 799,4 | 1305,9 | | | 2,557 | | 8,7 | |
| VMT22 PMB 10/40-65 | 1 | 1260,3 | 724,6 | 1265,4 | 22,5 | 0,9977 | 2,325 | 2,422 | 4,0 | 3,3 |
| | 2 | 1262,0 | 733,9 | 1268,9 | | | 2,354 | | 2,8 | |
| | 3 | 1258,7 | 732,2 | 1264,0 | | | 2,361 | | 2,5 | |
| | 4 | 1240,3 | 716,7 | 1249,3 | | | 2,323 | | 4,1 | |
| | 5 | 1258,9 | 726,4 | 1264,3 | | | 2,335 | | 3,6 | |
| | 6 | 1241,1 | 721,0 | 1246,4 | | | 2,357 | | 2,7 | |
| VMT22 30/45 | 1 | 1173,6 | 681,8 | 1180,5 | 15,0 | 0,9992 | 2,350 | 2,446 | 3,9 | 4,3 |
| | 2 | 1178,0 | 681,5 | 1188,5 | | | 2,322 | | 5,1 | |
| | 3 | 1173,1 | 681,3 | 1177,4 | | | 2,363 | | 3,4 | |
| | 4 | 1175,6 | 680,8 | 1181,9 | | | 2,344 | | 4,2 | |
| | 5 | 1176,0 | 681,1 | 1185,8 | | | 2,328 | | 4,8 | |
| | 6 | 1177,8 | 680,7 | 1184,3 | | | 2,337 | | 4,5 | |
| VMT22 PMB 25/55-60 | 1 | 1178,7 | 683,6 | 1184,1 | 15,0 | 0,9992 | 2,353 | 2,455 | 4,2 | 4,6 |
| | 2 | 1172,8 | 678,1 | 1179,5 | | | 2,337 | | 4,8 | |
| | 3 | 1180,6 | 684,0 | 1187,3 | | | 2,344 | | 4,5 | |
| | 4 | 1177,1 | 681,2 | 1188,3 | | | 2,318 | | 5,6 | |
| | 5 | 1178,1 | 682,8 | 1182,5 | | | 2,354 | | 4,1 | |
| | 6 | 1176,4 | 681,7 | 1182,0 | | | 2,349 | | 4,3 | |
| VMT22 30/45 + 0,2% Wetfix | 1 | 1255,2 | 737,1 | 1257,3 | 15,0 | 0,9992 | 2,410 | - | - | - |
| | 2 | 1272,9 | 745,6 | 1274,5 | | | 2,405 | | - | |
| | 3 | 1257,5 | 737,6 | 1259,4 | | | 2,408 | | - | |
| | 4 | 1251,1 | 733,7 | 1253,6 | | | 2,404 | | - | |
| | 5 | 1255,1 | 735,9 | 1257,7 | | | 2,403 | | - | |
| | 6 | 1255,2 | 733,7 | 1260,6 | | | 2,379 | | - | |

Tab. A6 Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles ACO11S PMB, ACO11S 50/70 a SMA11S PMB

| Zkušební tělesa z asfaltové směsi | | Hmotnost | | | Tepl. | Hustota vody | Objemová hmotnost | Maximální objem. hmot. | Mezerovitost | |
|--------------------------------------|----|----------------|----------------|----------------|-------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|-----|
| | | m _s | m _m | m _v | T | r _w | r _{vz} | r _{max} | | |
| | | [g] | [g] | [g] | [°C] | [g.cm ⁻³] | [g.cm ⁻³] | [g.cm ⁻³] | [%] | |
| ACO11S PMB | 1 | 1250,5 | 730,2 | 1253,6 | 22,5 | 0,9977 | 2,384 | 2,494 | 4,4 | 4,3 |
| | 2 | 1237,4 | 722,8 | 1240,4 | | | 2,385 | | 4,4 | |
| | 3 | 1240,6 | 725,9 | 1243,1 | | | 2,393 | | 4,0 | |
| | 4 | 1242,0 | 725,4 | 1244,3 | | | 2,388 | | 4,2 | |
| | 5 | 1243,6 | 724,2 | 1246,0 | | | 2,378 | | 4,7 | |
| | 6 | 1247,0 | 727,8 | 1249,5 | | | 2,385 | | 4,4 | |
| | 7 | 1236,3 | 722,4 | 1237,7 | | | 2,394 | | 4,0 | |
| | 8 | 1241,2 | 724,9 | 1245,1 | | | 2,381 | | 4,5 | |
| | 9 | 1238,5 | 717,9 | 1244,0 | 2,347 | 5,9 | 5,1 | | | |
| | 10 | 1245,3 | 727,3 | 1247,8 | 2,385 | 4,4 | | | | |
| | 11 | 1238,3 | 721,2 | 1242,0 | 2,370 | 5,0 | | | | |
| | 12 | 1236,1 | 719,2 | 1240,0 | 2,366 | 5,1 | | | | |
| | 13 | 1240,7 | 721,4 | 1244,2 | 2,366 | 5,1 | | | | |
| | 14 | 1247,5 | 725,0 | 1250,8 | 2,365 | 5,2 | | | | |
| | 15 | 1241,5 | 722,1 | 1244,7 | 2,368 | 5,0 | | | | |
| | 16 | 1246,9 | 726,1 | 1249,8 | 2,374 | 4,8 | | | | |
| ACO11S 50/70 | 1 | 1238,5 | 725,3 | 1240,5 | 25,6 | 0,9969 | 2,397 | 2,495 | 3,9 | 4,0 |
| | 2 | 1245,3 | 730,1 | 1247,7 | | | 2,399 | | 3,9 | |
| | 3 | 1246,4 | 731,3 | 1248,2 | | | 2,404 | | 3,7 | |
| | 4 | 1236,6 | 724,5 | 1238,6 | | | 2,398 | | 3,9 | |
| | 5 | 1241,0 | 728,5 | 1242,5 | | | 2,407 | | 3,5 | |
| | 6 | 1246,2 | 730,0 | 1249,9 | | | 2,390 | | 4,2 | |
| | 7 | 1240,1 | 725,5 | 1242,4 | | | 2,392 | | 4,1 | |
| | 8 | 1244,0 | 729,1 | 1246,7 | | | 2,396 | | 4,0 | |
| | 9 | 1249,0 | 729,5 | 1251,1 | | | 2,387 | | 4,3 | |
| | 10 | 1247,5 | 730,2 | 1249,3 | | | 2,396 | | 4,0 | |
| | 11 | 1245,4 | 730,3 | 1247,5 | | | 2,401 | | 3,8 | |
| | 12 | 1248,1 | 731,6 | 1250,0 | | | 2,400 | | 3,8 | |
| | 13 | 1246,1 | 725,0 | 1248,4 | | | 2,374 | | 4,8 | |
| | 14 | 1240,0 | 726,1 | 1242,0 | | | 2,396 | | 4,0 | |
| | 15 | 1241,9 | 728,4 | 1243,4 | | | 2,404 | | 3,6 | |
| | 16 | 1244,0 | 729,3 | 1246,4 | | | 2,398 | | 3,9 | |
| SMA11S PMB | 1 | 1239,7 | 717,4 | 1243,6 | 21,6 | 0,9979 | 2,351 | 2,460 | 4,4 | 4,4 |
| | 2 | 1242,2 | 719,8 | 1244,6 | | | 2,362 | | 4,0 | |
| | 3 | 1240,9 | 717,3 | 1243,8 | | | 2,352 | | 4,4 | |
| | 4 | 1245,9 | 719,9 | 1248,8 | | | 2,348 | | 4,5 | |
| | 5 | 1237,7 | 713,8 | 1240,7 | | | 2,342 | | 4,8 | |
| | 6 | 1255,8 | 725,8 | 1258,9 | | | 2,348 | | 4,5 | |
| | 7 | 1249,3 | 723,8 | 1251,4 | | | 2,361 | | 4,0 | |
| | 8 | 1242,9 | 719,0 | 1245,5 | | | 2,354 | | 4,3 | |
| | 9 | 1245,3 | 720,6 | 1248,3 | | | 2,353 | | 4,4 | |
| | 10 | 1242,9 | 718,5 | 1245,9 | | | 2,349 | | 4,5 | |
| | 11 | 1246,6 | 719,1 | 1253,7 | | | 2,325 | | 5,5 | |
| | 12 | 1250,9 | 732,5 | 1253,2 | | | 2,397 | | 2,5 | |
| | 13 | 1250,4 | 722,4 | 1253,2 | | | 2,351 | | 4,4 | |
| | 14 | 1247,4 | 720,9 | 1251,8 | | | 2,345 | | 4,7 | |
| | 15 | 1237,4 | 715,8 | 1239,8 | | | 2,357 | | 4,2 | |
| | 16 | 1232,5 | 712,1 | 1237,0 | | | 2,343 | | 4,7 | |

PŘÍLOHA B

Tab. B1 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S_{Třeb.} PMB

| ACO11S PMB (Třeb.) | | Modul tuhosti [MPa] | | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla |
|--------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|-------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | | [kPa] | [micron] | [kN] |
| 0 | 1 | 15739 | 15503 | 15621 | 15667 | 557,5 | 3,0 | 5,7 |
| | 2 | 14112 | 14095 | 14104 | | 508,8 | 3,0 | 5,3 |
| | 3 | 16104 | 16105 | 16105 | | 575,6 | 3,0 | 5,8 |
| | 4 | 16729 | 16156 | 16443 | | 596,7 | 3,0 | 6,1 |
| | 5 | 15930 | 15696 | 15813 | | 565,3 | 3,0 | 5,6 |
| | 6 | 15923 | 15913 | 15918 | | 576,8 | 3,0 | 6,0 |
| 15 | 1 | 6979 | 6731 | 6855 | 7572 | 370,9 | 5,1 | 3,8 |
| | 2 | 6534 | 6714 | 6624 | | 361,6 | 5,1 | 3,8 |
| | 3 | 7900 | 7614 | 7757 | | 419,8 | 5,0 | 4,3 |
| | 4 | 8114 | 7720 | 7917 | | 427,0 | 5,0 | 4,4 |
| | 5 | 8207 | 8005 | 8106 | | 428,3 | 5,0 | 4,3 |
| | 6 | 7352 | 6842 | 7097 | | 383,6 | 5,0 | 4,0 |
| | 7 | 8649 | 7986 | 8318 | | 448,8 | 5,0 | 4,6 |
| | 8 | 7189 | 7928 | 7559 | | 413,9 | 5,1 | 4,4 |
| | 9 | 7968 | 7864 | 7916 | | 424,6 | 5,0 | 4,3 |
| 27 | 1 | 2539 | 2699 | 2619 | 2874 | 124,7 | 5,0 | 1,3 |
| | 2 | 2358 | 2309 | 2334 | | 111,1 | 5,0 | 1,2 |
| | 3 | 2800 | 2657 | 2729 | | 132,3 | 5,1 | 1,4 |
| | 4 | 3140 | 3056 | 3098 | | 151,2 | 5,1 | 1,6 |
| | 5 | 3076 | 2859 | 2968 | | 141,8 | 5,0 | 1,4 |
| | 6 | 2809 | 3102 | 2956 | | 142,5 | 5,0 | 1,5 |
| 40 | 1 | 1131 | 1124 | 1128 | 1364 | 48,7 | 5,0 | 0,5 |
| | 2 | 1044 | 1064 | 1054 | | 45,6 | 5,0 | 0,5 |
| | 3 | 1450 | 1488 | 1469 | | 63,0 | 5,0 | 0,7 |
| | 4 | 1538 | 1413 | 1476 | | 64,1 | 5,0 | 0,7 |
| | 5 | 1432 | 1474 | 1453 | | 62,3 | 5,0 | 0,6 |
| | 6 | 1288 | 1300 | 1294 | | 56,6 | 5,0 | 0,6 |
| 0 5d@85°C | 4 | 18166 | 17343 | 17755 | 17599 | 632,2 | 3,0 | 6,5 |
| | 5 | 17248 | 18779 | 18014 | | 636,1 | 3,0 | 6,3 |
| | 6 | 16943 | 17113 | 17028 | | 613,1 | 3,0 | 6,3 |
| 15 5d@85°C | 4 | 9215 | 9239 | 9227 | 9093 | 486,7 | 4,9 | 5,0 |
| | 5 | 9434 | 9063 | 9249 | | 491,7 | 5,0 | 4,9 |
| | 6 | 8823 | 8786 | 8805 | | 475,2 | 5,0 | 4,9 |
| 27 5d@85°C | 4 | 4396 | 4050 | 4223 | 3896 | 204,4 | 5,1 | 2,1 |
| | 5 | 3701 | 3779 | 3740 | | 176,9 | 5,0 | 1,8 |
| | 6 | 3871 | 3581 | 3726 | | 179,2 | 5,0 | 1,9 |
| 40 5d@85°C | 4 | 1748 | 1700 | 1724 | 1687 | 74,9 | 5,0 | 0,8 |
| | 5 | 1716 | 1734 | 1725 | | 74,5 | 5,1 | 0,7 |
| | 6 | 1697 | 1529 | 1613 | | 71,4 | 5,1 | 0,8 |
| 0 PAV@85°C | 7 | 9737 | 10216 | 9977 | 10003 | 357,9 | 3,0 | 3,7 |
| | 8 | 9661 | 9634 | 9648 | | 349,6 | 3,0 | 3,7 |
| | 9 | 10438 | 10333 | 10386 | | 372,2 | 3,0 | 3,8 |
| 15 PAV@85°C | 7 | 2872 | 2989 | 2931 | 3045 | 156,9 | 5,0 | 1,7 |
| | 8 | 3239 | 3079 | 3159 | | 169,8 | 5,0 | 1,8 |
| | 9 | 3837 | 3640 | 3739 | | 197,4 | 5,0 | 2,0 |
| 27 PAV@85°C | 7 | 1070 | 1378 | 1224 | 1275 | 59,0 | 5,1 | 0,6 |
| | 8 | 1280 | 1179 | 1230 | | 59,2 | 5,0 | 0,6 |
| | 9 | 1365 | 1378 | 1372 | | 66,7 | 5,1 | 0,7 |
| 40 PAV@85°C | 7 | 400 | 325 | 363 | 374 | 16,6 | 5,2 | 0,2 |
| | 8 | 372 | 318 | 345 | | 15,7 | 5,2 | 0,2 |
| | 9 | 418 | 408 | 413 | | 18,4 | 5,2 | 0,2 |

Tab. B2 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S_{Treb.} PMB

| ACP22S PMB | | Modul tuhosti [MPa] | | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla |
|-------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|-------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | | [kPa] | [micron] | [kN] |
| 0 °C | 10 | 20417 | 18322 | 19370 | 19966 | 682,8 | 3,0 | 6,5 |
| | 14 | 22059 | 21438 | 21749 | | 786,5 | 3,1 | 8,3 |
| | 15 | 19874 | 17686 | 18780 | | 667,4 | 3,0 | 6,9 |
| 15 °C | 10 | 8308 | 8452 | 8380 | 8377 | 454,3 | 5,0 | 4,3 |
| | 14 | 8366 | 8431 | 8399 | | 459,3 | 5,1 | 4,9 |
| | 15 | 8861 | 7841 | 8351 | | 444,7 | 5,0 | 4,6 |
| 27 °C | 10 | 3593 | 3785 | 3689 | 3379 | 178,7 | 5,0 | 1,7 |
| | 14 | 3133 | 3273 | 3203 | | 151,7 | 5,0 | 1,6 |
| | 15 | 3091 | 3399 | 3245 | | 156,3 | 5,0 | 1,6 |
| 40 °C | 10 | 1152 | 1009 | 1081 | 1183 | 46,7 | 5,0 | 0,5 |
| | 14 | 1464 | 1328 | 1396 | | 62,8 | 5,2 | 0,7 |
| | 15 | 1289 | 1280 | 1285 | | 58,3 | 5,2 | 0,6 |
| 0 °C 5d@85°C | 3 | 20377 | 20142 | 20260 | 20253 | 753,8 | 3,1 | 8,1 |
| | 4 | 18685 | 21518 | 20102 | | 695,8 | 2,9 | 7,4 |
| | 5 | 20002 | 20793 | 20398 | | 732,4 | 3,0 | 7,8 |
| 15 °C 5d@85°C | 3 | 9591 | 9893 | 9742 | 10045 | 536,1 | 5,2 | 5,8 |
| | 4 | 9800 | 9013 | 9407 | | 506,8 | 5,0 | 5,4 |
| | 5 | 9607 | 12364 | 10986 | | 595,8 | 5,0 | 6,3 |
| 27 °C 5d@85°C | 3 | 3974 | 3387 | 3681 | 3777 | 177,6 | 5,1 | 1,9 |
| | 4 | 3801 | 3668 | 3735 | | 180,1 | 5,0 | 1,9 |
| | 5 | 3877 | 3954 | 3916 | | 191,2 | 5,1 | 2,0 |
| 40 °C 5d@85°C | 3 | 1725 | 1769 | 1747 | 1673 | 74,6 | 5,0 | 0,8 |
| | 4 | 1739 | 1758 | 1749 | | 76,0 | 5,0 | 0,8 |
| | 5 | 1646 | 1402 | 1524 | | 64,9 | 4,9 | 0,7 |
| 0 °C 9d@85°C | 11 | 20701 | 21190 | 20946 | 20369 | 753,6 | 3,0 | 7,9 |
| | 12 | 17759 | 18034 | 17897 | | 651,7 | 3,0 | 7,0 |
| | 13 | 21903 | 22629 | 22266 | | 788,2 | 3,0 | 8,0 |
| 15 °C 9d@85°C | 11 | 10331 | 10916 | 10624 | 10244 | 571,0 | 5,0 | 5,9 |
| | 12 | 9404 | 9403 | 9404 | | 509,2 | 5,0 | 5,5 |
| | 13 | 10137 | 11274 | 10706 | | 571,4 | 5,0 | 5,8 |
| 27 °C 9d@85°C | 11 | 5030 | 5196 | 5113 | 4797 | 246,5 | 5,1 | 2,6 |
| | 12 | 4550 | 4304 | 4427 | | 213,6 | 5,1 | 2,3 |
| | 13 | 4987 | 4714 | 4851 | | 232,3 | 5,1 | 2,4 |
| 40 °C 9d@85°C | 11 | 1869 | 1814 | 1842 | 1802 | 79,1 | 5,0 | 0,8 |
| | 12 | 1789 | 1788 | 1789 | | 78,7 | 5,1 | 0,9 |
| | 13 | 1950 | 1602 | 1776 | | 74,6 | 4,9 | 0,8 |
| 0 °C PAV@85°C | 6 | 14848 | 13788 | 14318 | 14120 | 517,7 | 3,1 | 5,3 |
| | 7 | 19670 | 18551 | 19111 | | 699,0 | 3,1 | 7,0 |
| | 8 | 14584 | 13261 | 13923 | | 507,2 | 3,0 | 5,3 |
| 15 °C PAV@85°C | 6 | 6454 | 6005 | 6230 | 5975 | 334,2 | 5,0 | 3,5 |
| | 7 | 5394 | 5465 | 5430 | | 294,6 | 5,0 | 3,1 |
| | 8 | 6389 | 6144 | 6267 | | 341,0 | 5,1 | 3,7 |
| 27 °C PAV@85°C | 6 | 2690 | 2420 | 2555 | 2440 | 124,6 | 5,1 | 1,3 |
| | 7 | 2297 | 2258 | 2278 | | 111,4 | 5,1 | 1,2 |
| | 8 | 2566 | 2410 | 2488 | | 121,0 | 5,1 | 1,3 |
| 40 °C PAV@85°C | 6 | 526 | 422 | 474 | 522 | 20,2 | 4,9 | 0,2 |
| | 7 | 554 | 584 | 569 | | 25,4 | 5,1 | 0,3 |
| | 8 | 705 | 629 | 667 | | 28,8 | 5,0 | 0,3 |

