

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB

2017



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VLÁKNA V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH

FIBRES IN ASPHALT MIXES

Vypracoval: **Tomáš Proschek**

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



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Proschek</u>	Jméno: <u>Tomáš</u>	Osobní číslo: _____
Zadávající katedra: <u>katedra silničních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vláčna v asfaltových směsích



Název bakalářské práce anglicky: Fibers in Asphalt Mixes

Pokyny pro vypracování:
Rešerše využívání vláken v asfaltových směsích, typy vláken, experimentální ověření vlivu vláken na vybrané vlastnosti asfaltových směsí

Seznam doporučené literatury:


Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>21.2.2017</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vlákna v asfaltových směsích“ vypracoval samostatně a bez cizí pomoci, s výjimkou konzultací s vedoucím bakalářské práce. Zároveň jsem uvedl veškeré zdroje použitých obrázků, tabulek, literatury a jiných informací. Vše je zhotoveno v souladu s příručkou „Jak psát VKŠP“ dostupnou na URL: <http://knihovna.cvut.cz/cs/seminare-a-vyuka/jak-psat/jak-psat-zaverecnou-praci> v jejím znění ze dne 11. 5. 2017. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této bakalářské práce či její části.

v Praze dne

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za jeho rady, trpělivost a čas během tvoření a zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Janu Valentinovi, Ph.D., Ing. Pavle Vackové, Ing. Adrianě Kotoušové, Ing. Janu Sudovi, panu Jaroslavu Kasalickému i všem ostatním studentům a pracovníkům za ochotu a pomoc při práci v silniční laboratoři ČVUT. V neposlední řadě bych rád poděkoval svému kolegovi Jiřímu Dymákovi za spolupráci a za pomoc při tvorbě naší společné referenční asfaltové směsi.

Anotace

Tato bakalářská práce je věnována vlivu výztužných vláken od firmy CIUR a.s. na vybrané vlastnosti asfaltových směsí. První teoretická část práce je zaměřena na rozdělení druhů výztuží použitelných pro asfaltové vrstvy, kde se klasifikují geosyntetika i 3D výztuže. Následuje hlavní část práce, která se věnuje zejména výrobě těles ze tří různých směsí a jejich následnému testování. První směsí je běžný asfaltový beton ACL 16 s pojivem gradace 50/70. Ostatní dvě směsi jsou vyztuženy vlákny Namflex a Bitustring od firmy CIUR a.s. Cílem práce je porovnat asfaltové směsi a tím určit, jaké vlastnosti jsou ovlivněny přidanou výztuží a do jaké míry.

Klíčová slova: vlákna v asfaltových směsích, Namflex fibre, Bitustring, výztuž vozovky, výztuž asfaltové vrstvy, životnost vozovky, asfaltová směs, zkušební tělesa, objemová hmotnost, modul tuhosti, pevnost v příčném tahu, odolnost vůči tvorbě trvalých deformací, odolnost vůči vodě, odolnost vůči mrazu, pevnost v tahu za ohybu, relaxace asfaltových směsí

Annotation

This bachelor's thesis is devoted to the influence of reinforcing fibres by CIUR a. s. on the selected properties of asphalt mixes. The first theoretical part of the thesis is focused on the classification of types of reinforcements used for asphalt layers, where both geosynthetics and 3D reinforcements are classified. The following main part of the work deals with the production of test specimens made of three different asphalt mixes and their further testing. The first mixture is conventional asphalt concrete ACL 16 with a 50/70 gradation bitumen. The other two mixtures are reinforced with either Namflex or Bitustring fibres, both made by CIUR a. s. The aim of the thesis is to compare asphalt mixes and determine which properties and how much are influenced by the added reinforcement.

Keywords: fibres in asphalt mixes, Namflex fibre, Bitustring, reinforcement of pavement, reinforcement of asphalt layer, pavement lifetime, asphalt mixture, asphalt mix, test specimens, bulk density, stiffness module, tensile strength, resistance to permanent deformation, water resistance, frost resistance, bending strength, asphalt mixes relaxation

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce	11
3	Způsoby vyztužení asfaltových směsí	15
3.1	Vyztužení plošné (geosyntetika).....	15
3.1.1	Geotextilie (GTX)	16
3.1.2	Geomříže (GGR).....	17
3.1.3	Geokompozity (GCO).....	17
3.1.4	Technické požadavky na geosyntetika	18
3.2	3D vyztužení (prostorově rozmístěná vlákna).....	19
3.2.1	Vlákna FORTA-FI	20
3.2.2	Vlákna ITERFIBRA	23
3.2.3	Vlákna firmy CIUR a.s.	24
4	Příprava zkušebních těles.....	27
4.1	Výroba asfaltové směsi ACL 16.....	29
4.2	Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem	32
4.2.1	Zařízení a pomůcky pro výrobu.....	32
4.2.2	Postup výroby.....	32
4.3	Příprava zkušebních těles pomocí metody užívající lamely zatlačované válcem	36
4.3.1	Zařízení a pomůcky pro výrobu.....	37
4.3.2	Postup výroby.....	39
5	Zkoušky provedené na vyrobených tělesech	41
5.1	Maximální objemová hmotnost	41
5.2	Objemová hmotnost.....	45