Tab. B3 Modul tuhosti zkušebních těles ACL16 (varianta I, V, VI, VII)

| Asfaltová směs | Teplota | Zkušební těleso | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------|------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-------|
| | [°C] | | 1. měření | 2. měření | Průměr | | | | [kPa] |
| ACL16 - I | 0 | VI - 11 | 15922 | 14000 | 14961 | 16123 | 538,8 | 3,0 | 5,6 |
| | | VI - 12 | 15925 | 17332 | 16629 | | 609,0 | 3,1 | 6,4 |
| | | VI - 13 | 15964 | 17592 | 16778 | | 616,6 | 3,0 | 6,4 |
| | 15 | VI - 11 | 6147 | 5924 | 6036 | 5789 | 326,0 | 5,0 | 3,4 |
| | | VI - 12 | 6162 | 5498 | 5830 | | 315,6 | 5,0 | 3,3 |
| | | VI - 13 | 5244 | 5759 | 5502 | | 293,7 | 5,0 | 3,0 |
| | 15 1.stárnutí | VI - 11 | 7932 | 7496 | 7714 | 6606 | 419,8 | 5,1 | 4,3 |
| | | VI - 12 | 6635 | 6800 | 6718 | | 364,2 | 5,0 | 3,8 |
| | | VI - 13 | 6393 | 6596 | 6495 | | 348,8 | 5,0 | 3,6 |
| | 15 2.stárnutí | VI - 11 | 8227 | 7976 | 8 102 | 7651 | 444,6 | 5,1 | 4,6 |
| | | VI - 12 | 6895 | 7304 | 7 100 | | 388,5 | 5,0 | 4,1 |
| | | VI - 13 | 7947 | 7555 | 7 751 | | 422,0 | 5,0 | 4,4 |
| ACL16 - V | 0 | VV - 11 | 16673 | 17238 | 16956 | 16795 | 597,4 | 3,0 | 6,0 |
| | | VV - 12 | 16674 | 17768 | 17221 | | 617,4 | 3,0 | 6,3 |
| | | VV - 13 | 17056 | 15360 | 16208 | | 585,7 | 3,0 | 6,0 |
| | 15 | VV - 11 | 6299 | 6554 | 6427 | 6207 | 345,5 | 5,1 | 3,5 |
| | | VV - 12 | 6127 | 6110 | 6119 | | 334,5 | 5,1 | 3,4 |
| | | VV - 13 | 6187 | 5964 | 6076 | | 330,0 | 5,1 | 3,4 |
| | 15 1.stárnutí | VV - 11 | 7433 | 7066 | 7250 | 7234 | 387,7 | 5,0 | 3,9 |
| | | VV - 12 | 7257 | 7414 | 7336 | | 397,5 | 5,0 | 4,1 |
| | | VV - 13 | 6643 | 7590 | 7117 | | 390,9 | 5,1 | 4,0 |
| | 15 2.stárnutí | VV - 11 | 9623 | 8991 | 9307 | 9071 | 495,0 | 5,0 | 5,0 |
| | | VV - 12 | 9559 | 9444 | 9502 | | 516,7 | 5,1 | 5,3 |
| | | VV - 13 | 8380 | 8426 | 8403 | | 458,9 | 5,1 | 4,7 |
| ACL16 - VI | 0 | VVI - 11 | 20470 | 21198 | 20834 | 21043 | 747,1 | 3,0 | 7,3 |
| | | VVI - 12 | 20368 | 20206 | 20287 | | 722,6 | 3,0 | 7,0 |
| | | VVI - 13 | 22035 | 21979 | 22007 | | 775,7 | 3,0 | 7,6 |
| | 15 | VVI - 11 | 7677 | 7407 | 7542 | 7240 | 401,0 | 5,1 | 4,0 |
| | | VVI - 12 | 7202 | 7110 | 7156 | | 389,0 | 5,1 | 3,9 |
| | | VVI - 13 | 7228 | 6818 | 7023 | | 383,9 | 5,1 | 3,9 |
| | 15 1.stárnutí | VVI - 11 | 8580 | 8015 | 8298 | 8346 | 447,0 | 5,0 | 4,4 |
| | | VVI - 12 | 8339 | 8465 | 8402 | | 455,4 | 5,1 | 4,4 |
| | | VVI - 13 | 8369 | 8306 | 8338 | | 454,4 | 5,1 | 4,4 |
| | 15 2.stárnutí | VVI - 11 | 10654 | 9736 | 10195 | 10100 | 548,9 | 5,0 | 5,4 |
| | | VVI - 12 | 10044 | 9633 | 9839 | | 535,0 | 5,0 | 5,3 |
| | | VVI - 13 | 10277 | 10256 | 10267 | | 562,8 | 5,1 | 5,5 |
| ACL16 - VII | 0 | VVII - 11 | 17101 | 18309 | 17705 | 17993 | 640,1 | 3,0 | 6,4 |
| | | VVII - 12 | 18072 | 18761 | 18417 | | 663,1 | 3,0 | 6,5 |
| | | VVII - 13 | 16929 | 18787 | 17858 | | 640,2 | 3,0 | 6,3 |
| | 15 | VVII - 11 | 6454 | 6389 | 6422 | 6446 | 345,3 | 5,0 | 3,4 |
| | | VVII - 12 | 6330 | 6163 | 6247 | | 336,5 | 5,0 | 3,4 |
| | | VVII - 13 | 6580 | 6758 | 6669 | | 358,9 | 5,1 | 3,5 |
| | 15 1.stárnutí | VVII - 11 | 7142 | 6532 | 6837 | 7024 | 367,7 | 5,0 | 3,7 |
| | | VVII - 12 | 6957 | 7008 | 6983 | | 376,5 | 5,0 | 3,7 |
| | | VVII - 13 | 7372 | 7135 | 7254 | | 385,8 | 5,0 | 3,8 |
| | 15 2.stárnutí | VVII - 11 | 8184 | 7993 | 8089 | 8142 | 436,0 | 5,0 | 4,4 |
| | | VVII - 12 | 7669 | 8189 | 7929 | | 422,8 | 5,0 | 4,2 |
| | | VVII - 13 | 8487 | 8329 | 8408 | | 448,9 | 5,0 | 4,4 |

Tab. B4 Modul tuhosti zkušebních těles ACL16 (varianta V2_VI, V2_VII)

| Asfaltová směs | Teplota | Zkušební těleso | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------|------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| | [°C] | | 1. měření | 2. měření | Průměr | | | | |
| ACL16 V2_VI | 0 | V2_VI 1 | 17255 | 17187 | 17221 | 17060 | 610,6 | 3,0 | 6,3 |
| | | V2_VI 2 | 17173 | 16050 | 16612 | | 598,2 | 3,0 | 6,1 |
| | | V2_VI 3 | 17747 | 16949 | 17348 | | 621,9 | 3,0 | 6,4 |
| | 15 | V2_VI 1 | 5563 | 5414 | 5489 | 5520 | 296,0 | 5,1 | 3,1 |
| | | V2_VI 2 | 5436 | 5339 | 5388 | | 292,3 | 5,1 | 3,0 |
| | | V2_VI 3 | 5731 | 5636 | 5684 | | 305,1 | 5,0 | 3,2 |
| | 15 1.stárnutí | V2_VI 1 | 7037 | 6956 | 6997 | 7002 | 374,8 | 5,0 | 3,8 |
| | | V2_VI 2 | 7480 | 7279 | 7380 | | 402,1 | 5,1 | 4,1 |
| | | V2_VI 3 | 6686 | 6574 | 6630 | | 359,2 | 5,0 | 3,7 |
| | 15 2.stárnutí | V2_VI 1 | 8717 | 8433 | 8575 | 8374 | 463,4 | 5,0 | 4,7 |
| | | V2_VI 2 | 9297 | 8704 | 9001 | | 491,7 | 5,1 | 5,0 |
| | | V2_VI 3 | 7445 | 7650 | 7548 | | 408,3 | 5,0 | 4,2 |
| ACL16 V2_VII | 0 | V2_VII 1 | 19105 | 19788 | 19447 | 18294 | 685,9 | 3,0 | 6,8 |
| | | V2_VII 2 | 18010 | 18672 | 18341 | | 671,4 | 3,1 | 6,7 |
| | | V2_VII 3 | 18226 | 17208 | 17717 | | 635,7 | 3,0 | 6,3 |
| | | V2_VII 4 | 18094 | 17696 | 17895 | | 643,1 | 3,0 | 6,7 |
| | | V2_VII 5 | 18233 | 18602 | 18418 | | 659,2 | 3,1 | 6,7 |
| | | V2_VII 6 | 17541 | 18358 | 17950 | | 648,5 | 3,0 | 6,8 |
| | 15 | V2_VII 1 | 7348 | 7196 | 7272 | 6414 | 394,8 | 5,1 | 3,9 |
| | | V2_VII 2 | 6273 | 6677 | 6475 | | 344,9 | 5,0 | 3,5 |
| | | V2_VII 3 | 6254 | 6113 | 6184 | | 333,7 | 5,1 | 3,3 |
| | | V2_VII 4 | 6777 | 6370 | 6574 | | 354,7 | 5,1 | 3,7 |
| | | V2_VII 5 | 6327 | 6056 | 6192 | | 331,3 | 5,1 | 3,4 |
| | | V2_VII 6 | 6506 | 6786 | 6646 | | 359,6 | 5,0 | 3,8 |
| | 15 1.stárnutí | V2_VII 1 | 8383 | 8708 | 8546 | 7019 | 462,8 | 5,1 | 4,6 |
| | | V2_VII 2 | 7083 | 6816 | 6950 | | 375,2 | 5,0 | 3,8 |
| | | V2_VII 3 | 7261 | 7076 | 7169 | | 390,7 | 5,1 | 3,9 |
| | | V2_VII 4 | 6890 | 6909 | 6900 | | 374,7 | 5,0 | 3,9 |
| | | V2_VII 5 | 7009 | 6682 | 6846 | | 365,0 | 5,0 | 3,7 |
| | | V2_VII 6 | 7285 | 7180 | 7233 | | 393,3 | 5,0 | 4,1 |
| | 15 2.stárnutí | V2_VII 1 | 9919 | 10228 | 10074 | 8484 | 544,5 | 5,0 | 5,6 |
| | | V2_VII 2 | 7577 | 7864 | 7721 | | 415,4 | 5,0 | 4,2 |
| | | V2_VII 3 | 8803 | 8962 | 8883 | | 481,0 | 5,0 | 4,8 |
| | | V2_VII 4 | 8324 | 8741 | 8533 | | 462,5 | 5,0 | 4,8 |
| | | V2_VII 5 | 8750 | 8358 | 8554 | | 459,8 | 5,0 | 4,7 |
| | | V2_VII 6 | 8644 | 8815 | 8730 | | 473,6 | 5,0 | 5,0 |

Tab. B5 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S PMB (HiMA)

| ACO11S PMB (HiMA) | | Modul tuhosti [MPa] | | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla |
|-------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|-------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | | [kPa] | [micron] | [kN] |
| 0 | 3 | 20402 | 20282 | 20342 | 20372 | 728,5 | 3,0 | 7,6 |
| | 4 | 19319 | 18971 | 19145 | | 700,6 | 3,0 | 7,3 |
| | 15 | 21594 | 20642 | 21118 | | 762,4 | 3,0 | 8,1 |
| | 16 | 20780 | 20989 | 20885 | | 734,6 | 3,0 | 8,0 |
| 15 | 3 | 9725 | 9461 | 9593 | 9759 | 522,4 | 5,0 | 5,5 |
| | 4 | 9042 | 9297 | 9170 | | 479,6 | 4,9 | 5,0 |
| | 15 | 10547 | 10526 | 10537 | | 566,1 | 5,0 | 6,0 |
| | 16 | 9816 | 9659 | 9738 | | 513,2 | 5,0 | 5,6 |
| 27 | 3 | 3427 | 3312 | 3370 | 3497 | 162,0 | 5,0 | 1,7 |
| | 4 | 3303 | 3322 | 3313 | | 157,3 | 5,0 | 1,6 |
| | 15 | 3606 | 3803 | 3705 | | 179,3 | 5,0 | 1,9 |
| | 16 | 3662 | 3544 | 3603 | | 170,7 | 5,0 | 1,9 |
| 0 5d@85°C | 3 | 21801 | 21400 | 21601 | 22070 | 779,8 | 3,0 | 8,1 |
| | 4 | 22906 | 20911 | 21909 | | 781,3 | 3,0 | 8,1 |
| | 15 | 22804 | 22653 | 22729 | | 776,2 | 3,0 | 8,3 |
| | 16 | 21341 | 22743 | 22042 | | 781,4 | 3,0 | 8,5 |
| 15 5d@85°C | 3 | 11613 | 12112 | 11863 | 11843 | 643,2 | 5,1 | 6,7 |
| | 4 | 11175 | 10391 | 10783 | | 571,5 | 5,0 | 6,0 |
| | 15 | 13141 | 12742 | 12942 | | 700,7 | 5,0 | 7,5 |
| | 16 | 11591 | 11975 | 11783 | | 618,5 | 5,0 | 6,8 |
| 27 5d@85°C | 3 | 4400 | 4118 | 4259 | 4448 | 207,6 | 5,1 | 2,2 |
| | 4 | 4044 | 3729 | 3887 | | 184,8 | 5,0 | 1,9 |
| | 15 | 4881 | 4801 | 4841 | | 233,8 | 5,1 | 2,5 |
| | 16 | 4884 | 4726 | 4805 | | 226,7 | 5,0 | 2,5 |
| 0 | 2 | 20207 | 20231 | 20219 | 20846 | 720,2 | 3,0 | 7,5 |
| | 6 | 19731 | 20638 | 20185 | | 734,3 | 3,0 | 7,8 |
| | 11 | 20918 | 21811 | 21365 | | 778,8 | 3,0 | 8,3 |
| | 12 | 21768 | 21460 | 21614 | | 782,0 | 3,0 | 8,3 |
| 15 | 2 | 9018 | 8815 | 8917 | 9397 | 486,9 | 5,0 | 5,1 |
| | 6 | 8909 | 8820 | 8865 | | 479,6 | 5,0 | 5,1 |
| | 11 | 10209 | 9504 | 9857 | | 531,8 | 5,0 | 5,6 |
| | 12 | 10026 | 9878 | 9952 | | 528,1 | 5,0 | 5,6 |
| 27 | 2 | 3352 | 3449 | 3401 | 3550 | 165,4 | 5,1 | 1,7 |
| | 6 | 3574 | 3502 | 3538 | | 173,0 | 5,1 | 1,8 |
| | 11 | 3669 | 3500 | 3585 | | 171,1 | 5,0 | 1,9 |
| | 12 | 3708 | 3643 | 3676 | | 176,9 | 5,1 | 1,9 |
| 0 10d@85°C | 2 | 20536 | 22099 | 21318 | 21672 | 783,8 | 3,0 | 8,2 |
| | 6 | 21246 | 21364 | 21305 | | 760,4 | 3,0 | 8,0 |
| | 11 | 21453 | 21166 | 21310 | | 768,5 | 3,0 | 8,2 |
| | 12 | 22857 | 22654 | 22756 | | 808,4 | 3,0 | 8,5 |
| 15 10d@85°C | 2 | 10424 | 10579 | 10502 | 11244 | 578,9 | 5,0 | 6,1 |
| | 6 | 11069 | 10831 | 10950 | | 588,2 | 5,0 | 6,2 |
| | 11 | 11919 | 11859 | 11889 | | 646,6 | 5,0 | 6,9 |
| | 12 | 11796 | 11478 | 11637 | | 632,9 | 5,0 | 6,7 |
| 27 10d@85°C | 2 | 3725 | 3697 | 3711 | 4080 | 180,0 | 5,0 | 1,9 |
| | 6 | 4047 | 3964 | 4006 | | 193,9 | 5,0 | 2,1 |
| | 11 | 4661 | 4387 | 4524 | | 220,2 | 5,1 | 2,3 |
| | 12 | 4894 | 4895 | 4895 | | 238,5 | 5,1 | 2,6 |

Tab. B6 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S PMB (HiMA)

| ACO11S PMB (HiMA) | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla |
|-------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] |
| 0 | 7 | 19302 | 20001 | 19652 | 20171 | 718,3 | 7,5 |
| | 8 | 20459 | 19993 | 20226 | | 723,2 | 7,6 |
| | 13 | 20544 | 20281 | 20413 | | 740,8 | 7,8 |
| | 14 | 20849 | 19938 | 20394 | | 738,4 | 7,9 |
| 15 | 7 | 9110 | 8706 | 8908 | 9526 | 480,5 | 5,0 |
| | 8 | 8959 | 8842 | 8901 | | 471,6 | 4,9 |
| | 13 | 10174 | 9985 | 10080 | | 539,3 | 5,7 |
| | 14 | 10680 | 9750 | 10215 | | 555,7 | 6,0 |
| 27 | 7 | 3527 | 3415 | 3471 | 3361 | 167,4 | 1,8 |
| | 8 | 3149 | 3042 | 3096 | | 147,2 | 1,6 |
| | 13 | 3759 | 4038 | 3899 | | 187,9 | 2,0 |
| | 14 | 3539 | 3495 | 3517 | | 170,0 | 1,8 |
| 0 PAV@85°C | 7 | 11317 | 13153 | 12235 | 12085 | 443,4 | 4,9 |
| | 8 | 14984 | 13537 | 14261 | | 518,3 | 5,8 |
| | 13 | 11600 | 12244 | 11922 | | 428,6 | 4,8 |
| | 14 | 11972 | 12224 | 12098 | | 439,7 | 5,0 |
| 15 PAV@85°C | 7 | 4086 | 3969 | 4028 | 4571 | 217,4 | 2,4 |
| | 8 | 4655 | 4174 | 4415 | | 238,9 | 2,7 |
| | 13 | 5034 | 4802 | 4918 | | 261,6 | 2,9 |
| | 14 | 4931 | 4920 | 4926 | | 269,1 | 3,0 |
| 27 PAV@85°C | 7 | 1293 | 1250 | 1272 | 1398 | 61,8 | 0,7 |
| | 8 | 1342 | 1464 | 1403 | | 68,1 | 0,8 |
| | 13 | 1468 | 1406 | 1437 | | 70,7 | 0,8 |
| | 14 | 1451 | 1506 | 1479 | | 72,1 | 0,8 |

Tab. B7 Modul tuhosti zkušebních těles SMA11S PMB

| SMA11S PMB | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla |
|--------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] |
| 15 | 1 | 8250 | 8480 | 8365 | 8677 | 450,4 | 4,8 |
| | 2 | 8527 | 8971 | 8749 | | 475,0 | 5,0 |
| | 3 | 8758 | 9139 | 8949 | | 485,3 | 5,2 |
| | 4 | 8678 | 8845 | 8762 | | 469,2 | 5,1 |
| | 5 | 8788 | 8934 | 8861 | | 482,6 | 5,2 |
| | 6 | 8805 | 8524 | 8665 | | 468,1 | 5,0 |
| | 7 | 9541 | 9104 | 9323 | | 504,9 | 5,4 |
| | 8 | 9063 | 8683 | 8873 | | 483,1 | 5,2 |
| | 9 | 8452 | 8459 | 8456 | | 458,6 | 4,9 |
| | 10 | 9007 | 9188 | 9098 | | 496,8 | 5,3 |
| | 11 | 8344 | 8209 | 8277 | | 464,3 | 5,1 |
| | 12 | 6946 | 7496 | 7221 | | 394,6 | 4,1 |
| | 13 | 8606 | 8414 | 8510 | | 464,9 | 5,0 |
| | 14 | 8301 | 7827 | 8064 | | 437,7 | 4,8 |
| | 15 | 8376 | 8226 | 8301 | | 452,1 | 4,8 |
| | 16 | 8934 | 8889 | 8912 | | 478,9 | 5,1 |

Tab. B8 Modul tuhosti zkušebních těles SMA11S PMB

| SMA11S PMB | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 1 | 18220 | 19596 | 18908 | 19137 | 700,5 | 3,0 | 7,5 |
| | 2 | 19575 | 19315 | 19445 | | 685,4 | 3,0 | 7,3 |
| | 3 | 18766 | 19350 | 19058 | | 687,7 | 3,0 | 7,4 |
| | 12 | 15237 | 14825 | 15031 | | 532,2 | 3,0 | 5,6 |
| 27 | 1 | 2929 | 2875 | 2902 | 2976 | 141,0 | 5,1 | 1,5 |
| | 2 | 3055 | 3234 | 3145 | | 152,6 | 5,1 | 1,7 |
| | 3 | 2853 | 2909 | 2881 | | 138,6 | 5,0 | 1,5 |
| | 12 | 2761 | 2540 | 2651 | | 127,2 | 5,0 | 1,4 |
| 0 5d@85°C | 4 | 20194 | 19772 | 19983 | 20662 | 728,4 | 3,0 | 7,8 |
| | 5 | 20949 | 20249 | 20599 | | 738,4 | 3,0 | 8,0 |
| | 6 | 20866 | 20652 | 20759 | | 746,0 | 3,0 | 8,1 |
| | 7 | 21806 | 20810 | 21308 | | 764,1 | 3,0 | 8,2 |
| 15 5d@85°C | 4 | 9514 | 10144 | 9829 | 9944 | 535,1 | 5,0 | 5,8 |
| | 5 | 9880 | 10588 | 10234 | | 564,3 | 5,1 | 6,1 |
| | 6 | 9809 | 9147 | 9478 | | 519,5 | 5,0 | 5,6 |
| | 7 | 10131 | 10342 | 10237 | | 558,6 | 5,0 | 6,0 |
| 27 5d@85°C | 4 | 3492 | 3282 | 3387 | 3553 | 163,6 | 5,1 | 1,8 |
| | 5 | 3564 | 3537 | 3551 | | 172,7 | 5,1 | 1,9 |
| | 6 | 3496 | 3543 | 3520 | | 171,6 | 5,1 | 1,9 |
| | 7 | 3742 | 3771 | 3757 | | 182,1 | 5,1 | 1,9 |
| 0 10d@85°C | 8 | 23071 | 20963 | 22017 | 20721 | 787,5 | 3,1 | 8,4 |
| | 9 | 20809 | 20603 | 20706 | | 752,9 | 3,0 | 8,1 |
| | 10 | 20276 | 19561 | 19919 | | 710,9 | 3,0 | 7,7 |
| | 11 | 19151 | 21332 | 20242 | | 768,3 | 3,1 | 8,4 |
| 15 10d@85°C | 8 | 10735 | 10449 | 10592 | 10173 | 564,0 | 5,0 | 6,0 |
| | 9 | 10315 | 10155 | 10235 | | 557,9 | 5,0 | 6,0 |
| | 10 | 10601 | 10060 | 10331 | | 563,1 | 5,0 | 6,1 |
| | 11 | 9683 | 9387 | 9535 | | 515,2 | 5,0 | 5,7 |
| 27 10d@85°C | 8 | 4550 | 4932 | 4741 | 4635 | 229,5 | 5,1 | 2,5 |
| | 9 | 4724 | 4493 | 4609 | | 224,0 | 5,1 | 2,4 |
| | 10 | 5131 | 4824 | 4978 | | 241,0 | 5,1 | 2,6 |
| | 11 | 4367 | 4058 | 4213 | | 201,7 | 5,0 | 2,2 |
| 0 PAV@85°C | 13 | 12710 | 12423 | 12567 | 12817 | 447,7 | 3,0 | 5,1 |
| | 14 | 12636 | 12491 | 12564 | | 451,7 | 3,0 | 5,1 |
| | 15 | 12909 | 13125 | 13017 | | 456,5 | 3,0 | 5,1 |
| | 16 | 13193 | 13052 | 13123 | | 467,1 | 3,0 | 5,2 |
| 15 PAV@85°C | 13 | 4761 | 4614 | 4688 | 4594 | 255,5 | 5,1 | 2,9 |
| | 14 | 4886 | 4430 | 4658 | | 251,5 | 5,1 | 2,9 |
| | 15 | 4430 | 4338 | 4384 | | 235,8 | 5,0 | 2,7 |
| | 16 | 4864 | 4427 | 4646 | | 248,2 | 5,0 | 2,8 |
| 27 PAV@85°C | 13 | 1650 | 1442 | 1546 | 1462 | 73,9 | 5,0 | 0,8 |
| | 14 | 1465 | 1470 | 1468 | | 72,1 | 5,1 | 0,8 |
| | 15 | 1571 | 1544 | 1558 | | 76,0 | 5,1 | 0,9 |
| | 16 | 1338 | 1213 | 1276 | | 60,5 | 5,0 | 0,7 |

Tab. B9 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S 50/70

| ACO11S 50/70 | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 4 | 21940 | 21134 | 21537 | 21765 | 779,4 | 3,0 | 8,1 |
| | 5 | 21961 | 21551 | 21756 | | 799,1 | 3,0 | 8,3 |
| | 6 | 22728 | 21457 | 22093 | | 774,5 | 3,0 | 8,0 |
| | 9 | 21664 | 21684 | 21674 | | 769,7 | 3,0 | 8,0 |
| 15 | 4 | 11778 | 11725 | 11752 | 11939 | 637,1 | 5,0 | 6,6 |
| | 5 | 12920 | 11516 | 12218 | | 662,2 | 5,0 | 6,8 |
| | 6 | 12247 | 12547 | 12397 | | 656,9 | 5,0 | 6,9 |
| | 9 | 11383 | 11398 | 11391 | | 609,3 | 5,0 | 6,3 |
| 27 | 4 | 4432 | 4328 | 4380 | 4338 | 211,5 | 5,0 | 2,2 |
| | 5 | 4389 | 4320 | 4355 | | 208,5 | 5,0 | 2,2 |
| | 6 | 4572 | 4280 | 4426 | | 210,6 | 5,0 | 2,2 |
| | 9 | 4251 | 4131 | 4191 | | 200,3 | 5,0 | 2,1 |
| 0 5d@85°C | 4 | 23502 | 22727 | 23115 | 22728 | 844,3 | 3,0 | 8,8 |
| | 5 | 22533 | 22077 | 22305 | | 808,1 | 3,0 | 8,4 |
| | 6 | 23099 | 22872 | 22986 | | 809,0 | 3,0 | 8,4 |
| | 9 | 22195 | 22822 | 22509 | | 798,0 | 3,0 | 8,3 |
| 15 5d@85°C | 4 | 13873 | 13346 | 13610 | 13465 | 727,8 | 5,0 | 7,6 |
| | 5 | 13048 | 13138 | 13093 | | 701,0 | 5,0 | 7,2 |
| | 6 | 13902 | 13213 | 13558 | | 717,7 | 5,0 | 7,5 |
| | 9 | 13474 | 13725 | 13600 | | 719,8 | 5,0 | 7,5 |
| 27 5d@85°C | 4 | 6068 | 5704 | 5886 | 5792 | 282,7 | 5,0 | 2,9 |
| | 5 | 5951 | 5622 | 5787 | | 278,7 | 5,0 | 2,9 |
| | 6 | 5729 | 5501 | 5615 | | 266,2 | 5,0 | 2,8 |
| | 9 | 5999 | 5761 | 5880 | | 281,7 | 5,1 | 2,9 |
| 0 | 1 | 21512 | 21491 | 21502 | 22280 | 769,6 | 3,0 | 8,0 |
| | 3 | 21374 | 22119 | 21747 | | 776,0 | 3,0 | 8,1 |
| | 12 | 23193 | 23450 | 23322 | | 795,1 | 3,0 | 8,3 |
| | 13 | 22572 | 22529 | 22551 | | 771,6 | 3,0 | 8,2 |
| 15 | 1 | 12138 | 12407 | 12273 | 12594 | 671,2 | 5,1 | 7,0 |
| | 3 | 12983 | 12524 | 12754 | | 686,3 | 5,0 | 7,2 |
| | 12 | 12734 | 12559 | 12647 | | 680,0 | 5,0 | 7,1 |
| | 13 | 12739 | 12669 | 12704 | | 675,0 | 5,0 | 7,2 |
| 27 | 1 | 4884 | 4906 | 4895 | 4836 | 236,6 | 5,0 | 2,5 |
| | 3 | 4895 | 4890 | 4893 | | 236,3 | 5,1 | 2,5 |
| | 12 | 4927 | 4826 | 4877 | | 235,7 | 5,0 | 2,5 |
| | 13 | 4791 | 4568 | 4680 | | 226,0 | 5,0 | 2,4 |
| 0 10d@85°C | 1 | 24286 | 22756 | 23521 | 23929 | 848,8 | 3,0 | 8,8 |
| | 3 | 24871 | 22982 | 23927 | | 860,4 | 3,0 | 9,0 |
| | 12 | 23157 | 24289 | 23723 | | 854,7 | 3,0 | 8,9 |
| | 13 | 24663 | 24425 | 24544 | | 856,8 | 3,0 | 9,1 |
| 15 10d@85°C | 1 | 13877 | 13358 | 13618 | 14153 | 736,6 | 5,0 | 7,7 |
| | 3 | 14864 | 15066 | 14965 | | 784,8 | 5,0 | 8,2 |
| | 12 | 13980 | 13880 | 13930 | | 754,3 | 5,0 | 7,9 |
| | 13 | 14307 | 13893 | 14100 | | 749,7 | 5,0 | 8,0 |
| 27 10d@85°C | 1 | 6778 | 6344 | 6561 | 6426 | 313,7 | 5,0 | 3,3 |
| | 3 | 6287 | 6401 | 6344 | | 307,8 | 5,1 | 3,2 |
| | 12 | 6661 | 6557 | 6609 | | 320,4 | 5,0 | 3,4 |
| | 13 | 6321 | 6062 | 6192 | | 300,4 | 5,0 | 3,2 |

Tab. B10 Modul tuhosti zkušebních těles ACO11S 50/70

| ACO11S 50/70 | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 2 | 23118 | 22469 | 22794 | 22836 | 812,3 | 3,0 | 8,5 |
| | 8 | 23480 | 23647 | 23564 | | 844,1 | 3,0 | 8,9 |
| | 10 | 23193 | 22654 | 22924 | | 840,5 | 3,0 | 8,8 |
| | 11 | 22395 | 21728 | 22062 | | 801,6 | 3,0 | 8,4 |
| 15 | 2 | 12376 | 11966 | 12171 | 12952 | 665,0 | 5,0 | 7,0 |
| | 8 | 13981 | 13076 | 13529 | | 724,1 | 5,0 | 7,6 |
| | 10 | 12887 | 13208 | 13048 | | 700,3 | 5,0 | 7,4 |
| | 11 | 12935 | 13185 | 13060 | | 697,4 | 5,0 | 7,3 |
| 27 | 2 | 5283 | 5397 | 5340 | 5268 | 256,6 | 5,0 | 2,7 |
| | 8 | 5397 | 5328 | 5363 | | 258,4 | 5,0 | 2,7 |
| | 10 | 5377 | 5134 | 5256 | | 255,2 | 5,0 | 2,7 |
| | 11 | 5117 | 5113 | 5115 | | 248,4 | 5,1 | 2,6 |
| 0 15d@85°C | 2 | 24492 | 23777 | 24135 | 23858 | 879,5 | 3,0 | 9,2 |
| | 8 | 23535 | 25016 | 24276 | | 881,1 | 3,1 | 9,2 |
| | 10 | 22914 | 23369 | 23142 | | 831,0 | 3,1 | 8,7 |
| | 11 | 23346 | 24412 | 23879 | | 855,8 | 3,1 | 8,9 |
| 15 15d@85°C | 2 | 14873 | 14854 | 14864 | 15527 | 803,1 | 5,0 | 8,4 |
| | 8 | 15815 | 15472 | 15644 | | 851,7 | 5,0 | 8,9 |
| | 10 | 16289 | 15752 | 16021 | | 868,4 | 5,0 | 9,1 |
| | 11 | 15283 | 15877 | 15580 | | 844,4 | 5,0 | 8,8 |
| 27 15d@85°C | 2 | 7942 | 8067 | 8005 | 8551 | 380,9 | 5,0 | 4,0 |
| | 8 | 8942 | 8704 | 8823 | | 421,1 | 5,0 | 4,4 |
| | 10 | 8185 | 8617 | 8401 | | 402,7 | 5,0 | 4,2 |
| | 11 | 8905 | 9045 | 8975 | | 423,8 | 4,9 | 4,4 |
| 0 | 7 | 23303 | 22381 | 22842 | 23310 | 818,7 | 3,0 | 8,6 |
| | 14 | 23229 | 23253 | 23241 | | 825,7 | 3,0 | 8,6 |
| | 15 | 24078 | 23197 | 23638 | | 838,3 | 3,0 | 8,7 |
| | 16 | 23790 | 23246 | 23518 | | 842,0 | 3,0 | 8,8 |
| 15 | 7 | 12894 | 13040 | 12967 | 13294 | 697,2 | 5,0 | 7,3 |
| | 14 | 13270 | 13249 | 13260 | | 706,1 | 5,0 | 7,3 |
| | 15 | 13221 | 13620 | 13421 | | 715,6 | 5,0 | 7,5 |
| | 16 | 13357 | 13699 | 13528 | | 732,6 | 5,0 | 7,6 |
| 27 | 7 | 5412 | 5474 | 5443 | 5928 | 264,1 | 5,0 | 2,8 |
| | 14 | 5932 | 6101 | 6017 | | 289,8 | 5,0 | 3,0 |
| | 15 | 5897 | 5889 | 5893 | | 285,2 | 5,0 | 3,0 |
| | 16 | 6428 | 6290 | 6359 | | 306,1 | 5,0 | 3,2 |
| 0 PAV@85°C | 7 | 15417 | 15134 | 15276 | 15746 | 553,2 | 3,0 | 6,1 |
| | 14 | 16035 | 16139 | 16087 | | 579,3 | 3,0 | 6,4 |
| | 15 | 15138 | 15978 | 15558 | | 560,3 | 3,0 | 6,1 |
| | 16 | 15966 | 16161 | 16064 | | 573,8 | 3,0 | 6,2 |
| 15 PAV@85°C | 7 | 6995 | 7043 | 7019 | 7852 | 375,7 | 5,0 | 4,2 |
| | 14 | 8679 | 8097 | 8388 | | 449,4 | 5,0 | 4,9 |
| | 15 | 7434 | 7688 | 7561 | | 410,3 | 5,0 | 4,5 |
| | 16 | 8632 | 8244 | 8438 | | 458,1 | 5,1 | 5,0 |
| 27 PAV@85°C | 7 | 2900 | 2817 | 2859 | 3170 | 138,7 | 5,1 | 1,5 |
| | 14 | 3361 | 3223 | 3292 | | 157,6 | 5,0 | 1,8 |
| | 15 | 2986 | 3148 | 3067 | | 149,3 | 5,1 | 1,6 |
| | 16 | 3544 | 3381 | 3463 | | 167,4 | 5,1 | 1,9 |