5.2.1	Objemová hmotnost: Nasycený suchý povrch (SSD)	46
5.2.2	Objemová hmotnost: podle rozměrů	48
5.3	Pevnost v příčném tahu.....	48
5.4	Stanovení odolnosti vůči vodě	51
5.4.2	Stanovení odolnosti vůči vodě v kombinaci s jedním zmrazovacím cyklem.....	54
5.5	Stanovení modulu tuhosti	55
5.6	Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací	61
5.7	Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin.....	66
5.8	Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu .	70
5.9	Zkouška relaxace asfaltových směsí	73
6	Vyhodnocení provedených zkoušek	76
6.1	Maximální objemová hmotnost	77
6.2	Objemová hmotnost.....	78
6.2.1	Objemová hmotnost: nasycený suchý povrch (SSD).....	78
6.2.2	Objemová hmotnost: Podle rozměrů.....	79
6.3	Pevnost v příčném tahu.....	80
6.4	Odolnost vůči vodě.....	81
6.4.1	Odolnost vůči vodě bez zmrazovacího cyklu.....	81
6.4.2	Odolnost vůči vodě s 1 zmrazovacím cyklem.....	82
6.5	Stanovení modulu tuhosti	83
6.6	Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací	86
6.7	Zkouška stanovení odolnosti vůči šíření trhlin	87
6.8	Zkouška v tahu za ohybu	89
6.9	Zkouška relaxace asfaltových směsí	91
7	Závěr	93

8	Seznamy	95
8.1	Seznam použitých zdrojů.....	95
8.2	Seznam obrázků	97
8.3	Seznam tabulek	99
8.4	Seznam grafů	100
8.5	Seznam příloh	101
9	Přílohy.....	103

1 Úvod

Asfaltové směsi obecně jsou vyvíjeny tak, aby co nejlépe vzdorovaly počasí, stále se zvyšující intenzitě automobilové dopravy i jiným negativním vlivům s ohledem na ekonomickou stránku věci. Výsledkem zlepšení stavebního materiálu může být nižší náklad na výstavbu nebo nižší náklady na následnou údržbu silničních ploch.

Zlepšení asfaltové směsi je možné docílit úpravou složek asfaltové směsi nebo přidáním příměsí, které zlepší její vlastnosti. Tím může být například modifikace asfaltového pojiva (pryskyřicí, polypropylenem atd.), vyztužení plošné (geosyntetikum) nebo rozptýlené (v podobě vláken). Je možno vylepšovat všechny asfaltové směsi jak pro podkladní, ložní i obrusné vrstvy. Výhoda všesměrně rozptýlené výztuže (izotropní) proti plošné (anizotropní) je ve zlepšení odolnosti směsi proti všesměrnému vzniku trhlin, protože vlákna jsou rozptýlena v celé směsi rovnoměrně a ztužují ji tak ve všech směrech.

2 Cíl práce

V současné době se 3D výztuže používají pro lokální vylepšení netuhé vozovky za účelem snížení trvalých deformací v místě, kde je nadměrně nebo frekventovaněji namáhána. Příkladem můžou být zastávky autobusů MHD, silnice v obloucích o malých poloměrech či prostory křižovatek, které jsou namáhány těžkou automobilovou a nákladní dopravou zejména z hlediska brzdných sil, otáčení kol na místě a podobných sil způsobujících trvalé deformace.

Nyní dostupné rozptýlené 3D výztuže v podobě vláken jsou k dostání například od firem FORTA Corporation, ITERCHIMICA či CIUR a.s. Naše testované vzorky jsou oba od firmy CIUR a.s., jedná se o výrobky pod obchodním názvem Namflex Fibre a Bitustring.

Cílem práce je popsat vliv vláken na chování asfaltového betonu ACL 16, případný jejich vliv na fyzikální vlastnosti, odolnosti vůči deformacím, vůči šíření trhlin atd. Tento vliv bude pozorován na dvou vzorcích s příměsí výztužných vláken a jednom vzorku tzv. referenčním, který vlákna neobsahuje. Předpokladem je, že by směsi s příměsí vláken měly mít větší odolnost vůči vzniku trhlin, vyšší modul tuhosti, pevnost v tahu za ohybu a celkově lepší vlastnosti, než konvenční vzorek. Všechny vzorky budou obsahovat běžné asfaltové pojivo gradace 50/70.

Ze všech testovaných vzorků budou vyrobená zkušební tělesa, na nichž se provedou následující zkoušky:

- **Maximální objemová hmotnost**
- **Objemová hmotnost zhutněného tělesa**
 - Objemová hmotnost: Nasycený suchý povrch (SSD)
 - Objemová hmotnost: Podle rozměrů
- **Stanovení pevnosti v příčném tahu ITS**
- **Stanovení odolnosti vůči vodě**
 - Stanovení odolnosti vůči vodě bez zmrazovacích cyklů ITSR
 - Stanovení odolnosti vůči vodě s jedním vloženým zmrazovacím cyklem ITSR_f

- **Stanovení modulu tuhosti**
- **Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací** (zkouška pojíždění kolem)
- **Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin**
- **Zkouška v tahu za ohybu**
- **Zkouška relaxace asfaltových směsí**

Popis předpokládaných změn v chování asfaltových směsí:

Objemová hmotnost asfaltového zkušebního tělesa

Výrobce předepsané dávkování vláken je 0,5 až 2 kg na tunu směsi, což představuje rozpětí od 0,05 do 0,2 % hmotnosti asfaltové směsi. Výrobce udává, že se nejlepších hodnot dá dosáhnout u horní hranice dávkování, tedy 2 kg vláken na tunu asfaltové směsi. i přesto, že jde již o číslo podstatně vyšší, než u konkurence (FORTA-FI se dávkuje v hmotnostním podílu 0,05 %), nepředpokládáme významnou změnu v této fyzikální veličině. Podle předpokladů však budeme pozorovat spíše mírný pokles této veličiny z důvodu zhoršené zpracovatelnosti výsledné směsi. S objemovou hmotností souvisí také mezerovitost směsi. Ta by měla zůstat podobná, jako u nevyztužené směsi nebo mírně vyšší. To může být způsobeno opět horší zpracovatelností směsi.

Pevnost v příčném tahu, vliv vody a zmrazovacího cyklu

Vlákna přidávaná do asfaltových směsí by měla být prvky, které vylepší pevnost daného materiálu v tahu. Proto lze předpokládat, že by měl být tento trend naplněn a bude tedy příznivě ovlivněna i pevnost v příčném tahu na vyztužených tělesech. Ze stejného důvodu lze také předvídat, že by měla být pozitivně ovlivněna i pevnost v příčném tahu u těles, která budou vystavena vodě a zmrazovacímu cyklu. Vlákna jsou podle výrobce vyrobena z inertních a nerozpustných materiálů, takže by měla i po vlivech těchto živlů ve směsi přetrvat v neporušeném stavu

a zlepšovat pak hlavně její pevnost v tahu, kterou těleso bez výztuh ztratí v důsledku degradace a poškození vazeb mezi jednotlivými zrny kameniva.

Zároveň lze předpokládat, že vlákna příliš neovlivní mezerovitost a objemovou hmotnost těles. V důsledku toho by odolnost vůči vodě i zmrazovacímu cyklu měla zůstat minimálně neměnná v porovnání s referenční směsí.

Modul tuhosti

Vlákna se přidávají do asfaltové směsi z důvodu jejího vyztužení. Lze tedy předpokládat, že se modul tuhosti těles zvýší, zejména však za vyšších teplot testování. Při nižších teplotách bude rozdíl méně patrný, nemělo by však dojít ke zhoršení.

Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací

Jelikož vlákna přidaná do směsi by měla zabránit pohybům v kostře kameniva, měla by se tedy zvýšit výsledná odolnost vůči tvorbě trvalých deformací, nebo zůstat minimálně na stejné úrovni

Odolnost vůči šíření trhlin

Ze stejného důvodu jako v případě zkoušky pevnosti v příčném tahu předpokládám, že se i odolnost vůči šíření trhlin zřetelně zvýší. Vlákna by měla pomáhat „udržet směs pohromadě“ při působení tahového napětí na zkušební tělesa. Následně by pak měla být zvýšena odolnost porušeného tělesa, pokud budeme chtít manuálně oddělit části porušeného vzorku od sebe. To se projeví hlavně za nízkých teplot, kdy je asfaltové pojivo křehčí než vlákna. Ta zůstanou celistvá a budou zvyšovat sílu potřebnou k roztržení poškozeného tělesa.

Zkouška v tahu za ohybu

I v této zkoušce by měly směsi vyztužené vlákny vykazovat lepší vlastnosti, než referenční směs. Důvody jsou stejné, jako u ostatních zkoušek, které jsou zaměřené na tahové vlastnosti směsi.

Zkouška relaxace asfaltových směsí

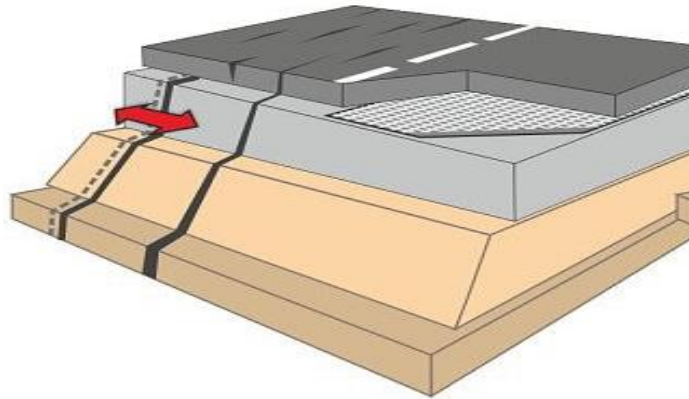
Předpoklad je, že směs vyztužená vlákny bude mít vyšší tuhost a vlákna by měla pomoci k roznesení napětí ve vzorku. V důsledku toho by neměly vznikat trhliny, jejichž vznik hrozí zejména u velmi tvrdých směsí. Zkušební těleso s 3D výztuží by mělo mít alespoň srovnatelný čas relaxace jako referenční směs, respektive by po uplynutí zkušebního času nemělo mít vyšší zbytkové napětí.

3 Způsoby vyztužení asfaltových směsí

Příští kapitoly a odstavce budou věnovány celkové problematice vyztužování asfaltových vrstev jak 3D, tak plošnou výztuží (vlákna, geosyntetika). Obě metody mají své výhody a své nevýhody, hlavní rozdíl je ve výsledném působení, další například ve způsobu aplikace jednotlivých výztuh. Vlákna jsou vmíchávána přímo do směsi již během její výroby ve fázi promíchávání frakcí kameniva (tzv. suchý proces míchání) a geosyntetikum se aplikuje až na staveništi mezi konstrukční vrstvy.

3.1 Vyztužení plošné (geosyntetika)

Dle normy EN ISO 10318:2005, geosyntetikum je všeobecný název pro stavební prvek, který je vyroben ze syntetických nebo přírodních polymerů. Je možné jej použít pro jeho výztužnou funkci při pokládce vrstev vozovek. Je nutné ale určit, kdy je geosyntetikum vhodné pro danou konstrukci – tedy aby mělo dostatečně pozitivní vliv na danou konstrukci a aby jeho využití bylo ekonomické. Obecně je 2D výztuž vhodná v případě, že rekonstruujeme starší povrch. [2] Odfrézováním vrstev se odkryje ložní vrstva, která může být buď z nevhodného materiálu (kvalitou různé betonové desky) nebo poškozeného (rozpraskaná vrstva ACL). V případě nanesení nových vrstev bez výztuhy hrozí, že se poškození ze spodní vrstvy projeví různým pnutím na nově nanesené vrstvě, kterou to pak lokálně oslabí. Proto se používají geosyntetika, která pomáhají toto napětí rovnoměrně rozložit do větší plochy a tím oddálit porušení a prodloužit životnost rekonstruované části vozovky. [1]