Tab. B11 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 PMB 10/40-65

| VMT22 PMB 10/40-65 | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------|--------------|------------------------|---------------------------|--------------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 1 | 17028 | 16726 | 16877 | 17621 | 576,9 | 3,0 | 6,2 |
| | 2 | 19222 | 18258 | 18740 | | 676,5 | 3,0 | 7,3 |
| | 3 | 17190 | 17271 | 17231 | | 623,5 | 3,0 | 6,7 |
| | 4 | 17236 | 16546 | 16891 | | 606,1 | 3,0 | 6,5 |
| | 5 | 18273 | 17130 | 17702 | | 626,7 | 3,0 | 6,8 |
| | 6 | 18400 | 18168 | 18284 | | 649,6 | 3,0 | 6,9 |
| 15 | 1 | 9269 | 9151 | 9210 | 9422 | 485,4 | 5,0 | 5,3 |
| | 2 | 10224 | 9973 | 10099 | | 534,1 | 5,0 | 5,8 |
| | 3 | 8681 | 9144 | 8913 | | 467,9 | 5,0 | 5,0 |
| | 4 | 8771 | 8860 | 8816 | | 464,7 | 5,0 | 5,0 |
| | 5 | 8835 | 8925 | 8880 | | 468,9 | 5,0 | 5,1 |
| | 6 | 10810 | 10420 | 10615 | | 557,4 | 5,0 | 5,9 |
| 27 | 1 | 3921 | 3874 | 3898 | 4209 | 184,5 | 5,0 | 2,0 |
| | 2 | 4233 | 4542 | 4388 | | 208,2 | 5,0 | 2,3 |
| | 3 | 4169 | 3806 | 3988 | | 191,5 | 5,0 | 2,0 |
| | 4 | 4225 | 3898 | 4062 | | 194,2 | 5,0 | 2,1 |
| | 5 | 4110 | 4367 | 4239 | | 201,9 | 5,1 | 2,2 |
| | 6 | 4763 | 4602 | 4683 | | 223,6 | 5,1 | 2,4 |
| 40 | 1 | 1538 | 1622 | 1580 | 1426 | 66,9 | 5,0 | 0,7 |
| | 2 | 1473 | 1494 | 1484 | | 64,6 | 5,0 | 0,7 |
| | 3 | 1155 | 1191 | 1173 | | 51,6 | 5,1 | 0,5 |
| | 4 | 1369 | 1224 | 1297 | | 55,5 | 5,0 | 0,6 |
| | 5 | 1584 | 1452 | 1518 | | 65,6 | 5,1 | 0,7 |
| | 6 | 1541 | 1471 | 1506 | | 64,6 | 5,0 | 0,7 |
| 0 5d@85°C | 4 | 19715 | 18544 | 19130 | 19581 | 673,9 | 3,0 | 7,3 |
| | 5 | 18871 | 18512 | 18692 | | 662,8 | 3,0 | 7,2 |
| | 6 | 21052 | 20791 | 20922 | | 710,4 | 2,9 | 7,5 |
| 15 5d@85°C | 4 | 10003 | 10301 | 10152 | 10630 | 533,9 | 5,0 | 5,8 |
| | 5 | 10255 | 10016 | 10136 | | 535,1 | 5,0 | 5,8 |
| | 6 | 11740 | 11467 | 11604 | | 614,9 | 5,0 | 6,5 |
| 27 5d@85°C | 4 | 4879 | 4809 | 4844 | 4933 | 228,6 | 5,0 | 2,5 |
| | 5 | 4737 | 4715 | 4726 | | 223,6 | 5,1 | 2,4 |
| | 6 | 5405 | 5052 | 5229 | | 248,7 | 5,0 | 2,6 |
| 40 5d@85°C | 4 | 1855 | 1828 | 1842 | 1915 | 78,1 | 5,0 | 0,8 |
| | 5 | 1790 | 1831 | 1811 | | 77,1 | 5,0 | 0,8 |
| | 6 | 2080 | 2107 | 2094 | | 89,9 | 5,0 | 1,0 |

Tab. B12 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 30/45

| VMT22 30/45 | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 1 | 20907 | 20759 | 20833 | 22004 | 730,6 | 3,0 | 7,4 |
| | 2 | 22753 | 22922 | 22838 | | 803,7 | 3,0 | 8,4 |
| | 3 | 23178 | 23811 | 23495 | | 829,8 | 3,0 | 8,3 |
| | 4 | 22653 | 22461 | 22557 | | 819,3 | 3,1 | 8,4 |
| | 5 | 20665 | 20464 | 20565 | | 723,4 | 3,0 | 7,6 |
| | 6 | 22993 | 20486 | 21740 | | 759,8 | 3,0 | 7,8 |
| 15 | 1 | 12715 | 12532 | 12624 | 12380 | - | - | - |
| | 2 | 11983 | 11852 | 11918 | | - | - | - |
| | 3 | 13053 | 12934 | 12994 | | - | - | - |
| | 4 | 12510 | 12456 | 12483 | | - | - | - |
| | 5 | 12139 | 12028 | 12084 | | - | - | - |
| | 6 | 12189 | 12170 | 12180 | | - | - | - |
| 27 | 1 | 5390 | 4850 | 5120 | 4913 | 248,6 | 5,1 | 2,5 |
| | 2 | 5104 | 4837 | 4971 | | 232,4 | 5,0 | 2,4 |
| | 3 | 5100 | 5222 | 5161 | | 243,2 | 5,0 | 2,5 |
| | 4 | 5136 | 4885 | 5011 | | 243,5 | 5,1 | 2,6 |
| | 5 | 4253 | 4065 | 4159 | | 204,8 | 5,1 | 2,2 |
| | 6 | 5063 | 5055 | 5059 | | 244,4 | 5,1 | 2,5 |
| 40 | 1 | 1867 | 1955 | 1911 | 1869 | 82,4 | 5,0 | 0,8 |
| | 2 | 1965 | 1879 | 1922 | | 83,7 | 5,0 | 0,9 |
| | 3 | 2102 | 1979 | 2041 | | 89,7 | 5,1 | 0,9 |
| | 4 | 1744 | 1842 | 1793 | | 78,3 | 5,0 | 0,8 |
| | 5 | 1636 | 1632 | 1634 | | 71,1 | 5,0 | 0,7 |
| | 6 | 2013 | 1811 | 1912 | | 82,3 | 5,0 | 0,9 |
| 0 5d@85°C | 4 | 21417 | 23247 | 22332 | 22041 | 800,9 | 3,1 | 8,2 |
| | 5 | 20194 | 19552 | 19873 | | 715,7 | 3,0 | 7,5 |
| | 6 | 22672 | 25163 | 23918 | | 841,4 | 3,0 | 8,7 |
| 15 5d@85°C | 4 | 14381 | 13402 | 13892 | 13139 | 727,7 | 4,9 | 7,5 |
| | 5 | 11809 | 12110 | 11960 | | 642,3 | 5,1 | 6,7 |
| | 6 | 14003 | 13126 | 13565 | | 725,4 | 5,1 | 7,5 |
| 27 5d@85°C | 4 | 6719 | 6135 | 6427 | 6298 | 302,8 | 5,0 | 3,1 |
| | 5 | 5890 | 5888 | 5889 | | 276,8 | 5,0 | 2,9 |
| | 6 | 6805 | 6351 | 6578 | | 310,6 | 5,0 | 3,2 |
| 40 5d@85°C | 4 | 1343 | 1307 | 1325 | 1866 | 58,4 | 5,1 | 0,6 |
| | 5 | 1785 | 1653 | 1719 | | 73,9 | 5,0 | 0,8 |
| | 6 | 1919 | 2108 | 2014 | | 89,5 | 5,1 | 0,9 |

Tab. B13 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 PMB 25/55-60

| VMT22 PMB 25/55-60 | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------|--------------|------------------------|---------------------------|--------------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 1 | 18038 | 19199 | 18619 | 20805 | 658,5 | 3,0 | 6,7 |
| | 2 | 22983 | 22735 | 22859 | | 803,8 | 3,0 | 8,2 |
| | 3 | 22930 | 22667 | 22799 | | 799,5 | 3,0 | 8,2 |
| | 4 | 20814 | 17720 | 19267 | | 682,0 | 3,0 | 7,0 |
| | 5 | 22943 | 21081 | 22012 | | 775,9 | 3,0 | 8,2 |
| | 6 | 18528 | 20020 | 19274 | | 678,4 | 3,0 | 7,1 |
| 15 | 1 | 8871 | 8803 | 8837 | 9823 | - | - | - |
| | 2 | 10049 | 10127 | 10088 | | - | - | - |
| | 3 | 11271 | 10777 | 11024 | | - | - | - |
| | 4 | 10613 | 10419 | 10516 | | - | - | - |
| | 5 | 9428 | 8998 | 9213 | | - | - | - |
| | 6 | 9307 | 9216 | 9262 | | - | - | - |
| 27 | 1 | 4058 | 3914 | 3986 | 3754 | 194,8 | 5,0 | 2,0 |
| | 2 | 4150 | 3945 | 4048 | | 191,8 | 5,0 | 2,0 |
| | 3 | 3920 | 3831 | 3876 | | 187,4 | 5,1 | 1,9 |
| | 4 | 3436 | 3151 | 3294 | | 148,6 | 4,9 | 1,6 |
| | 5 | 3725 | 3878 | 3802 | | 170,9 | 4,9 | 1,8 |
| | 6 | 3576 | 3464 | 3520 | | 159,3 | 4,9 | 1,6 |
| 40 | 1 | 878 | 822 | 850 | 991 | 37,8 | 5,2 | 0,4 |
| | 2 | 1026 | 1065 | 1046 | | 46,2 | 5,1 | 0,5 |
| | 3 | 1017 | 1099 | 1058 | | 45,8 | 5,0 | 0,5 |
| | 4 | 983 | 864 | 924 | | 39,8 | 5,0 | 0,4 |
| | 5 | 1144 | 1040 | 1092 | | 47,5 | 5,0 | 0,5 |
| | 6 | 1025 | 934 | 980 | | 42,7 | 5,0 | 0,4 |
| 0 5d@85°C | 4 | 18769 | 19337 | 19053 | 21323 | 668,8 | 3,0 | 7,1 |
| | 5 | 24076 | 22369 | 23223 | | 820,5 | 3,0 | 8,3 |
| | 6 | 21635 | 21754 | 21695 | | 777,2 | 3,0 | 7,8 |
| 15 5d@85°C | 4 | 9375 | 9139 | 9257 | 10973 | 499,6 | 5,1 | 5,3 |
| | 5 | 11163 | 11125 | 11144 | | 594,7 | 5,1 | 6,0 |
| | 6 | 10617 | 10985 | 10801 | | 585,2 | 5,1 | 5,9 |
| 27 5d@85°C | 4 | 3701 | 3406 | 3554 | 4180 | 169,4 | 5,1 | 1,8 |
| | 5 | 4158 | 4503 | 4331 | | 205,0 | 5,0 | 2,1 |
| | 6 | 4646 | 4663 | 4655 | | 217,7 | 5,0 | 2,2 |
| 40 5d@85°C | 4 | 2230 | 1925 | 2078 | 2190 | 90,0 | 5,0 | 0,9 |
| | 5 | 2449 | 2685 | 2567 | | 111,2 | 5,0 | 1,2 |
| | 6 | 1885 | 1964 | 1925 | | 82,9 | 4,9 | 0,9 |

Tab. B14 Modul tuhosti zkušebních těles VMT22 30/45 + 0,2 % Wetfix

| VMT22 30/45 + 0,2% Wetfix | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|---------------------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 0 | 1 | 21303 | 21497 | 21400 | 21196 | 759,6 | 3,0 | 7,9 |
| | 2 | 19760 | 19837 | 19799 | | 706,3 | 3,0 | 7,5 |
| | 3 | 22865 | 22195 | 22530 | | 793,6 | 3,0 | 8,4 |
| | 4 | 20120 | 19530 | 19825 | | 703,9 | 3,0 | 7,4 |
| | 5 | 20766 | 21773 | 21270 | | 756,2 | 3,0 | 8,0 |
| | 6 | 22079 | 22621 | 22350 | | 795,2 | 3,0 | 8,7 |
| 15 | 1 | 10181 | 10031 | 10106 | 10641 | - | - | - |
| | 2 | 9921 | 9735 | 9828 | | - | - | - |
| | 3 | 11538 | 11476 | 11507 | | - | - | - |
| | 4 | 11378 | 11318 | 11348 | | - | - | - |
| | 5 | 10810 | 10726 | 10768 | | - | - | - |
| | 6 | 10312 | 10262 | 10287 | | - | - | - |
| 27 | 1 | 3740 | 3941 | 3841 | 3882 | 184,5 | 5,1 | 2,0 |
| | 2 | 3592 | 3435 | 3514 | | 166,1 | 5,0 | 1,8 |
| | 3 | 4238 | 4253 | 4246 | | 198,9 | 5,0 | 2,1 |
| | 4 | 3656 | 3880 | 3768 | | 182,1 | 5,2 | 2,0 |
| | 5 | 4065 | 4063 | 4064 | | 190,9 | 5,0 | 2,0 |
| | 6 | 3929 | 3797 | 3863 | | 181,5 | 5,0 | 2,0 |
| 40 | 1 | 1020 | 1016 | 1018 | 1143 | 43,8 | 5,0 | 0,5 |
| | 2 | 993 | 972 | 983 | | 43,2 | 5,1 | 0,5 |
| | 3 | 1351 | 1234 | 1293 | | 56,8 | 5,1 | 0,6 |
| | 4 | 1162 | 1005 | 1084 | | 48,0 | 5,1 | 0,5 |
| | 5 | 1432 | 1423 | 1428 | | 62,2 | 5,0 | 0,7 |
| | 6 | 1295 | 1377 | 1336 | | 58,3 | 5,1 | 0,6 |
| 0 5d@85°C | 4 | 19854 | 20829 | 20342 | 21341 | 722,2 | 3,0 | 7,6 |
| | 5 | 21208 | 21509 | 21359 | | 761,2 | 3,0 | 8,0 |
| | 6 | 22534 | 22110 | 22322 | | 794,2 | 3,0 | 8,7 |
| 15 5d@85°C | 4 | 10119 | 10497 | 10308 | 10959 | 566,7 | 5,1 | 6,0 |
| | 5 | 10687 | 10703 | 10695 | | 575,8 | 5,1 | 6,1 |
| | 6 | 11164 | 11282 | 11223 | | 607,6 | 5,1 | 6,7 |
| 27 5d@85°C | 4 | 3924 | 4365 | 4145 | 4264 | 198,6 | 5,0 | 2,1 |
| | 5 | 4401 | 4313 | 4357 | | 207,7 | 5,1 | 2,2 |
| | 6 | 4327 | 4255 | 4291 | | 200,2 | 5,0 | 2,2 |
| 40 5d@85°C | 4 | 1066 | 1197 | 1132 | 1365 | 49,4 | 5,1 | 0,5 |
| | 5 | 1424 | 1402 | 1413 | | 62,1 | 5,0 | 0,7 |
| | 6 | 1604 | 1495 | 1550 | | 68,3 | 5,1 | 0,8 |

Tab. B15 Modul tuhosti nezestárlych zkušebních těles ACO11 R25% a ACP16+ R60%

| Proces | Teplota | Počet úderů | Modul tuhosti ACO11 R25% [MPa] | | | Teplota | Počet úderů | Modul tuhosti ACP16+ R60% [MPa] | | |
|----------------------------|---------|-------------|--------------------------------|-------|-------|---------|-------------|---------------------------------|-------|-------|
| | | | 0 °C | 15 °C | 30 °C | | | 0 °C | 15 °C | 30 °C |
| Nezestárly zkušební tělesa | 150 °C | 2x50 | 17454 | 9143 | 1959 | 150 °C | 2x50 | 25973 | 17072 | 7019 |
| | | 2x40 | 17715 | 7908 | 1883 | | 2x40 | 23835 | 15888 | 6969 |
| | | 2x25 | 14709 | 7033 | 1715 | | 2x25 | 19668 | 11402 | 5612 |
| | 135 °C | 2x50 | 18332 | 8049 | 2267 | 135 °C | 2x50 | 17608 | 8762 | 2825 |
| | | 2x40 | 17728 | 8133 | 1946 | | 2x40 | 17530 | 8022 | 2581 |
| | | 2x25 | 15666 | 6634 | 1530 | | 2x25 | 14562 | 6911 | 2960 |
| | 120 °C | 2x50 | 15064 | 7145 | 1472 | 120 °C | 2x50 | 18715 | 9672 | 3350 |
| | | 2x40 | 15759 | 6423 | 1522 | | 2x40 | 18603 | 8802 | 3152 |
| | | 2x25 | 13246 | 4295 | 1034 | | 2x25 | 18016 | 8198 | 2569 |
| | 90 °C | 2x50 | 12312 | 5160 | 963 | 90 °C | 2x50 | 15990 | 8265 | 2156 |
| | | 2x40 | 11013 | 5286 | 900 | | 2x40 | 15250 | 6445 | 1660 |
| | | 2x25 | 8529 | 3346 | 612 | | 2x25 | 13200 | 5332 | 1331 |

Tab. B16 Modul tuhosti zestárlych zkušebních těles ACO11 R25% - 150 °C

| ACO11 R25% - 150 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 1 | 23189 | 22241 | 22715 | 21046 | 806,9 | 3,0 | 8,0 |
| | | 3 | 20469 | 19920 | 20195 | | 718,7 | 3,0 | 7,2 |
| | | 5 | 19982 | 20474 | 20228 | | 722,4 | 3,0 | 7,3 |
| | 15 5d@85°C | 1 | 10034 | 9653 | 9844 | 10153 | 536,0 | 5,0 | 5,3 |
| | | 3 | 10505 | 11099 | 10802 | | 584,9 | 5,0 | 5,9 |
| | | 5 | 9939 | 9687 | 9813 | | 531,9 | 5,0 | 5,4 |
| | 30 5d@85°C | 1 | 3308 | 3340 | 3324 | 3298 | 155,9 | 5,0 | 1,6 |
| | | 3 | 3362 | 3375 | 3369 | | 160,0 | 5,0 | 1,6 |
| | | 5 | 3354 | 3046 | 3200 | | 151,8 | 5,0 | 1,6 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 7 | 19626 | 20340 | 19983 | 19893 | 724,9 | 3,0 | 7,3 |
| | | 8 | 20082 | 19516 | 19799 | | 716,8 | 3,0 | 7,3 |
| | | 10 | 19886 | 19910 | 19898 | | 718,6 | 3,0 | 7,3 |
| | 15 5d@85°C | 7 | 10601 | 11415 | 11008 | 11033 | 582,0 | 5,0 | 5,9 |
| | | 8 | 10530 | 11889 | 11210 | | 597,3 | 5,0 | 6,1 |
| | | 10 | 11342 | 10418 | 10880 | | 587,4 | 5,0 | 6,0 |
| | 30 5d@85°C | 7 | 3422 | 3043 | 3233 | 3359 | 154,1 | 5,0 | 1,5 |
| | | 8 | 3380 | 3283 | 3332 | | 161,2 | 5,1 | 1,7 |
| | | 10 | 3510 | 3518 | 3514 | | 168,7 | 5,1 | 1,7 |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 13 | 18603 | 17332 | 17968 | 18303 | 655,4 | 3,1 | 6,8 |
| | | 14 | 14391 | 14744 | 14568 | | 529,0 | 3,0 | 5,7 |
| | | 16 | 18576 | 18702 | 18639 | | 670,2 | 3,0 | 6,9 |
| | 15 5d@85°C | 13 | 9482 | 9259 | 9371 | 9764 | 507,0 | 5,0 | 5,3 |
| | | 14 | 7968 | 7409 | 7689 | | 424,4 | 5,1 | 4,6 |
| | | 16 | 10094 | 10221 | 10158 | | 545,9 | 5,0 | 5,6 |
| | 30 5d@85°C | 13 | 2928 | 2841 | 2885 | 3085 | 137,7 | 5,0 | 1,5 |
| | | 14 | 2472 | 2178 | 2325 | | 112,0 | 5,1 | 1,2 |
| | | 16 | 3396 | 3175 | 3286 | | 155,0 | 5,0 | 1,6 |

Tab. B17 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 135 °C

| ACO11 R25% - 135 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 55 | 22511 | 21519 | 22015 | 22068 | 800,8 | 3,0 | 8,0 |
| | | 56 | 22384 | 22928 | 22656 | | 783,7 | 3,0 | 7,8 |
| | | 58 | 21544 | 21523 | 21534 | | 783,9 | 3,0 | 7,8 |
| | 15 5d@85°C | 55 | 10073 | 9572 | 9823 | 9945 | 536,9 | 5,0 | 5,4 |
| | | 56 | 10099 | 9855 | 9977 | | 540,5 | 5,0 | 5,4 |
| | | 58 | 10182 | 9891 | 10037 | | 547,0 | 5,0 | 5,5 |
| | 30 5d@85°C | 55 | 2514 | 2325 | 2420 | 2414 | 115,8 | 5,1 | 1,2 |
| | | 56 | 2498 | 2338 | 2418 | | 115,6 | 5,1 | 1,2 |
| | | 58 | 2430 | 2377 | 2404 | | 114,6 | 5,0 | 1,1 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 61 | 20158 | 21358 | 20758 | 21419 | 755,3 | 3,0 | 7,6 |
| | | 62 | 21297 | 22022 | 21660 | | 790,1 | 3,0 | 7,9 |
| | | 64 | 21604 | 22077 | 21841 | | 781,4 | 3,0 | 7,7 |
| | 15 5d@85°C | 61 | 9548 | 9471 | 9510 | 9696 | 514,8 | 5,0 | 5,2 |
| | | 62 | 10280 | 9897 | 10089 | | 553,6 | 5,1 | 5,6 |
| | | 64 | 9589 | 9390 | 9490 | | 516,2 | 5,0 | 5,1 |
| | 30 5d@85°C | 61 | 2446 | 2382 | 2414 | 2298 | 116,3 | 5,1 | 1,2 |
| | | 62 | 2345 | 2310 | 2328 | | 109,6 | 5,0 | 1,1 |
| | | 64 | 2117 | 2186 | 2152 | | 101,9 | 5,0 | 1,0 |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 67 | 19088 | 18848 | 18968 | 19342 | 674,0 | 3,0 | 6,9 |
| | | 68 | 20182 | 19715 | 19949 | | 718,1 | 3,0 | 7,4 |
| | | 70 | 18940 | 19281 | 19111 | | 704,8 | 3,1 | 7,2 |
| | 15 5d@85°C | 67 | 9269 | 9361 | 9315 | 9206 | 510,6 | 5,1 | 5,2 |
| | | 68 | 9242 | 8698 | 8970 | | 485,5 | 5,0 | 5,0 |
| | | 70 | 9267 | 9400 | 9334 | | 505,0 | 5,0 | 5,2 |
| | 30 5d@85°C | 67 | 2361 | 2004 | 2183 | 2138 | 103,9 | 5,0 | 1,1 |
| | | 68 | 2193 | 2129 | 2161 | | 103,0 | 5,1 | 1,1 |
| | | 70 | 2154 | 1987 | 2071 | | 95,5 | 4,9 | 1,0 |

Tab. B18 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 120 °C

| ACO11 R25% - 120 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 19 | 19248 | 19222 | 19235 | 19059 | 696,4 | 3,0 | 6,9 |
| | | 20 | 19795 | 18649 | 19222 | | 701,2 | 3,0 | 7,0 |
| | | 22 | 19223 | 18217 | 18720 | | 679,7 | 3,0 | 6,6 |
| | 15 5d@85°C | 19 | 9598 | 9069 | 9334 | 9345 | 502,9 | 5,1 | 5,0 |
| | | 20 | 9151 | 8779 | 8965 | | 480,3 | 5,0 | 4,9 |
| | | 22 | 9608 | 9863 | 9736 | | 522,8 | 5,0 | 5,1 |
| | 30 5d@85°C | 19 | 2947 | 2721 | 2834 | 2844 | 135,0 | 5,0 | 1,4 |
| | | 20 | 2780 | 2800 | 2790 | | 133,9 | 5,1 | 1,4 |
| | | 22 | 2965 | 2851 | 2908 | | 137,4 | 5,0 | 1,4 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 25 | 18624 | 19051 | 18838 | 18344 | 675,8 | 3,0 | 6,6 |
| | | 26 | 17822 | 17369 | 17596 | | 631,9 | 3,0 | 6,3 |
| | | 28 | 18068 | 19127 | 18598 | | 661,5 | 3,0 | 6,8 |
| | 15 5d@85°C | 25 | 9559 | 9312 | 9436 | 9544 | 507,9 | 5,0 | 5,0 |
| | | 26 | 9889 | 9595 | 9742 | | 518,2 | 5,0 | 5,2 |
| | | 28 | 9302 | 9606 | 9454 | | 510,7 | 5,1 | 5,3 |
| | 30 5d@85°C | 25 | 2846 | 2878 | 2862 | 2939 | 135,6 | 5,0 | 1,3 |
| | | 26 | 3223 | 3031 | 3127 | | 150,1 | 5,1 | 1,5 |
| | | 28 | 2788 | 2867 | 2828 | | 134,6 | 5,0 | 1,4 |

Tab. B19 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 120 °C

| ACO11 R25% - 120 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 31 | 16397 | 16733 | 16565 | 16217 | 600,1 | 3,0 | 6,2 |
| | | 32 | 15413 | 15462 | 15438 | | 558,8 | 3,0 | 6,0 |
| | | 34 | 17378 | 15920 | 16649 | | 594,4 | 3,0 | 6,3 |
| | 15 5d@85°C | 31 | 8494 | 8265 | 8380 | 7995 | 452,8 | 5,0 | 4,7 |
| | | 32 | 7462 | 7055 | 7259 | | 393,2 | 5,0 | 4,2 |
| | | 34 | 8659 | 8036 | 8348 | | 446,0 | 5,0 | 4,7 |
| | 30 5d@85°C | 31 | 2505 | 2431 | 2468 | 2325 | 116,8 | 5,0 | 1,2 |
| | | 32 | 2241 | 2180 | 2211 | | 105,4 | 5,0 | 1,1 |
| | | 34 | 2269 | 2325 | 2297 | | 108,7 | 5,0 | 1,2 |

Tab. B20 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACO11 R25% - 90 °C

| ACO11 R25% - 90 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 37 | 19302 | 19169 | 19236 | 19204 | 691,8 | 3,0 | 7,2 |
| | | 38 | 19365 | 19381 | 19373 | | 691,3 | 3,0 | 7,2 |
| | | 40 | 18619 | 19385 | 19002 | | 680,5 | 3,0 | 7,1 |
| | 15 5d@85°C | 37 | 10309 | 9274 | 9792 | 9951 | 525,9 | 5,0 | 5,5 |
| | | 38 | 10219 | 9620 | 9920 | | 520,9 | 4,9 | 5,5 |
| | | 40 | 10001 | 10280 | 10141 | | 549,9 | 5,1 | 5,8 |
| | 30 5d@85°C | 37 | 2510 | 2511 | 2511 | 2465 | 119,3 | 5,0 | 1,2 |
| | | 38 | 2678 | 2409 | 2544 | | 122,1 | 5,1 | 1,3 |
| | | 40 | 2374 | 2308 | 2341 | | 110,0 | 5,0 | 1,2 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 43 | 18852 | 17919 | 18386 | 18356 | 667,1 | 3,0 | 7,1 |
| | | 44 | 18321 | 18331 | 18326 | | 656,3 | 3,0 | 6,8 |
| | | 46 | 13942 | 14619 | 14281 | | 516,2 | 3,0 | 5,8 |
| | 15 5d@85°C | 43 | 9240 | 9262 | 9251 | 8838 | 499,3 | 5,0 | 5,3 |
| | | 44 | 9205 | 9113 | 9159 | | 494,7 | 5,0 | 5,2 |
| | | 46 | 7920 | 8287 | 8104 | | 443,0 | 5,1 | 5,0 |
| | 30 5d@85°C | 43 | 2521 | 2298 | 2410 | 2289 | 115,2 | 5,1 | 1,2 |
| | | 44 | 2216 | 2119 | 2168 | | 102,6 | 5,0 | 1,1 |
| | | 46 | 1928 | 1695 | 1812 | | 84,0 | 4,9 | 1,0 |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 49 | 16596 | 16659 | 16628 | 16382 | 596,2 | 3,0 | 6,6 |
| | | 50 | 16592 | 16531 | 16562 | | 593,6 | 3,0 | 6,5 |
| | | 52 | 16212 | 15699 | 15956 | | 574,2 | 3,0 | 6,3 |
| | 15 5d@85°C | 49 | 8405 | 8796 | 8601 | 8323 | 463,6 | 5,0 | 5,1 |
| | | 50 | 8187 | 8229 | 8208 | | 443,0 | 5,0 | 4,8 |
| | | 52 | 8229 | 8089 | 8159 | | 444,0 | 5,0 | 4,8 |
| | 30 5d@85°C | 49 | 2023 | 2108 | 2066 | 2044 | 97,2 | 5,0 | 1,1 |
| | | 50 | 1850 | 2088 | 1969 | | 93,2 | 5,0 | 1,1 |
| | | 52 | 2195 | 1998 | 2097 | | 99,5 | 5,0 | 1,1 |

Tab. B21 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 150 °C

| ACP16+ R60% - 150 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|------|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 1 | 27896 | 27327 | 27612 | 27648 | 991,4 | 3,1 | 9,9 |
| | | 2 | 27204 | 27917 | 27561 | | 966,1 | 3,0 | 9,9 |
| | | 4 | 28473 | 27072 | 27773 | | 987,6 | 3,1 | 10,0 |
| | 15 5d@85°C | 1 | 18896 | 18454 | 18675 | 18356 | 991,0 | 5,0 | 9,9 |
| | | 2 | 18572 | 18752 | 18662 | | 993,8 | 5,1 | 10,2 |
| | | 4 | 17909 | 17553 | 17731 | | 945,4 | 5,0 | 9,5 |
| | 30 5d@85°C | 1 | 7627 | 7682 | 7655 | 7380 | 360,5 | 5,0 | 3,6 |
| | | 2 | 7221 | 7092 | 7157 | | 346,4 | 5,1 | 3,6 |
| | | 4 | 6962 | 7693 | 7328 | | 343,2 | 5,0 | 3,5 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 7 | 26835 | 25862 | 26349 | 26149 | 951,5 | 3,1 | 9,8 |
| | | 8 | 25610 | 25901 | 25756 | | 882,9 | 2,9 | 9,0 |
| | | 10 | 26860 | 25825 | 26343 | | 912,6 | 3,0 | 9,4 |
| | 15 5d@85°C | 7 | 18349 | 18107 | 18228 | 17561 | 973,9 | 5,2 | 10,0 |
| | | 8 | 16862 | 16324 | 16593 | | 892,5 | 5,1 | 9,1 |
| | | 10 | 18186 | 17537 | 17862 | | 940,9 | 5,0 | 9,7 |
| | 30 5d@85°C | 7 | 7697 | 7075 | 7386 | 7539 | 354,3 | 5,1 | 3,7 |
| | | 8 | 7195 | 7583 | 7389 | | 340,2 | 4,9 | 3,5 |
| | | 10 | 8103 | 7583 | 7843 | | 366,5 | 4,9 | 3,8 |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 13 | 20862 | 22025 | 21444 | 20723 | 775,4 | 3,1 | 8,3 |
| | | 14 | 19693 | 19332 | 19513 | | 716,9 | 3,1 | 8,3 |
| | | 16 | 21695 | 20733 | 21214 | | 739,2 | 3,0 | 7,9 |
| | 15 5d@85°C | 13 | 15479 | 15283 | 15381 | 14157 | 811,9 | 5,0 | 8,7 |
| | | 14 | 13598 | 12595 | 13097 | | 707,2 | 5,1 | 8,2 |
| | | 16 | 13864 | 14123 | 13994 | | 745,9 | 5,0 | 8,0 |
| | 30 5d@85°C | 13 | 6979 | 7138 | 7059 | 6524 | 334,0 | 4,9 | 3,6 |
| | | 14 | 6426 | 5839 | 6133 | | 296,0 | 5,0 | 3,4 |
| | | 16 | 6716 | 6048 | 6382 | | 305,6 | 5,0 | 3,3 |

Tab. B22 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 135 °C

| ACP16+ R60% - 135 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 55 | 20729 | 21433 | 21081 | 20992 | 765,1 | 3,1 | 7,9 |
| | | 56 | 19895 | 19922 | 19909 | | 698,7 | 3,0 | 7,4 |
| | | 58 | 22614 | 21360 | 21987 | | 814,8 | 3,2 | 8,5 |
| | 15 5d@85°C | 55 | 11026 | 11210 | 11118 | 11145 | 582,3 | 4,9 | 6,0 |
| | | 56 | 11389 | 10534 | 10962 | | 585,1 | 5,1 | 6,2 |
| | | 58 | 11001 | 11712 | 11357 | | 602,7 | 5,0 | 6,3 |
| | 30 5d@85°C | 55 | 4146 | 4192 | 4169 | 4109 | 198,6 | 5,0 | 2,1 |
| | | 56 | 3917 | 4384 | 4151 | | 201,6 | 5,1 | 2,2 |
| | | 58 | 3977 | 4038 | 4008 | | 191,0 | 5,0 | 2,0 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 61 | 20656 | 20481 | 20569 | 21044 | 725,1 | 3,0 | 7,7 |
| | | 62 | 23025 | 22847 | 22936 | | 791,3 | 2,9 | 8,5 |
| | | 64 | 19782 | 19473 | 19628 | | 711,4 | 3,1 | 7,5 |
| | 15 5d@85°C | 61 | 11354 | 11616 | 11485 | 11469 | 606,4 | 5,0 | 6,5 |
| | | 62 | 11457 | 12295 | 11876 | | 633,2 | 5,0 | 6,8 |
| | | 64 | 10817 | 11273 | 11045 | | 588,0 | 5,0 | 6,2 |
| | 30 5d@85°C | 61 | 3824 | 4019 | 3922 | 3851 | 188,4 | 5,1 | 2,0 |
| | | 62 | 3853 | 3863 | 3858 | | 185,3 | 5,0 | 2,0 |
| | | 64 | 3827 | 3721 | 3774 | | 182,2 | 5,1 | 1,9 |

Tab. B23 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 135 °C

| ACP16+ R60% - 135 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 67 | 18267 | 18793 | 18530 | 17488 | 639,0 | 3,0 | 7,0 |
| | | 68 | 16232 | 17467 | 16850 | | 605,2 | 3,1 | 6,6 |
| | | 70 | 16500 | 17671 | 17086 | | 618,2 | 3,1 | 6,4 |
| | 15 5d@85°C | 67 | 10568 | 9735 | 10152 | 9709 | 538,7 | 5,0 | 5,8 |
| | | 68 | 9059 | 9199 | 9129 | | 479,3 | 4,9 | 5,2 |
| | | 70 | 10091 | 9599 | 9845 | | 534,6 | 5,1 | 5,5 |
| | 30 5d@85°C | 67 | 3385 | 3442 | 3414 | 3363 | 160,3 | 5,0 | 1,8 |
| | | 68 | 3239 | 3149 | 3194 | | 152,0 | 5,0 | 1,6 |
| | | 70 | 3507 | 3455 | 3481 | | 162,8 | 5,0 | 1,7 |