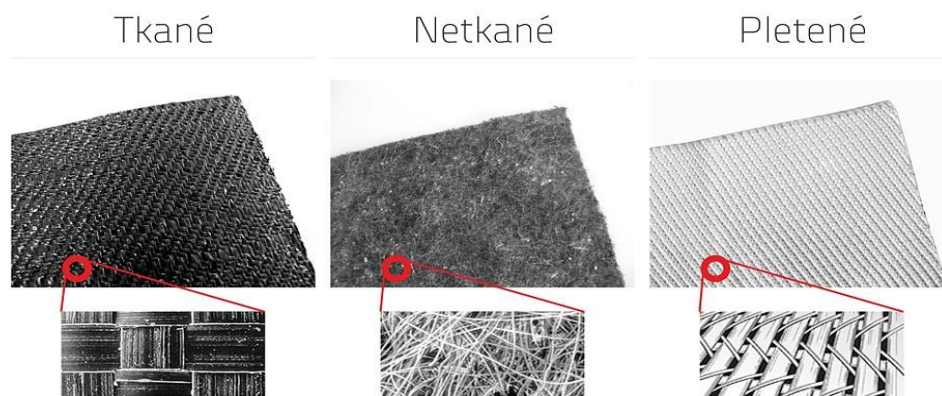
Obr. č. 1 Použití geosyntetika pro eliminaci trhlin ze spodních vrstev [1]

3.1.1 Geotextilie (GTX)

Jde o plošný prvek s propustnou strukturou, vyrobený ze syntetických materiálů nebo z přírodního materiálu podobného textilií. Označujeme jej značkou GTX. Může mít různé funkce, například drenážní, ochrannou, filtrační, separační, nebo výztužnou, což je vlastnost, kterou ve vyztužování konstrukčních vrstev využíváme.

Geotextilie dělíme podle druhu výroby:

- Tkané geotextilie (GTX – W)
 - Jedná se o plošné geotextilie vyráběné podobně, jako běžné tkané látky, buď ze dvou nebo více pásků, z nekonečných nití nebo z podobných prvků. Tyto jednotlivé prvky jsou vzájemně svázány, což zajišťuje soudržnost výsledného produktu. [2]
- Netkané geotextilie (GTX – N)
 - Tyto geotextilie jsou mechanicky, tepelně či lepidlem spojovaná (možno i více kombinací) vlákna buď orientovaná ve směru či nikoliv. [3, 2]
- Pletené geotextilie (GTX – K)
 - Jsou vyráběné na pletacích strojích z nití. Jedná se o vzájemné propletení jedné nebo více přízí do oček a řádků oček. To vytváří velmi pevnou vazbu mezi jednotlivými nitěmi či jejich svazky. [4, 3]



Obr. č. 2 Příklady a srovnání tkaných, netkaných a pletených geotextilií [5]

3.1.2 Geomříže (GGR)

Geomříž je polymerní struktura sestávající se z pravidelné otevřené propustné sítě celistvě spojených tahových prvků, která je tvořena buď monoliticky, nebo je extrudovaná, lepená či tkaná. Její otvory jsou větší než složky, tím umožňuje pronikat částicím horniny, zeminy, asfaltové směsi apod. Podle poměrů pevnosti v každém směru lze používat jednoosou geomříž, která je konstruovaná pro přenos tahu v jednom směru (na obr. č. 3 jde o první a druhou geomříž zleva). Naopak tzv. dvouosé geomříže mají srovnatelnou pevnost v obou směrech. [2, 6]



Obr. č. 3 Různé konstrukce geomříží [7]

3.1.3 Geokompozity (GCO)

Pro vyztužení na pozemních komunikacích v rámci konstrukční vrstvy se používají geokompozity s vyztužnou funkcí (GCO-R). Takový geokompozit využívá výhod více prvků výše uvedených najednou, které jsou tepelně či mechanicky (prošitím) spojené a působí tedy společně. Příklad kombinace je netkaná geotextilie společně s vyztužnou tkanou či pletenou geotextilií nebo geomřížkou. Tento prvek je hojně používán při rekonstrukcích krytů asfaltových vozovek. [2, 6]



Obr. č. 4 Pokládka geokompozitu při obnově svrchních vrstev komunikace [8]

3.1.4 Technické požadavky na geosyntetika

Geosyntetika určená pro 2D vyztužení asfaltových vrstev v konstrukci vozovky musí splňovat požadavky podle normy TP 147 – Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky, které jsou uvedeny v následujících tabulkách. [9]

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Pevnost v tahu	kN	20	-	ČSN EN ISO 10319
Tažnost	%	-	15	ČSN EN ISO 10319
Velikost oka	mm	60 x 60	-	

Tab. č. 1 Požadavky na geomříž [9]

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Geomříž				
Indexová pevnost	kN	50	-	ISO 3341
Indexová tažnost	kN	-	3	ISO 3341
Velikost oka	mm	30 x 30	-	
Instalační geotextilie				
Pevnost v tahu	kN	0,5	-	ČSN EN ISO 10319
Plošná hmotnost	g/m ²	100	-	ČSN EN 965

Tab. č. 2 Požadavky na geokompozit s geomříží ze skelných vláken [9]

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Geomříž				
Pevnost v tahu	kN	20	-	ČSN EN ISO 10319
Tažnost	kN	-	15	ČSN EN ISO 10319
Velikost oka	mm	60 x 60	-	
Instalační geotextilie				
Pevnost v tahu	kN	0,5	-	ČSN EN ISO 10319
Plošná hmotnost	g/m ²	100	-	ČSN EN 965

Tab. č. 3 Požadavky na geokompozit s geomříží na bázi polymeru [9]

Pro výrobu geosyntetik je také důležitý materiál, ze kterého jsou geosyntetika vyrobena. Od toho se pak odvíjí maximální teplota při pokládce nebo účel použití daného geosyntetika. Pro výrobu geosyntetik se nejčastěji používají následující materiály:

- Polyester (PES)
- Polypropylen (PP)
- Polyvinylalkohol (PVA)
- Sklo
- Ocel

[10]

3.2 3D vyztužení (prostorově rozmístěná vlákna)

Nespornou výhodou všech vláken je, že se do asfaltové směsi přidávají již v úplném počátku její výroby, přesněji pak ve fázi suchého míchání kameniva. To zajišťuje takřka zcela rovnoměrné rozložení vláken ve směsi. Odpadají tím problémy spjaté s vyztužováním vozovek 2D vyztužemi, které se týkají zejména pracovní nekázně či nesprávných technologických postupů při jejich aplikaci. Takové problémy často vedou ke snížené životnosti vrstev, které pak musí být nákladně obnovovány, což negativně ovlivňuje ekonomickou stránku návrhu z dlouhodobého hlediska.

Označení asfaltové směsi obsahující vlákna vznikne přidáním předpony FR (Fibre Reinforced) před označení typu asfaltové směsi. Příkladem použití může být ACO – asfaltový beton pro obrusné vrstvy, který se označuje po přidání vláken jako FRACO – vlákny vyztužený asfaltový beton pro obrusné vrstvy.

Vláken, která se přidávají do asfaltových směsí, je řada druhů vyráběná z různých materiálů. Každý takový materiál má pak ve směsi jinou funkci a jiné vlastnosti.

Příkladem mohou být vlákna celulózová, která nemají ve vozovce přímou vyztužnou funkci, avšak přesto napomáhají ke zlepšení jejích vlastností. Činí tak tím, že zabraňují stékání asfaltového pojiva, což zajišťuje jeho rovnoměrné rozložení ve směsi. Dalším druhem jsou vlákna vyráběná z minerálů (skelná) či vlákna syntetická. Ta mají obecně zvyšovat pevnost asfaltové směsi v tahu, zvyšovat modul tuhosti a bránit vzniku trhlin. Mají přímý vliv na životnost vozovky, což dokazuje například výzkum asfaltové směsi FRAC (Fibre Reinforced Asphalt Concrete) vyztužené vlákny od společnosti FORTA Corporation, kde byla tato vlákna použita. Díky použití vláken se v tomto případě dle dostupných výzkumů prodlužuje životnost vrstvy stejné tloušťky o 50 %, případně je možné navrhnout vrstvu o 30 až 40 % tenčí při zachování životnosti. Použití vláken je tedy podle závěrů výzkumu ekonomické v obou případech, při ztenčení vrstvy směsi snižuje investiční náklady, zatímco při pouhém přidání vláken snižuje náklady na údržbu a obnovu vozovky. Dle předpokladů by měl být vliv na vlastnosti směsí podobný i u ostatních vláken podobné charakteristiky.

[11, 12]

3.2.1 Vlákna FORTA-FI

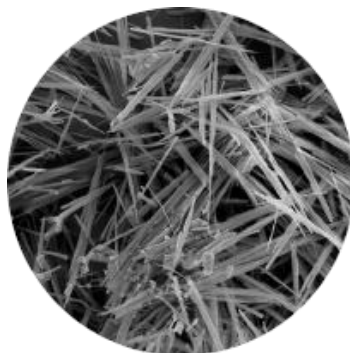
FORTA Corporation je firma, která má již celkem bohatou zkušenost co se týče práce s vlákny určenými pro vyztužování asfaltových směsí. První takový výrobek si nechala patentovat v roce 1982. S postupující dobou se firma zaměřovala zejména na optimalizaci vlastností výrobku a zdokonalování jeho vlastností. V našich končinách je na trh dodává firma eMZet spol. s r.o.

Obchodní název FORTA-FI® dnes zahrnuje skupinu tří výrobků, které jsou určeny pro tři druhy asfaltových směsí. Jde o směsi HMA (za horka míchané asfaltové směsi), WMA (za tepla míchané asfaltové směsi) a PAT (směsi pro opravy za horka i za studena). Všechny tři směsi vláken obsahují kevlarová (vysoká pevnost v tahu a pružnost) a polyolefinová (vysoká pevnost a průtažnost) vlákna, ne však ve stejném poměru.

[13, 14]



Obr. č. 5 Aramidová vlákna obsažena ve směsích FORTA-FI® [14]



Obr. č. 6 Polyolefinová vlákna obsažena ve směsích FORTA-FI® [14]



Obr. č. 7 Výsledná směs FORTA-FI® [14]

3.2.1.1 Vlastnosti vláken

Jak bylo uvedeno výše, vlákna FORTA-FI® je název, který se souhrnně používá pro skupinu tří směsí syntetických vláken. Vlákna ve směsích obsažená jsou aramidová (kevlarová) a polyolefinová. Jejich vlastnosti jsou popsány v následující tabulce:

Vlastnost	Jednotka	Vlákna	
		Polyolefinová	Aramidová
Pevnost v tahu	MPa	483	2750
Délka	mm	19 a 38	
Barva	-	žlutá, černá	běžová
Odolnost alkáliím a kyselinám	-	inertní	
Teplota tání	°C	100	427

Tab. č. 4 Vlastnosti aramidových a polyolefinových vláken obsažených ve směsích FORTA-FI [10]

3.2.2 Vlákna ITERFIBRA

Tato vlákna jsou vyráběna firmou ITERCHIMICA, která byla založena roku 1967. Firma se zabývá vývojem přísad, které zlepšují vlastnosti asfaltového pojiva a tedy i celé výsledné asfaltové směsi.