Tab. B24 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 120 °C

| ACP16+ R60% - 120 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla | |
|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|---------------------|------------------------|-----------------|-----|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | [kPa] | [micron] | [kN] | |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 19 | 21061 | 21968 | 21515 | 22274 | 764,1 | 3,0 | 8,1 |
| | | 20 | 22624 | 22883 | 22754 | | 810,1 | 3,0 | 8,2 |
| | | 22 | 23612 | 21494 | 22553 | | 796,3 | 3,0 | 7,9 |
| | 15 5d@85°C | 19 | 12587 | 11840 | 12214 | 12504 | 646,7 | 5,0 | 6,8 |
| | | 20 | 13537 | 12708 | 13123 | | 702,9 | 5,1 | 7,1 |
| | | 22 | 12649 | 11701 | 12175 | | 636,9 | 5,0 | 6,4 |
| | 30 5d@85°C | 19 | 3971 | 3964 | 3968 | 4170 | 194,3 | 5,1 | 2,0 |
| | | 20 | 4057 | 4193 | 4125 | | 200,7 | 5,1 | 2,1 |
| | | 22 | 4494 | 4342 | 4418 | | 216,2 | 5,2 | 2,2 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 25 | 22177 | 22338 | 22258 | 21252 | 800,4 | 3,0 | 8,3 |
| | | 26 | 21234 | 20171 | 20703 | | 691,8 | 2,9 | 7,1 |
| | | 28 | 20509 | 21082 | 20796 | | 750,9 | 3,1 | 7,6 |
| | 15 5d@85°C | 25 | 12194 | 12021 | 12108 | 11475 | 620,6 | 4,9 | 6,4 |
| | | 26 | 10423 | 11442 | 10933 | | 574,0 | 4,9 | 5,9 |
| | | 28 | 11458 | 11314 | 11386 | | 611,0 | 5,1 | 6,2 |
| | 30 5d@85°C | 25 | 3873 | 4043 | 3958 | 3697 | 188,2 | 5,0 | 2,0 |
| | | 26 | 3461 | 3439 | 3450 | | 171,2 | 5,2 | 1,8 |
| | | 28 | 3578 | 3790 | 3684 | | 179,4 | 5,1 | 1,8 |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 31 | 20923 | 20720 | 20822 | 19608 | 732,0 | 3,0 | 7,3 |
| | | 32 | 20133 | 19146 | 19640 | | 711,6 | 3,1 | 7,4 |
| | | 34 | 18667 | 18057 | 18362 | | 662,3 | 3,0 | 7,0 |
| | 15 5d@85°C | 31 | 11729 | 11883 | 11806 | 10845 | 634,6 | 5,1 | 6,3 |
| | | 32 | 10542 | 10841 | 10692 | | 573,6 | 5,0 | 5,9 |
| | | 34 | 9929 | 10148 | 10039 | | 533,8 | 5,0 | 5,6 |
| | 30 5d@85°C | 31 | 3832 | 3600 | 3716 | 3406 | 177,9 | 5,0 | 1,8 |
| | | 32 | 3503 | 3190 | 3347 | | 153,8 | 4,9 | 1,6 |
| | | 34 | 3080 | 3232 | 3156 | | 150,3 | 5,0 | 1,6 |

Tab. B25 Modul tuhosti zestárých zkušebních těles ACP16+ R60% - 90 °C

| ACP16+ R60% - 90 °C | | | Modul tuhosti [MPa] | | | | Horizontální napětí | Horizontální deformace | Vertikální síla |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------|--------|-------|---------------------|------------------------|-----------------|
| Počet úderů | Teplota [°C] | Zkušební těleso | 1. měření | 2. měření | Průměr | | [kPa] | [micron] | [kN] |
| 2x50 | 0 5d@85°C | 37 | 20111 | 19232 | 19672 | 19144 | 716,4 | 3,1 | 7,2 |
| | | 38 | 21362 | 20141 | 20752 | | 762,2 | 3,1 | 7,9 |
| | | 40 | 17109 | 16910 | 17010 | | 603,1 | 3,0 | 6,2 |
| | 15 5d@85°C | 37 | 10136 | 9488 | 9812 | 9612 | 535,7 | 5,1 | 5,4 |
| | | 38 | 9659 | 10437 | 10048 | | 537,0 | 5,0 | 5,6 |
| | | 40 | 9093 | 8859 | 8976 | | 475,9 | 5,0 | 5,0 |
| | 30 5d@85°C | 37 | 3586 | 3353 | 3470 | 3443 | 165,2 | 5,0 | 1,7 |
| | | 38 | 3319 | 3357 | 3338 | | 160,4 | 5,1 | 1,7 |
| | | 40 | 3470 | 3570 | 3520 | | 166,6 | 5,0 | 1,8 |
| 2x40 | 0 5d@85°C | 43 | 23018 | 22538 | 22778 | 16726 | 787,3 | 3,0 | 8,2 |
| | | 44 | 17356 | 17167 | 17262 | | 619,8 | 3,1 | 6,3 |
| | | 46 | 16453 | 15927 | 16190 | | 579,8 | 3,0 | 6,0 |
| | 15 5d@85°C | 43 | 9248 | 8993 | 9121 | 8409 | 489,8 | 5,0 | 5,1 |
| | | 44 | 8451 | 7836 | 8144 | | 440,7 | 5,1 | 4,5 |
| | | 46 | 7806 | 8121 | 7964 | | 421,2 | 5,0 | 4,4 |
| | 30 5d@85°C | 43 | 3194 | 3413 | 3304 | 3055 | 157,1 | 5,0 | 1,7 |
| | | 44 | 2987 | 3038 | 3013 | | 142,6 | 5,0 | 1,5 |
| | | 46 | 2913 | 2782 | 2848 | | 132,9 | 4,9 | 1,4 |
| 2x25 | 0 5d@85°C | 49 | 15177 | 15298 | 15238 | 14918 | 548,4 | 3,0 | 5,8 |
| | | 50 | 14844 | 14923 | 14884 | | 537,8 | 3,0 | 5,4 |
| | | 52 | 15173 | 14095 | 14634 | | 524,8 | 3,1 | 5,3 |
| | 15 5d@85°C | 49 | 7361 | 7277 | 7319 | 7215 | 400,7 | 5,1 | 4,2 |
| | | 50 | 7008 | 7259 | 7134 | | 380,5 | 5,0 | 3,8 |
| | | 52 | 6955 | 7431 | 7193 | | 390,1 | 5,1 | 4,0 |
| | 30 5d@85°C | 49 | 2533 | 2765 | 2649 | 2769 | 124,1 | 4,9 | 1,4 |
| | | 50 | 3093 | 2818 | 2956 | | 138,2 | 5,0 | 1,4 |
| | | 52 | 2885 | 2517 | 2701 | | 127,4 | 5,0 | 1,3 |

PŘÍLOHA C

Tab. C1 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11S PMB (HiMA) při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetvoření | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetvoření | |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|-------|----------|---------------------|------------------------|--------------------|------|
| | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ | |
| | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] | |
| Nezestárlá zkušební tělesa | 1A | 49,2 | 101,8 | 50,5 | 0,99 | 11,02 | 7,34 | 9,38 | 68,83 | 1,96 | |
| | 1B | 49,2 | 101,4 | 47,8 | 0,69 | 8,27 | 7,53 | 7,07 | 53,19 | 1,44 | |
| | 5A | 50,0 | 101,7 | 48,1 | 1,19 | 8,12 | 7,51 | 6,81 | 51,10 | 2,48 | |
| | 5B | 50,1 | 101,7 | 50,6 | 0,62 | 9,03 | 7,33 | 7,56 | 55,44 | 1,23 | |
| | 9A | 49,2 | 101,9 | 48,1 | 1,11 | 8,10 | 7,50 | 6,89 | 51,69 | 2,31 | |
| | 9B | 49,1 | 102,0 | 50,7 | 0,68 | 8,92 | 7,32 | 7,60 | 55,62 | 1,34 | |
| | 10A | 49,4 | 101,7 | 50,1 | 0,63 | 8,61 | 7,36 | 7,30 | 53,73 | 1,26 | |
| | 10B | 52,8 | 101,8 | 48,2 | 0,96 | 8,11 | 7,50 | 6,43 | 48,18 | 1,99 | |
| 5d@85°C | 3A | 49,8 | 101,8 | 49,5 | 0,92 | 10,03 | 7,40 | 8,43 | 62,42 | 1,86 | |
| | 3B | 49,8 | 101,7 | 48,9 | 0,85 | 9,35 | 7,45 | 7,87 | 58,61 | 1,74 | |
| | 4A | 49,8 | 103,0 | 49,7 | 0,72 | 9,27 | 7,39 | 7,70 | 56,91 | 1,45 | |
| | 4B | 49,7 | 103,1 | 50,2 | 0,83 | 9,23 | 7,36 | 7,68 | 56,53 | 1,65 | |
| | 15A | 49,9 | 101,4 | 49,6 | - | - | 7,40 | - | - | - | |
| | 15B | 49,7 | 101,5 | 48,6 | 0,77 | 8,42 | 7,46 | 7,11 | 53,08 | 1,58 | |
| | 16A | 49,4 | 101,7 | 49,6 | 0,80 | 9,64 | 7,40 | 8,18 | 60,51 | 1,61 | |
| | 16B | 49,2 | 101,6 | 48,6 | 0,71 | 8,75 | 7,47 | 7,46 | 55,69 | 1,46 | |
| 10d@85°C | 2A | 50,0 | 101,4 | 48,7 | 0,64 | 8,97 | 7,46 | 7,54 | 56,29 | 1,31 | |
| | 2B | 50,3 | 101,8 | 49,8 | 0,77 | 10,18 | 7,38 | 8,49 | 62,66 | 1,55 | |
| | 6A | 49,6 | 101,7 | 49,6 | 0,83 | 10,43 | 7,40 | 8,81 | 65,19 | 1,67 | |
| | 6B | 49,7 | 101,6 | 48,7 | 0,82 | 10,02 | 7,46 | 8,47 | 63,15 | 1,68 | |
| | 11A | 49,9 | 101,5 | 48,9 | 0,76 | 9,56 | 7,45 | 8,05 | 59,97 | 1,55 | |
| | 11B | 49,8 | 101,7 | 49,6 | 0,82 | 11,64 | 7,40 | 9,80 | 72,53 | 1,65 | |
| | 12A | 49,7 | 102,2 | 49,6 | 0,89 | 8,26 | 7,40 | 6,93 | 51,25 | 1,79 | |
| | 12B | 49,6 | 102,1 | 49,3 | 0,72 | 9,71 | 7,42 | 8,17 | 60,62 | 1,46 | |
| PAV@85°C | 7A | 52,8 | 101,8 | 49,5 | 0,82 | 6,12 | 7,40 | 4,86 | 35,95 | 1,66 | |
| | 7B | 52,0 | 101,7 | 49,4 | 0,69 | 7,11 | 7,41 | 5,73 | 42,46 | 1,40 | |
| | 8A | 51,7 | 102,2 | 49,3 | 1,03 | 5,64 | 7,42 | 4,55 | 33,74 | 2,09 | |
| | 8B | 51,8 | 102,6 | 49,7 | 0,91 | 5,53 | 7,39 | 4,44 | 32,80 | 1,83 | |
| | 13A | 54,0 | 102,4 | 50,1 | 0,71 | 5,88 | 7,36 | 4,54 | 33,40 | 1,42 | |
| | 13B | 53,5 | 102,3 | 49,7 | 1,28 | 7,79 | 7,39 | 6,07 | 44,86 | 2,58 | |
| | 14A | 48,4 | 101,6 | 48,7 | 1,09 | 6,28 | 7,46 | 5,44 | 40,56 | 2,24 | |
| | 14B | 48,5 | 101,6 | 49,8 | 1,06 | 6,70 | 7,39 | 5,79 | 42,77 | 2,13 | |
| ACO11S PMB 25/55-80 (HiMA) | | | | | | | | Nezestárlé | 7,38 | 54,72 | 1,75 |
| | | | | | | | | 5d@85°C | 7,78 | 57,68 | 1,62 |
| | | | | | | | | 10d@85°C | 8,28 | 61,46 | 1,59 |
| | | | | | | | | PAV@85°C | 5,18 | 38,32 | 1,92 |

Tab. C2 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11S 50/70 při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetvoření | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetvoření |
|--------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|-------|----------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| 5d@85°C | 4A | 51,1 | 101,4 | 48,7 | 0,62 | 8,42 | 7,46 | 6,92 | 51,64 | 1,27 |
| | 4B | 50,9 | 101,5 | 49,5 | 0,54 | 8,30 | 7,40 | 6,85 | 50,71 | 1,09 |
| | 5A | 47,6 | 101,6 | 48,9 | 0,57 | 7,64 | 7,45 | 6,74 | 50,19 | 1,17 |
| | 5B | 47,4 | 101,5 | 49,4 | 0,74 | 9,19 | 7,41 | 8,14 | 60,31 | 1,50 |
| | 6A | 49,6 | 103,2 | 49,9 | 0,94 | 8,19 | 7,38 | 6,82 | 50,32 | 1,88 |
| | 6B | 49,1 | 103,2 | 49,9 | 0,89 | 10,09 | 7,38 | 8,49 | 62,67 | 1,78 |
| | 9A | 49,4 | 102,4 | 50,1 | 0,84 | 9,92 | 7,37 | 8,36 | 61,59 | 1,68 |
| | 9B | 49,7 | 102,8 | 50,0 | 0,95 | 9,38 | 7,37 | 7,82 | 57,66 | 1,90 |
| 10d@85°C | 1A | 49,8 | 101,7 | 50,2 | 0,73 | 8,62 | 7,35 | 7,26 | 53,40 | 1,45 |
| | 1B | 50,2 | 101,3 | 48,2 | 0,52 | 8,04 | 7,49 | 6,74 | 50,48 | 1,08 |
| | 3A | 49,8 | 102,4 | 49,6 | 0,52 | 8,36 | 7,40 | 6,99 | 51,70 | 1,05 |
| | 3B | 49,8 | 102,2 | 49,1 | 0,63 | 7,84 | 7,43 | 6,57 | 48,78 | 1,28 |
| | 12A | 50,1 | 101,5 | 48,5 | 0,83 | 8,92 | 7,48 | 7,48 | 55,91 | 1,71 |
| | 12B | 49,9 | 101,7 | 49,8 | 0,64 | 8,92 | 7,38 | 7,49 | 55,27 | 1,28 |
| | 13A | 50,1 | 101,6 | 48,5 | 0,62 | 8,43 | 7,47 | 7,06 | 52,75 | 1,28 |
| | 13B | 49,8 | 101,9 | 49,9 | 0,62 | 8,66 | 7,38 | 7,28 | 53,67 | 1,24 |
| 15d@85°C | 2A | 50,9 | 101,3 | 48,7 | 0,78 | 9,05 | 7,46 | 7,48 | 55,78 | 1,60 |
| | 2B | 51,2 | 101,7 | 49,9 | 0,88 | 9,05 | 7,38 | 7,41 | 54,70 | 1,76 |
| | 8A | 50,8 | 101,7 | 49,0 | 0,71 | 8,59 | 7,44 | 7,09 | 52,74 | 1,45 |
| | 8B | 50,9 | 101,6 | 49,6 | 0,49 | 6,81 | 7,40 | 5,62 | 41,57 | 0,99 |
| | 10A | 51,9 | 101,6 | 48,9 | 0,55 | 7,27 | 7,44 | 5,88 | 43,74 | 1,12 |
| | 10B | 51,5 | 101,5 | 49,7 | 0,93 | 8,90 | 7,39 | 7,25 | 53,60 | 1,87 |
| | 11A | 51,1 | 101,7 | 48,7 | 0,59 | 8,1 | 7,46 | 6,65 | 49,62 | 1,21 |
| | 11B | 50,9 | 102,1 | 50,0 | 0,72 | 8,09 | 7,37 | 6,63 | 48,88 | 1,44 |
| PAV@85°C | 7A | 49,4 | 102,2 | 49,4 | 0,88 | 5,94 | 7,41 | 5,02 | 37,20 | 1,78 |
| | 7B | 49,7 | 102,3 | 49,7 | 0,81 | 6,13 | 7,39 | 5,14 | 38,01 | 1,63 |
| | 14A | 50,2 | 103,0 | 49,2 | 0,97 | 5,63 | 7,43 | 4,65 | 34,51 | 1,97 |
| | 14B | 50,2 | 103,3 | 50,1 | 0,63 | 5,19 | 7,37 | 4,27 | 31,42 | 1,26 |
| | 15A | 49,7 | 102,1 | 50,6 | 1,10 | 6,01 | 7,33 | 5,05 | 37,04 | 2,18 |
| | 15B | 51,3 | 102,0 | 49,3 | 1,25 | 5,82 | 7,42 | 4,74 | 35,19 | 2,53 |
| | 16A | 51,2 | 101,9 | 49,2 | 0,85 | 6,46 | 7,42 | 5,28 | 39,20 | 1,73 |
| | 16B | 51,0 | 101,9 | 50,1 | 0,87 | 5,14 | 7,36 | 4,22 | 31,06 | 1,74 |
| ACO11S 50/70 | | | | | | | 5d@85°C | 7,52 | 55,64 | 1,53 |
| | | | | | | | 10d@85°C | 7,11 | 52,74 | 1,30 |
| | | | | | | | 15d@85°C | 6,75 | 50,08 | 1,43 |
| | | | | | | | PAV@85°C | 4,80 | 35,45 | 1,85 |

Tab. C3 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa SMA11S PMB při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetvoření | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetvoření |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|-------|------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Nezestárlá zkušební tělesa | 1A | 50,1 | 101,8 | 50,0 | 0,67 | 7,21 | 7,37 | 6,03 | 44,46 | 1,34 |
| | 1B | 50,2 | 101,6 | 48,5 | 0,65 | 7,42 | 7,47 | 6,20 | 46,32 | 1,34 |
| | 2A | 51,4 | 101,4 | 48,6 | 0,75 | 8,96 | 7,47 | 7,32 | 54,66 | 1,54 |
| | 2B | 51,4 | 101,6 | 49,8 | 0,67 | 9,65 | 7,39 | 7,87 | 58,13 | 1,35 |
| | 3A | 51,3 | 101,5 | 48,2 | 0,65 | 7,33 | 7,50 | 6,00 | 44,95 | 1,35 |
| | 3B | 51,2 | 101,8 | 50,5 | 0,78 | 9,48 | 7,34 | 7,76 | 56,91 | 1,55 |
| | 12A | 51,7 | 101,8 | 51,2 | 0,88 | 9,83 | 7,29 | 7,95 | 57,97 | 1,72 |
| | 12B | 51,7 | 101,4 | 47,4 | 0,66 | 7,59 | 7,55 | 6,18 | 46,63 | 1,39 |
| 5d@85°C | 4A | 51,4 | 101,6 | 48,8 | 0,68 | 7,03 | 7,45 | 5,74 | 42,78 | 1,39 |
| | 4B | 51,7 | 101,8 | 49,8 | 1,24 | 11,06 | 7,38 | 8,95 | 66,08 | 2,49 |
| | 5A | 50,6 | 101,5 | 48,6 | 0,52 | 7,27 | 7,47 | 6,04 | 45,08 | 1,07 |
| | 5B | 50,3 | 101,6 | 49,9 | 0,56 | 8,45 | 7,38 | 7,05 | 52,01 | 1,12 |
| | 6A | 51,2 | 101,6 | 48,1 | 0,63 | 7,57 | 7,50 | 6,20 | 46,51 | 1,31 |
| | 6B | 51,2 | 101,5 | 49,6 | 0,77 | 9,23 | 7,40 | 7,56 | 55,94 | 1,55 |
| | 7A | 50,7 | 101,5 | 48,9 | 0,62 | 7,72 | 7,44 | 6,39 | 47,59 | 1,27 |
| | 7B | 51,1 | 101,5 | 49,4 | 0,93 | 9,2 | 7,41 | 7,56 | 56,02 | 1,88 |
| 10d@85°C | 8A | 50,9 | 101,8 | 50,2 | 0,72 | 7,68 | 7,36 | 6,31 | 46,46 | 1,43 |
| | 8B | 50,7 | 101,6 | 48,1 | 0,63 | 7,26 | 7,50 | 6,01 | 45,13 | 1,31 |
| | 9A | 50,4 | 101,7 | 49,6 | 0,59 | 7,87 | 7,40 | 6,54 | 48,41 | 1,19 |
| | 9B | 51,0 | 101,6 | 48,8 | 0,80 | 9,49 | 7,45 | 7,81 | 58,23 | 1,64 |
| | 10A | 51,0 | 101,6 | 49,2 | 0,61 | 6,90 | 7,42 | 5,68 | 42,17 | 1,24 |
| | 10B | 51,0 | 101,6 | 49,1 | 0,58 | 7,46 | 7,43 | 6,14 | 45,64 | 1,18 |
| | 11A | 51,5 | 101,7 | 48,7 | 0,65 | 7,02 | 7,46 | 5,71 | 42,61 | 1,33 |
| | 11B | 51,1 | 101,9 | 50,0 | 0,81 | 7,60 | 7,37 | 6,22 | 45,81 | 1,62 |
| PAV@85°C | 13A | 49,4 | 101,7 | 49,8 | 1,46 | 8,18 | 7,38 | 6,95 | 51,28 | 2,93 |
| | 13B | 49,6 | 101,6 | 49,3 | 1,22 | 7,84 | 7,42 | 6,63 | 49,17 | 2,48 |
| | 14A | 49,3 | 101,5 | 49,4 | 1,01 | 7,36 | 7,41 | 6,26 | 46,43 | 2,05 |
| | 14B | 49,7 | 102,1 | 49,6 | 0,95 | 8,02 | 7,40 | 6,74 | 49,87 | 1,92 |
| | 15A | 49,2 | 102,1 | 49,7 | 1,03 | 7,67 | 7,39 | 6,51 | 48,10 | 2,07 |
| | 15B | 48,7 | 102,1 | 49,3 | 0,96 | 7,24 | 7,42 | 6,20 | 46,00 | 1,95 |
| | 16A | 49,0 | 102,9 | 50,7 | 1,11 | 7,10 | 7,32 | 6,00 | 43,92 | 2,19 |
| | 16B | 48,9 | 102,2 | 49,8 | 0,69 | 6,16 | 7,39 | 5,26 | 38,84 | 1,39 |
| SMA11S PMB | | | | | | | Nezestárlé | 6,91 | 51,26 | 1,45 |
| | | | | | | | 5d@85°C | 6,65 | 49,42 | 1,37 |
| | | | | | | | 10d@85°C | 6,30 | 46,81 | 1,37 |
| | | | | | | | PAV@85°C | 6,32 | 46,70 | 2,12 |

Tab.C4 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11S_{Třeb.} PMB a ACP22S PMB při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetvoření | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetvoření |
|-----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|------|------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Nezestárá | 1A | 49,7 | 101,7 | 49,0 | 0,76 | 6,80 | 7,44 | 5,74 | 42,67 | 1,55 |
| | 1B | 49,7 | 101,5 | 49,0 | 0,55 | 7,27 | 7,44 | 6,14 | 45,65 | 1,12 |
| | 2A | 49,8 | 101,5 | 49,0 | 0,79 | 6,41 | 7,44 | 5,40 | 40,21 | 1,61 |
| | 2B | 49,5 | 101,3 | 48,8 | 0,63 | 6,80 | 7,45 | 5,78 | 43,09 | 1,29 |
| | 3A | 49,7 | 101,6 | 49,2 | 0,60 | 6,89 | 7,42 | 5,82 | 43,23 | 1,22 |
| | 3B | 49,8 | 101,5 | 48,9 | 0,62 | 6,67 | 7,45 | 5,62 | 41,87 | 1,27 |
| 5d@85°C | 4A | 50,0 | 101,4 | 49,0 | 0,68 | 6,81 | 7,44 | 5,72 | 42,57 | 1,39 |
| | 4B | 49,7 | 101,2 | 48,1 | 0,95 | 6,87 | 7,50 | 5,82 | 43,63 | 1,97 |
| | 5A | 48,8 | 102,8 | 49,0 | 1,35 | 7,95 | 7,44 | 6,76 | 50,29 | 2,76 |
| | 5B | 50,3 | 102,9 | 50,6 | 0,77 | 7,55 | 7,33 | 6,22 | 45,58 | 1,52 |
| | 6A | 50,0 | 101,1 | 48,1 | 0,69 | 7,53 | 7,50 | 6,35 | 47,62 | 1,43 |
| | 6B | 49,1 | 101,3 | 49,8 | 0,62 | 7,56 | 7,39 | 6,47 | 47,81 | 1,25 |
| PAV@85°C | 7A | 49,1 | 102,1 | 48,9 | 1,00 | 5,20 | 7,44 | 4,42 | 32,88 | 2,04 |
| | 7B | 48,2 | 102,3 | 49,4 | 0,80 | 4,95 | 7,41 | 4,28 | 31,73 | 1,62 |
| | 8A | 50,6 | 101,7 | 49,5 | 1,38 | 5,80 | 7,41 | 4,80 | 35,57 | 2,79 |
| | 8B | 50,0 | 101,8 | 49,5 | 2,54 | 6,66 | 7,40 | 5,58 | 41,30 | 5,13 |
| | 9A | 49,8 | 102,7 | 50,4 | 1,61 | 6,64 | 7,34 | 5,53 | 40,59 | 3,19 |
| | 9B | 48,0 | 102,0 | 48,2 | 0,96 | 5,45 | 7,49 | 4,75 | 35,60 | 1,99 |
| ACO11S _{Třeb.} PMB | | | | | | | Nezestárlé | 5,75 | 42,79 | 1,34 |
| | | | | | | | 5d@85°C | 6,22 | 46,25 | 1,72 |
| | | | | | | | PAV@85°C | 4,76 | 35,27 | 2,33 |
| Nezestárá | 10A | 49,1 | 101,5 | 48,6 | 0,59 | 5,35 | 7,47 | 4,58 | 34,17 | 1,21 |
| | 10B | 48,8 | 101,3 | 49,1 | 1,11 | 5,89 | 7,44 | 5,09 | 37,81 | 2,26 |
| | 14A | 50,0 | 101,1 | 49,7 | 0,88 | 5,04 | 7,39 | 4,25 | 31,40 | 1,77 |
| | 14B | 49,5 | 101,5 | 48,7 | 0,96 | 5,25 | 7,46 | 4,45 | 33,22 | 1,97 |
| | 15A | 49,0 | 100,9 | 48,7 | 0,88 | 3,81 | 7,46 | 3,29 | 24,52 | 1,81 |
| | 15B | 50,4 | 100,8 | 49,0 | 1,23 | 6,18 | 7,44 | 5,19 | 38,58 | 2,51 |
| 5d@85°C | 3A | 49,8 | 101,4 | 49,2 | 1,05 | 4,58 | 7,42 | 3,87 | 28,73 | 2,13 |
| | 3B | 48,6 | 101,5 | 48,7 | 0,65 | 4,86 | 7,46 | 4,20 | 31,34 | 1,33 |
| | 4A | 48,9 | 101,2 | 48,5 | 1,31 | 5,44 | 7,47 | 4,69 | 35,06 | 2,70 |
| | 4B | 50,6 | 101,3 | 50,0 | 0,71 | 5,85 | 7,37 | 4,87 | 35,87 | 1,42 |
| | 5A | 50,2 | 101,6 | 49,7 | 0,73 | 5,35 | 7,39 | 4,47 | 33,06 | 1,47 |
| | 5B | 49,2 | 101,0 | 47,3 | 0,89 | 4,16 | 7,56 | 3,57 | 26,99 | 1,88 |
| 9d@85°C | 11A | 48,1 | 101,3 | 50,7 | 0,59 | 5,64 | 7,32 | 4,94 | 36,16 | 1,16 |
| | 11B | 49,8 | 101,7 | 48,0 | 1,04 | 1,71 | 7,51 | 1,44 | 10,82 | 2,17 |
| | 12A | 50,3 | 101,8 | 50,8 | 0,73 | 7,28 | 7,31 | 6,07 | 44,37 | 1,44 |
| | 12B | 49,1 | 101,3 | 46,5 | 0,64 | 3,66 | 7,61 | 3,13 | 23,87 | 1,38 |
| | 13A | 50,4 | 103,1 | 48,5 | 0,73 | 6,50 | 7,48 | 5,33 | 39,87 | 1,51 |
| | 13B | 48,9 | 102,8 | 50,0 | 0,69 | 5,97 | 7,37 | 5,07 | 37,33 | 1,38 |
| PAV@85°C | 6A | 50,7 | 101,7 | 49,9 | 0,90 | 6,45 | 7,37 | 5,33 | 39,34 | 1,80 |
| | 6B | 51,7 | 101,4 | 48,2 | 0,92 | 5,50 | 7,50 | 4,48 | 33,57 | 1,91 |
| | 7A | 51,2 | 101,5 | 47,1 | 0,66 | 4,70 | 7,57 | 3,86 | 29,20 | 1,40 |
| | 7B | 51,0 | 102,5 | 51,7 | 0,68 | 5,00 | 7,25 | 4,07 | 29,55 | 1,31 |
| | 8A | 49,9 | 101,8 | 50,3 | 0,94 | 4,34 | 7,35 | 3,64 | 26,78 | 1,87 |
| | 8B | 51,1 | 101,6 | 49,1 | 0,71 | 2,72 | 7,43 | 2,24 | 16,62 | 1,45 |
| ACP22S PMB | | | | | | | Nezestárlé | 4,71 | 35,04 | 1,95 |
| | | | | | | | 5d@85°C | 4,16 | 31,04 | 1,90 |
| | | | | | | | 9d@85°C | 5,35 | 39,43 | 1,37 |
| | | | | | | | PAV@85°C | 3,94 | 29,18 | 1,62 |

Tab. C5 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa VMT22 při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetvoření | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetvoření |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|------|------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Nezestárlá zkušební tělesa | 1A | 52,0 | 104,0 | 52,0 | 0,72 | 6,91 | 7,24 | 5,45 | 39,44 | 1,38 |
| | 1B | 50,8 | 103,6 | 48,6 | 0,42 | 6,24 | 7,47 | 5,06 | 37,77 | 0,86 |
| | 2A | 48,6 | 103,3 | 51,7 | 1,58 | 7,83 | 7,26 | 6,65 | 48,25 | 3,06 |
| | 2B | 47,7 | 102,7 | 48,3 | 1,06 | 5,46 | 7,49 | 4,75 | 35,55 | 2,20 |
| | 3A | 50,8 | 103,4 | 52,0 | 0,57 | 7,38 | 7,23 | 5,99 | 43,35 | 1,10 |
| | 3B | 52,0 | 103,0 | 47,8 | 0,77 | 6,54 | 7,53 | 5,20 | 39,17 | 1,61 |
| 5d@85°C | 4A | 49,9 | 103,0 | 50,4 | 0,91 | 8,08 | 7,34 | 6,70 | 49,21 | 1,80 |
| | 4B | 49,7 | 103,1 | 49,4 | 0,79 | 5,41 | 7,41 | 4,50 | 33,39 | 1,60 |
| | 5A | 50,2 | 103,4 | 50,8 | - | - | 7,32 | - | - | - |
| | 5B | 49,6 | 103,6 | 49,7 | 0,98 | 7,24 | 7,39 | 6,01 | 44,40 | 1,97 |
| | 6A | 49,8 | 103,0 | 50,8 | 0,62 | 8,36 | 7,31 | 6,95 | 50,81 | 1,22 |
| | 6B | 49,1 | 102,8 | 48,8 | 0,87 | 6,56 | 7,45 | 5,54 | 41,31 | 1,78 |
| VMT22 PMB 10/40-65 | | | | | | | Nezestárle | 5,67 | 41,60 | 1,60 |
| | | | | | | | 5d@85°C | 5,94 | 43,82 | 1,68 |
| Nezestárlá zkušební tělesa | 1A | 51,2 | 102,2 | 49,3 | 0,63 | 6,78 | 7,42 | 5,52 | 40,97 | 1,28 |
| | 1B | 51,4 | 102,3 | 50,4 | 1,20 | 8,53 | 7,34 | 6,91 | 50,74 | 2,38 |
| | 2A | 50,7 | 101,4 | 47,4 | 0,58 | 5,60 | 7,55 | 4,65 | 35,10 | 1,22 |
| | 2B | 50,8 | 101,9 | 51,4 | 0,51 | 6,42 | 7,28 | 5,29 | 38,53 | 0,99 |
| | 3A | 51,4 | 101,8 | 50,5 | 0,52 | 8,09 | 7,34 | 6,59 | 48,34 | 1,03 |
| | 3B | 51,7 | 101,5 | 47,9 | 0,57 | 6,10 | 7,52 | 4,95 | 37,23 | 1,19 |
| 5d@85°C | 4A | 48,7 | 101,8 | 49,6 | 0,77 | 5,20 | 7,40 | 4,47 | 33,09 | 1,55 |
| | 4B | 48,5 | 102,0 | 49,1 | 0,56 | 6,73 | 7,43 | 5,80 | 43,07 | 1,14 |
| | 5A | 48,5 | 101,9 | 49,3 | 1,84 | 4,64 | 7,42 | 4,00 | 29,71 | 3,73 |
| | 5B | 49,4 | 101,8 | 49,6 | 0,44 | 5,77 | 7,40 | 4,89 | 36,16 | 0,89 |
| | 6A | 49,4 | 102,4 | 49,3 | 0,65 | 5,25 | 7,42 | 4,43 | 32,84 | 1,32 |
| | 6B | 48,2 | 102,4 | 50,1 | 0,92 | 7,45 | 7,37 | 6,43 | 47,37 | 1,84 |
| VMT22 30/45 | | | | | | | Nezestárle | 5,40 | 40,03 | 1,14 |
| | | | | | | | 5d@85°C | 4,90 | 36,29 | 1,22 |
| Nezestárlá zkušební tělesa | 1A | 51,1 | 101,8 | 48,9 | 0,52 | 7,24 | 7,44 | 5,94 | 44,19 | 1,06 |
| | 1B | 51,2 | 101,8 | 49,8 | 0,49 | 6,76 | 7,38 | 5,53 | 40,80 | 0,98 |
| | 2A | 51,7 | 101,8 | 49,4 | 0,68 | 7,87 | 7,41 | 6,37 | 47,22 | 1,38 |
| | 2B | 52,0 | 101,6 | 49,4 | 0,94 | 6,54 | 7,41 | 5,28 | 39,11 | 1,90 |
| | 3A | 50,3 | 102,4 | 48,9 | 0,58 | 7,48 | 7,45 | 6,20 | 46,16 | 1,19 |
| | 3B | 50,1 | 102,4 | 50,5 | 0,58 | 6,18 | 7,33 | 5,13 | 37,62 | 1,15 |
| 5d@85°C | 4A | 49,1 | 102,0 | 50,2 | 0,85 | 7,29 | 7,35 | 6,21 | 45,66 | 1,69 |
| | 4B | 49,8 | 101,8 | 48,8 | 0,73 | 2,92 | 7,45 | 2,45 | 18,29 | 1,50 |
| | 5A | 49,4 | 102,0 | 49,9 | 0,53 | 7,67 | 7,37 | 6,49 | 47,85 | 1,06 |
| | 5B | 48,9 | 101,7 | 48,8 | 1,75 | 6,94 | 7,45 | 5,95 | 44,34 | 3,58 |
| | 6A | 48,9 | 102,4 | 50,1 | 0,81 | 6,70 | 7,36 | 5,71 | 42,02 | 1,62 |
| | 6B | 48,5 | 102,6 | 49,3 | 1,14 | 7,22 | 7,42 | 6,19 | 45,94 | 2,31 |
| VMT22 PMB 25/55-60 | | | | | | | Nezestárle | 5,74 | 42,52 | 1,28 |
| | | | | | | | 5d@85°C | 6,11 | 45,16 | 2,05 |

Tab. C6 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa VMT22 při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetvoření | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetvoření |
|-----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|-------------|----------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Nezestárání zkušební tělesa | 1A | 51,9 | 101,5 | 48,7 | 0,47 | 6,34 | 7,46 | 5,13 | 38,28 | 0,97 |
| | 1B | 51,9 | 101,6 | 49,9 | 0,74 | 7,43 | 7,38 | 6,00 | 44,30 | 1,48 |
| | 2A | 53,0 | 101,4 | 48,9 | 0,49 | 6,28 | 7,44 | 4,99 | 37,13 | 1,00 |
| | 2B | 52,7 | 101,4 | 49,7 | 0,56 | 6,17 | 7,39 | 4,92 | 36,37 | 1,13 |
| | 3A | 52,6 | 101,7 | 49,9 | 0,76 | 8,24 | 7,38 | 6,57 | 48,45 | 1,52 |
| | 3B | 52,4 | 101,3 | 48,7 | 0,56 | 6,81 | 7,46 | 5,47 | 40,82 | 1,15 |
| 5d@85°C | 4A | 48,5 | 101,7 | 49,8 | 0,59 | 6,96 | 7,38 | 6,02 | 44,45 | 1,18 |
| | 4B | 47,4 | 101,7 | 48,8 | 0,42 | 5,58 | 7,45 | 4,94 | 36,78 | 0,86 |
| | 5A | 47,8 | 101,6 | 49,4 | 0,79 | 7,35 | 7,41 | 6,46 | 47,88 | 1,60 |
| | 5B | 48,9 | 101,4 | 49,6 | 0,59 | 8,38 | 7,40 | 7,21 | 53,36 | 1,19 |
| | 6A | 48,9 | 101,4 | 50,0 | 0,81 | 5,47 | 7,37 | 4,70 | 34,65 | 1,62 |
| | 6B | 48,8 | 101,4 | 49,0 | 0,84 | 6,89 | 7,44 | 5,93 | 44,13 | 1,71 |
| VMT22 30/45 + 0,2% Wetfix | | | | | | Nezestárání | 5,30 | 39,38 | 1,15 | |
| | | | | | | 5d@85°C | 5,61 | 41,58 | 1,40 | |