Na základě výzkumu, který byl zahájen v osmdesátých letech, byly vyvinuty směsi vláken jakožto prostředek na stabilizaci asfaltového pojiva. Tyto směsi obsahují v různých poměrech mikroválka celulózová, minerální (skelná) nebo syntetická (akrylátová), která jsou distribuována v podobě pelet s organickým pojivem. Celulózová vlákna slouží jako „nosič“ pojiva, který zabraňuje jeho stékání. Tím zajišťuje rovnoměrné rozložení pojiva ve směsi a následný pozitivní dopad na její vlastnosti. Minerální a syntetická vlákna pak mají výztužnou funkci pro zvýšení odolnosti vrstvy vůči vzniku a šíření trhlin.

3D výztužení asfaltových směsí těmito směsmi mikrovláken způsobuje, že výsledný produkt má vyšší schopnost absorbovat deformační energii od dopravy. Vrstva má vyšší pružnost a životnost.

[10]



Obr. č. 8 Směs ITERFIBRA C [10]

3.2.3 Vlákna firmy CIUR a.s.

Vlákna pro potřeby testování v rámci této práce dodala firma CIUR a.s. Jedná se o vlákna pod obchodním názvem Namflex Fibre (Obr. č. 9) a Bitustring (Obr. č. 10).



Obr. č. 9 Vlákna Namflex Fibre od firmy CIUR a.s. [15]



Obr. č. 10 Vlákna Bitustring od firmy CIUR a.s. [15]

3.2.3.1 Namflex Fibre

Podle údajů poskytnutých výrobcem je vlákno Namflex Fibre vyráběno recyklací z PET lahví postupným rozvlákněním hrubě nadrcených částic (vloček) ve velikosti desítek milimetrů.

Výrobce o vlastnostech vláken Namflex udává následující informace:

„Speciálně upravené polyethylentereftalátové vlákno získané zpětnou recyklací z odpadní suroviny. Vlákno je podle dosavadních zkušeností vhodné do asfaltových směsí (především typu AC) jako vysoce stabilní rozptýlená výztuž. Vlákno především ve směsi vylepšuje odolnost proti trvalým deformacím. Jako optimální se ukazuje dávkování v množství od 0,5 do 2 kg na tunu asfaltové směsi. Nejlepších hodnot je dle dosavadních zkušeností dosaženo v horní hranici, tedy v množství 2 kg na tunu směsi. Vlákno lze vkládat přímo do míchacího zařízení obalovny asfaltových směsí.“

[16]

Vlastní pohled:

Vlákna jsou na dotek hebká a zdají se být tahově pevná. Jsou uskupena ve stejnosměrně orientovaných shlucích. Oproti konkurenci jsou vlákna mnohem kratší. Barva špinavě bílá.

3.2.3.2 Bitusttring

Tato vlákna jsou údajně vyráběna ze zbytků pneumatik používaných při výrobě jedné z přísad (na pryžové bázi) do gumo-asfaltových směsí. Vzniklý odpad je shromážděn a následně upraven a rozvlákněn.

Výrobce o vlastnostech vláken Bitusttring udává následující informace:

„Speciálně upravené polyamidové vlákno získané zpětnou recyklací z odpadní suroviny. Toto vlákno je mechanicky odolné, flexibilní a vyznačuje se vysokou pevností v tlaku. Vlákno je také odolné vůči většině chemikálií. V asfaltové směsi předpokládáme zlepšení řady mechanických vlastností, především vyšší odolnost proti trvalým deformacím a tvorbě trhlin při nízkých teplotách. Dále také vyšší

odolnost vůči vysokým teplotám. Díky duté struktuře může vlákno absorbovat větší množství asfaltového pojiva a zvyšuje přilnavost pojiva ke kamenivu. Vlákno lze vkládat přímo do míchacího zařízení obalovny asfaltových směsí. Jako optimální se ukazuje dávkování v množství 2 kg na tunu asfaltové směsi.

Snižuje také bod lámavosti. Je určeno pro vysoce stabilní asfaltové směsi, zlepšuje trvalé deformace. Jiné polyamidové vlákno – Nylon = bod tání cca 250 °C.“

[16]

Vlastní pohled:

Při manipulaci z vláken vypadává černý práškovitý materiál ulpívající na ruku, viditelný na obr. č. 10 v okolí desetikoruny. Ta byla na obrázek umístěna z důvodu možnosti srovnání velikosti a délky vláken s všeobecně známým předmětem. Vlákna jsou uskupena ve shlucích beze známek jasné orientace. Celkově vlákna působí křehkým dojmem, zejména z důvodu odpadávání prachových částic při pouhém uchopení. Barva tmavě šedá až černá.