Tab. C7 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (150 °C) při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Energie hutnění | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetv. | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetv. |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|-------------|----------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Nezestárání zkušební tělesa | 2x50 | V1A | 50,2 | 101,6 | 48,8 | 0,88 | 7,24 | 7,45 | 6,05 | 45,08 | 1,80 |
| | | V1B | 49,7 | 101,5 | 49,4 | 0,98 | 7,77 | 7,41 | 6,57 | 48,67 | 1,98 |
| | 2x40 | V2A | 49,6 | 101,6 | 48,7 | 0,78 | 6,38 | 7,46 | 5,40 | 40,31 | 1,60 |
| | | V2B | 49,2 | 101,6 | 49,8 | 0,78 | 5,48 | 7,39 | 4,68 | 34,54 | 1,57 |
| | 2x25 | V3A | 50,2 | 101,4 | 48,8 | 0,68 | 5,42 | 7,45 | 4,54 | 33,83 | 1,39 |
| | | V3B | 50,3 | 101,3 | 49,0 | 0,94 | 5,33 | 7,44 | 4,46 | 33,18 | 1,92 |
| 5d@85°C | 2x50 | 1A | 52,2 | 101,6 | 49,3 | 1,18 | 7,12 | 7,42 | 5,72 | 42,44 | 2,39 |
| | | 1B | 52,4 | 101,6 | 48,7 | 1,71 | 8,37 | 7,46 | 6,70 | 49,98 | 3,51 |
| | | 3A | 52,5 | 101,6 | 48,2 | 0,55 | 6,66 | 7,49 | 5,32 | 39,90 | 1,14 |
| | | 3B | 52,2 | 101,9 | 50,0 | 0,79 | 7,17 | 7,37 | 5,75 | 42,34 | 1,58 |
| | | 5A | 52,8 | 101,7 | 49,6 | 0,84 | 7,43 | 7,40 | 5,90 | 43,66 | 1,69 |
| | | 5B | 52,0 | 101,7 | 48,7 | 0,70 | 7,84 | 7,46 | 6,32 | 47,15 | 1,44 |
| | 2x40 | 7A | 52,2 | 101,7 | 48,6 | 0,51 | 5,93 | 7,46 | 4,76 | 35,51 | 1,05 |
| | | 7B | 52,2 | 101,9 | 49,5 | 0,91 | 8,19 | 7,40 | 6,56 | 48,57 | 1,84 |
| | | 8A | 52,5 | 101,2 | 49,1 | 0,89 | 6,55 | 7,44 | 5,26 | 39,09 | 1,81 |
| | | 8B | 52,4 | 101,2 | 48,4 | 0,63 | 6,31 | 7,48 | 5,07 | 37,95 | 1,30 |
| | | 10A | 52,6 | 101,2 | 46,9 | 0,71 | 4,48 | 7,59 | 3,59 | 27,26 | 1,51 |
| | 10B | 52,0 | 101,6 | 51,0 | 0,86 | 5,05 | 7,30 | 4,07 | 29,73 | 1,69 | |
| | 2x25 | 13A | 52,3 | 101,6 | 48,5 | 1,54 | 8,44 | 7,48 | 6,77 | 50,62 | 3,18 |
| | | 13B | 52,4 | 101,8 | 49,5 | 0,87 | 8,29 | 7,40 | 6,63 | 49,04 | 1,76 |
| | | 14A | 52,1 | 101,4 | 49,4 | 0,83 | 5,46 | 7,41 | 4,41 | 32,66 | 1,68 |
| | | 14B | 51,7 | 101,6 | 48,8 | 0,94 | 6,20 | 7,45 | 5,03 | 37,46 | 1,93 |
| 16A | | 52,3 | 102,4 | 50,1 | 0,62 | 5,88 | 7,36 | 4,69 | 34,51 | 1,24 | |
| 16B | | 51,9 | 102,1 | 48,8 | 0,67 | 6,13 | 7,46 | 4,93 | 36,77 | 1,37 | |
| ACO11 R25% - 150 °C | | | | | | 2x50 | Nezestárání | 6,31 | 46,88 | 1,89 | |
| | | | | | | 2x40 | | 5,04 | 37,43 | 1,59 | |
| | | | | | | 2x25 | | 4,50 | 33,51 | 1,66 | |
| | | | | | | 2x50 | 5d@85°C | 5,80 | 43,10 | 1,65 | |
| | | | | | | 2x40 | | 4,55 | 33,91 | 1,47 | |
| | | | | | | 2x25 | | 5,41 | 40,18 | 1,86 | |

Tab. C8 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (135 °C) při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Energie hutnění | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetv. | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetv. |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|------------|----------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Zestárlá zkušební tělesa | 2x50 | V4A | 49,9 | 101,6 | 48,6 | 0,67 | 7,18 | 7,47 | 6,03 | 45,06 | 1,38 |
| | | V4B | 49,5 | 101,6 | 49,7 | 0,70 | 6,01 | 7,39 | 5,09 | 37,61 | 1,41 |
| | 2x40 | V5A | 50,3 | 101,6 | 49,5 | 0,93 | 6,06 | 7,41 | 5,05 | 37,41 | 1,88 |
| | | V5B | 50,0 | 100,8 | 48,1 | 0,70 | 5,08 | 7,50 | 4,30 | 32,26 | 1,46 |
| | 2x25 | V6A | 49,3 | 101,6 | 48,6 | 0,64 | 5,94 | 7,47 | 5,06 | 37,79 | 1,32 |
| | | V6B | 49,1 | 101,6 | 49,1 | 0,48 | 4,61 | 7,43 | 3,94 | 29,29 | 0,98 |
| 5d@85°C | 2x50 | 55A | 50,1 | 101,4 | 48,7 | 0,61 | 6,57 | 7,46 | 5,51 | 41,15 | 1,25 |
| | | 55B | 49,8 | 101,4 | 49,1 | 0,56 | 6,62 | 7,44 | 5,59 | 41,59 | 1,14 |
| | | 56A | 51,0 | 101,4 | 48,3 | 0,60 | 6,63 | 7,49 | 5,47 | 40,93 | 1,24 |
| | | 56B | 50,0 | 101,7 | 50,2 | 0,88 | 7,50 | 7,36 | 6,29 | 46,32 | 1,75 |
| | | 58A | 50,5 | 101,8 | 49,4 | 0,66 | 7,43 | 7,41 | 6,16 | 45,62 | 1,33 |
| | | 58B | 50,1 | 101,7 | 48,5 | 0,71 | 6,30 | 7,47 | 5,27 | 39,40 | 1,46 |
| | 2x40 | 61A | 50,5 | 101,4 | 49,2 | 0,53 | 5,76 | 7,43 | 4,80 | 35,63 | 1,08 |
| | | 61B | 49,5 | 101,5 | 48,8 | 0,54 | 5,99 | 7,45 | 5,08 | 37,85 | 1,11 |
| | | 62A | 50,7 | 101,6 | 49,4 | 0,50 | 6,60 | 7,41 | 5,47 | 40,53 | 1,01 |
| | | 62B | 50,9 | 101,7 | 49,0 | 0,55 | 6,54 | 7,44 | 5,39 | 40,09 | 1,12 |
| | | 64A | 49,8 | 101,6 | 48,9 | 0,58 | 8,76 | 7,45 | 7,38 | 54,96 | 1,19 |
| | | 64B | 50,3 | 101,6 | 49,2 | 0,77 | 6,55 | 7,42 | 5,46 | 40,56 | 1,56 |
| | 2x25 | 67A | 49,5 | 101,7 | 51,0 | 0,48 | 5,37 | 7,30 | 4,55 | 33,21 | 0,94 |
| | | 67B | 49,8 | 101,2 | 47,1 | 0,62 | 5,15 | 7,58 | 4,36 | 33,04 | 1,32 |
| | | 68A | 49,1 | 101,3 | 48,2 | 0,55 | 5,49 | 7,50 | 4,71 | 35,28 | 1,14 |
| | | 68B | 49,3 | 101,4 | 49,6 | 0,61 | 6,13 | 7,40 | 5,22 | 38,64 | 1,23 |
| | | 70A | 49,8 | 101,7 | 50,8 | 0,53 | 6,26 | 7,32 | 5,27 | 38,54 | 1,04 |
| | | 70B | 49,4 | 101,5 | 47,6 | 0,66 | 5,68 | 7,54 | 4,83 | 36,40 | 1,39 |
| ACO11 R25% - 135 °C | | | | | | 2x50 | Nezestárlé | 5,56 | 41,34 | 1,39 | |
| | | | | | | 2x40 | | 4,67 | 34,83 | 1,67 | |
| | | | | | | 2x25 | | 4,50 | 33,54 | 1,15 | |
| | | | | | | 2x50 | 5d@85°C | 5,72 | 42,50 | 1,36 | |
| | | | | | | 2x40 | | 5,24 | 38,93 | 1,18 | |
| | | | | | | 2x25 | | 4,82 | 35,85 | 1,18 | |

Tab. C9 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (120 °C) při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Energie hutnění | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetv. | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetv. |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|------------|------------|-------------|---------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Nezestárlá zkušební tělesa | 2x50 | V7A | 49,9 | 101,6 | 49,2 | 0,88 | 6,00 | 7,43 | 5,05 | 37,50 | 1,79 |
| | | V7B | 50,6 | 101,7 | 49,5 | 0,70 | 6,92 | 7,40 | 5,74 | 42,47 | 1,41 |
| | 2x40 | V8A | 50,1 | 101,4 | 49,7 | 0,91 | 4,92 | 7,39 | 4,13 | 30,52 | 1,83 |
| | | V8B | 50,8 | 101,4 | 48,5 | 0,91 | 6,08 | 7,48 | 5,03 | 37,61 | 1,88 |
| | 2x25 | V9A | 50,2 | 101,7 | 49,3 | 0,57 | 4,54 | 7,42 | 3,79 | 28,12 | 1,16 |
| | | V9B | 50,2 | 101,7 | 48,7 | 0,94 | 5,19 | 7,46 | 4,33 | 32,31 | 1,93 |
| 5d@85°C | 2x50 | 19A | 52,5 | 101,5 | 49,3 | 0,57 | 6,05 | 7,42 | 4,84 | 35,90 | 1,16 |
| | | 19B | 52,0 | 101,5 | 49,1 | 0,61 | 7,32 | 7,43 | 5,91 | 43,94 | 1,24 |
| | | 20A | 52,3 | 101,6 | 49,8 | 1,12 | 6,88 | 7,38 | 5,52 | 40,72 | 2,25 |
| | | 20B | 52,1 | 101,7 | 49,3 | 0,88 | 6,82 | 7,42 | 5,49 | 40,68 | 1,78 |
| | | 22A | 51,9 | 101,3 | 48,8 | 0,72 | 7,18 | 7,45 | 5,83 | 43,43 | 1,48 |
| | | 22B | 51,9 | 101,4 | 49,2 | 0,64 | 6,11 | 7,43 | 4,95 | 36,75 | 1,30 |
| | 2x40 | 25A | 53,0 | 101,9 | 49,4 | 0,54 | 5,81 | 7,41 | 4,59 | 33,98 | 1,09 |
| | | 25B | 53,1 | 101,8 | 49,0 | 0,52 | 5,84 | 7,44 | 4,60 | 34,26 | 1,06 |
| | | 26A | 52,5 | 101,7 | 49,5 | | | 7,40 | - | - | - |
| | | 26B | 52,3 | 101,4 | 48,6 | | 6,40 | 7,47 | 5,15 | 38,43 | - |
| | | 28A | 52,3 | 101,7 | 49,8 | 0,87 | 7,42 | 7,38 | 5,95 | 43,93 | 1,75 |
| | | 28B | 52,2 | 101,9 | 49,4 | 1,22 | 5,67 | 7,41 | 4,54 | 33,68 | 2,47 |
| | 2x25 | 31A | 49,8 | 101,3 | 49,5 | 0,43 | 5,23 | 7,40 | 4,42 | 32,72 | 0,87 |
| | | 31B | 50,0 | 101,4 | 48,5 | 0,42 | 4,08 | 7,48 | 3,43 | 25,66 | 0,87 |
| | | 32A | 49,5 | 101,5 | 49,5 | 0,38 | 3,95 | 7,41 | 3,35 | 24,82 | 0,77 |
| | | 32B | 50,4 | 101,5 | 48,8 | 0,42 | 4,06 | 7,46 | 3,38 | 25,22 | 0,86 |
| | | 34A | 49,1 | 102,4 | 49,7 | 0,60 | 5,48 | 7,39 | 4,65 | 34,35 | 1,21 |
| | | 34B | 49,5 | 102,3 | 49,5 | 0,61 | 4,56 | 7,41 | 3,84 | 28,43 | 1,23 |
| ACO11 R25% - 120 °C | | | | | | 2x50 | Nezestárlé | 5,39 | 39,98 | 1,60 | |
| | | | | | | 2x40 | | 4,58 | 34,06 | 1,86 | |
| | | | | | | 2x25 | | 4,06 | 30,21 | 1,54 | |
| | | | | | | 2x50 | 5d@85°C | 5,42 | 40,24 | 1,53 | |
| | | | | | | 2x40 | | 4,92 | 36,46 | 1,59 | |
| | | | | | | 2x25 | | 3,85 | 28,53 | 0,97 | |

Tab. C10 Odolnost vůči šíření trhliny pro zkušební tělesa ACO11 R25% (90 °C) při teplotě 0 °C

| Typ stárnutí | Energie hutnění | Zkušební těleso | Šířka | Délka | Výška | Přetv. | Síla | Faktor f | Napětí při porušení | Kritická hodnota | Přetv. |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|------------|------------|----------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | | | b | l | h | ΔW | F | f(ai/Wi) | $\sigma_{max,i}$ | Kic,i | $\epsilon_{max,i}$ |
| | | | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [kN] | [-] | [MPa] | [N/mm ^{3/2}] | [%] |
| Zestárlá zkušební tělesa | 2x50 | V10A | 50,2 | 101,8 | 49,1 | 0,95 | 5,89 | 7,43 | 4,91 | 36,51 | 1,93 |
| | | V10B | 50,4 | 101,8 | 48,8 | 0,69 | 7,74 | 7,45 | 6,43 | 47,90 | 1,41 |
| | 2x40 | V11A | 49,5 | 101,4 | 48,3 | 0,69 | 4,00 | 7,49 | 3,39 | 25,42 | 1,43 |
| | | V11B | 50,1 | 101,5 | 49,7 | 1,06 | 4,56 | 7,39 | 3,82 | 28,25 | 2,13 |
| | 2x25 | V12A | 50,1 | 101,9 | 49,0 | 0,83 | 4,16 | 7,44 | 3,48 | 25,86 | 1,69 |
| | | V12B | 50,4 | 101,7 | 49,1 | 0,91 | 4,15 | 7,43 | 3,45 | 25,64 | 1,85 |
| 5d@85°C | 2x50 | 37A | 50,4 | 101,4 | 48,8 | 0,41 | 5,52 | 7,45 | 4,61 | 34,31 | 0,84 |
| | | 37B | 50,8 | 101,6 | 49,0 | 0,44 | 5,64 | 7,44 | 4,66 | 34,66 | 0,90 |
| | | 38A | 50,4 | 101,2 | 48,5 | 0,45 | 5,52 | 7,48 | 4,61 | 34,46 | 0,93 |
| | | 38B | 49,9 | 101,4 | 49,4 | 0,60 | 5,64 | 7,41 | 4,76 | 35,26 | 1,22 |
| | | 40A | 50,6 | 101,7 | 50,3 | 0,65 | 6,36 | 7,35 | 5,27 | 38,70 | 1,29 |
| | | 40B | 51,1 | 101,5 | 48,7 | 0,47 | 5,37 | 7,46 | 4,41 | 32,93 | 0,97 |
| | 2x40 | 43A | 49,8 | 101,6 | 48,8 | 0,46 | 4,95 | 7,45 | 4,17 | 31,10 | 0,94 |
| | | 43B | 49,0 | 101,8 | 49,5 | 0,57 | 4,82 | 7,41 | 4,12 | 30,50 | 1,15 |
| | | 44A | 50,7 | 102,4 | 50,0 | 0,53 | 5,40 | 7,37 | 4,43 | 32,68 | 1,06 |
| | | 44B | 49,8 | 102,1 | 48,9 | 0,79 | 5,44 | 7,45 | 4,56 | 33,98 | 1,62 |
| | | 46A | 49,1 | 101,8 | 49,2 | 0,71 | 4,32 | 7,42 | 3,68 | 27,34 | 1,44 |
| | | 46B | 49,9 | 101,3 | 49,2 | 0,69 | 4,16 | 7,43 | 3,51 | 26,07 | 1,40 |
| | 2x25 | 49A | 49,2 | 101,9 | 48,9 | - | 4,75 | 7,45 | 4,04 | 30,10 | - |
| | | 49B | 49,6 | 101,8 | 49,5 | 0,70 | 4,56 | 7,40 | 3,85 | 28,54 | 1,41 |
| | | 50A | 49,4 | 101,6 | 49,3 | 0,40 | 4,37 | 7,42 | 3,71 | 27,53 | 0,81 |
| | | 50B | 49,1 | 101,3 | 48,6 | 0,46 | 4,72 | 7,47 | 4,05 | 30,25 | 0,95 |
| | | 52A | 49,5 | 101,5 | 49,2 | 0,41 | 4,51 | 7,43 | 3,82 | 28,40 | 0,83 |
| | | 52B | 49,2 | 101,6 | 48,9 | 0,55 | 3,58 | 7,45 | 3,05 | 22,71 | 1,13 |
| ACO11 R25% - 90 °C | | | | | | 2x50 | Nezestárlé | 5,67 | 42,21 | 1,67 | |
| | | | | | | 2x40 | | 3,61 | 26,84 | 1,78 | |
| | | | | | | 2x25 | | 3,46 | 25,75 | 1,77 | |
| | | | | | | 2x50 | 5d@85°C | 4,72 | 35,06 | 1,02 | |
| | | | | | | 2x40 | | 3,87 | 28,75 | 1,24 | |
| | | | | | | 2x25 | | 3,76 | 27,92 | 1,03 | |