4 Příprava zkušebních těles

Všechna tělesa pro zkoušky v rámci této práce byla vyrobena v laboratoři Silničních staveb. Celkem se jedná o 3 asfaltové směsi pro netuhé vozovky pro vrstvy ACL 16. Po dohodě s panem Ing. Petrem Mondscheinem, Ph.D., vedoucím bakalářské práce, byla zhotovena následující tělesa s ohledem na prováděné zkoušky:

- ACL 16
 - 3 válcová tělesa nazývaná Marshallova zkušební tělesa o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a výšce $63,5 \pm 2,5$ mm (dle normy ČSN EN 12697-30:2004+A1:2007), hutněno 2x25 údery při použití rázového zhutňovače. Tato tělesa budou použita pro určení odolnosti vůči vodě (dle normy ČSN EN 12697 – 12)
 - 3 Marshallova zkušební tělesa o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a výšce $63,5 \pm 2,5$ mm (dle normy ČSN EN 12697-30:2004+A1:2007), hutněno 2x25 údery při použití rázového zhutňovače. Tato tělesa budou použita pro určení odolnosti vůči vodě a zmrazovacímu cyklu. Tato zkouška má základ v české normě ČSN EN 12697 – 12 a americké normě AASHTO, z každé si vezme část postupu. Bližší informace jsou popsány v kapitole 5.4.2.
 - 3 Marshallova zkušební tělesa o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a výšce $63,5 \pm 2,5$ mm (dle normy ČSN EN 12697-30:2004+A1:2007), hutněno 2x25 údery při použití rázového zhutňovače. Tato tělesa budou použita pro srovnání výsledků předchozích zkoušek s tělesy, která nebyla zatěžována žádnými vnějšími vlivy. Uchovávána budou na vzduchu při pokojové teplotě a ozkoušena ve stejnou chvíli co ostatní Marshallova tělesa o stejném hutnění
 - 6 Marshallových zkušebních těles o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a výšce $63,5 \pm 2,5$ mm (dle normy ČSN EN 12697-30:2004+A1:2007), hutněno 2x75 údery při použití rázového zhutňovače. Tělesa budou použita pro stanovení modulů tuhosti metodou IT-CY a objemové hmotnosti

- 12 půlválcových těles s drážkou o průměru $101,6 \pm 0,1$ mm a tloušťce 50 mm vyrobených z broušením a rozpůlením Marshallových těles použitých pro stanovení modulů tuhosti a objemové hmotnosti. Použití těchto těles je možné z důvodu, že obě předchozí zkoušky jsou plně nedestruktivní. Tato tělesa se pak použijí pro stanovení odolnosti vůči šíření trhlin
- 2 zkušební tělesa v podobě desek o rozměru 320x260x60 mm, neboli plošná zkušební tělesa, určená přímo pro zkoušku pojíždění kolem, po rozřezání na trámky však slouží také pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí

- **FRACL 16 NAMFLEX FIBRE**

V rámci této směsi byla vyrobena stejná tělesa za záměrem stejného ozkoušení, jako v případě ACL 16, tedy zkráceně:

- 3 Marshallova zkušební tělesa hutněná 2x25 pro stanovení odolnosti vůči vodě
- 3 Marshallova zkušební tělesa hutněná 2x25 pro stanovení odolnosti vůči vodě a zmrazovacímu cyklu
- 3 Marshallova zkušební tělesa hutněná 2x25 budou použita pro srovnání výsledků předchozích zkoušek – budou vystavena pouze vzduchu a pokojové teplotě.
- 6 Marshallových zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti metodou IT-CY a objemové hmotnosti
- 12 půlválcových těles s drážkou vyrobených z těles pro stanovení modulů tuhosti, použité pro určení odolnosti vůči šíření trhlin
- 2 plošná zkušební tělesa pro zkoušku pojíždění kolem, po rozřezání na trámky pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí

- **FRACL 16 BITUSTRING**

Tato tělesa byla vyrobena za účelem naprosto shodným s předchozími vzorky, opakujeme tedy složení:

- 3 Marshallova zkušební tělesa hutněná 2x25 pro stanovení odolnosti vůči vodě
- 3 Marshallova zkušební tělesa hutněná 2x25 pro stanovení odolnosti vůči vodě a zmrazovacímu cyklu
- 3 Marshallova zkušební tělesa hutněná 2x25 budou použita pro srovnání výsledků předchozích zkoušek – budou vystavena pouze vzduchu a pokojové teplotě.
- 6 Marshallových zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti metodou IT-CY a objemové hmotnosti
- 12 půlválcových těles s drážkou vyrobených z těles pro stanovení modulů tuhosti, použité pro určení odolnosti vůči šíření trhlin
- 2 plošná zkušební tělesa pro zkoušku pojíždění kolem, po rozřezání na trámky pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí

4.1 Výroba asfaltové směsi ACL 16

Pro výrobu asfaltové směsi bylo použito následující vybavení:

- Laboratorní míchačka (Obr. č. 11)
- Laboratorní sušárna (Obr. č. 12)
- Přesné laboratorní digitální váhy
- Nádoby na složky asfaltové směsi (kamenivo, filler, pojivo)
- Špachtle

Jednotlivé frakce kameniva dle složení asfaltové směsi a asfaltové pojivo byly umístěny do sušárny. Zde se temperovaly na referenční teplotu, která se volí v závislosti na druhu míchané směsi a použitého pojiva dle ČSN EN 12697-35+A1. Pojivo bylo do sušárny umístěno se zpožděním, aby nedocházelo k jeho degradaci

způsobené příliš dlouhým zahříváním. Při výrobě bylo použito pojivo 50/70, tedy běžné pojivo, tudíž byla jako referenční zvolena teplota 150 °C. Maximální teplota nesmí být vyšší o více než 20 °C oproti referenční teplotě (viz výše zmíněná norma). Všechno kamenivo je naváženo podle dané receptury s přesností na 0,1 % hmotnosti. Pro vlastní míchání se vloží do předehřáté míchačky na referenční teplotu všechny frakce kameniva kromě filleru. V případě směsí typu FRACL se do míchačky spolu s kamenivem přidávají také požadovaná vlákna. Všechny složky se pak nasucho promíchají. Standardní délka míchání 180 sekund je prodloužena o 10 sekund v případě, že jsou do směsi přidávána vlákna. Toto prodloužení stačí pro dostatečné rozmístění vláken ve směsi. V další fázi se do směsi přidává pojivo předehřáté na referenční teplotu v množství vypočítaném v závislosti na velikosti dávky. Dávka pojiva musí být s přesností na 1 % hmotnosti. Následuje míchání o standardní době, po kterém se přidá filler. Ten je přidáván nakonec z důvodu, aby nedocházelo k jeho nalepování na ostatní frakce kameniva, což by zamezovalo dokonalému obalení zrn pojivem. Filler se směsí promícháme a po ukončení cyklu je směs hotová.

[17]



Obr. č. 11 Laboratorní míchačka [15]



Obr. č. 12 Laboratorní sušárna [15]

4.2 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Pro každou variantu směsi byla zhotovena Marshallova tělesa podle ČSN EN 12697-30+A1 (Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem). Jejich úroveň hutnění je různá a závislá na druhu následující předepsané zkoušky a typu asfaltové směsi.

4.2.1 Zařízení a pomůcky pro výrobu

Pro výrobu těles bylo použito následující vybavení:

- **Laboratorní sušárna** (Obr. č. 12)
- **Rázový zhutňovač** s ocelovou podkladní deskou (Obr. č. 13)
- **Formy** složené z válcové formy (Obr. č. 14) a podložky (Obr. č. 15)
- **Přesné laboratorní digitální váhy**
- **Lopatka, špachtle**
- **Teploměr**
- **Rukavice**
- **Separáčnický papír**
- **Válcové podložky** pod horkou formu
- **Lis** pro vytlačení zkušební tělesa z formy

4.2.2 Postup výroby

Z předchozí činnosti je v míchačce hotová asfaltová směs. Tuto čerstvě namíchanou směs je třeba neprodleně navážít na laboratorních vahách tak, aby těleso z navážené směsi později vzniklé mělo požadovanou výšku $63,5 \pm 2,5$ mm. Pro všechny typy asfaltových směsí byly určeny dvě různé navážky v závislosti na úrovni hutnění daného tělesa.

- | | | |
|--------|---|---------------------|
| ACL 16 | - | 2x25 úderů – 1100 g |
| | - | 2x75 úderů – 1180 g |

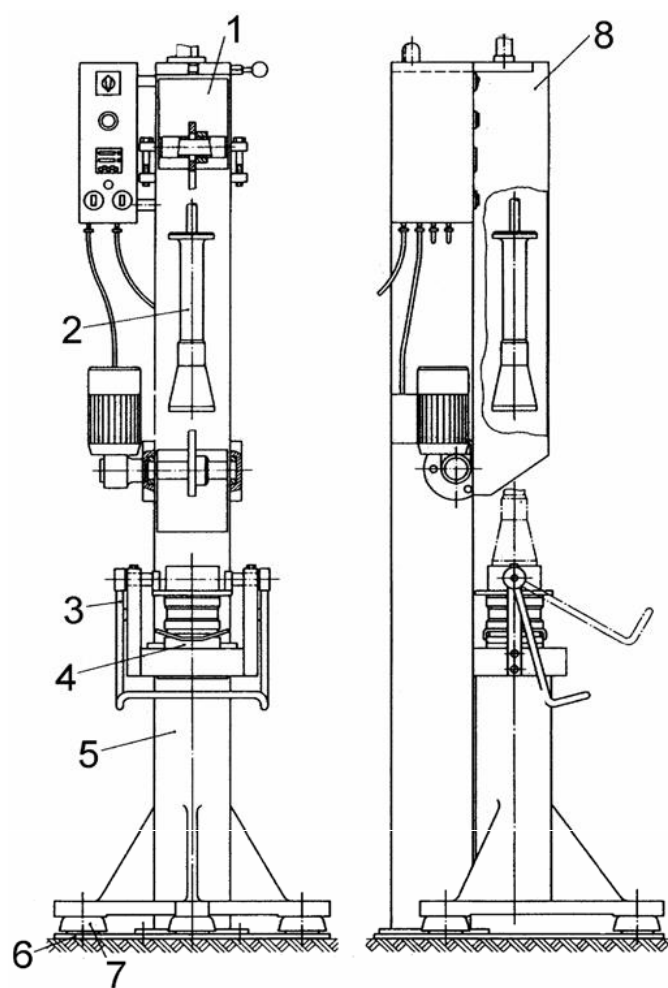
FRACL 16 NAMFLEX FIBRE	-	2x25 úderů – 1100 g
	-	2x75 úderů – 1180 g
FRACL 16 BITUSTRING	-	2x25 úderů – 1100 g
	-	2x75 úderů – 1180 g

Po navážení se nádoby se směsí umístí do sušárny, kde se temperují na předepsanou teplotu, která je cca o 5 až 10°C vyšší, než referenční teplota. To hlavně proto, že se směs po vyndání ze sušárny během přípravy na hutnění velmi rychle ochlazuje. Předpokladem tedy je, že pokud bude směs před hutněním teplejší, při samotném hutnění bude mít ideální teplotu. Teplotu směsi zjišťujeme laboratorním teploměrem, který je nutno vpíchnout zhruba doprostřed směsi, abychom zjistili, zda je dobře prohřátá. Zároveň se směsí se do sušárny umístí také podložka pod formu i všechny kulaté formy. To zabrání přílišnému vychladnutí směsi před hutněním.

Po dosažení potřebné teploty se sestaví forma a na dno se vloží separační papír. Forma se naplní směsí, jejíž povrch je nutné urovnat špachtlí do roviny a na takto upravenou směs vložíme další kolečko separačního papíru.

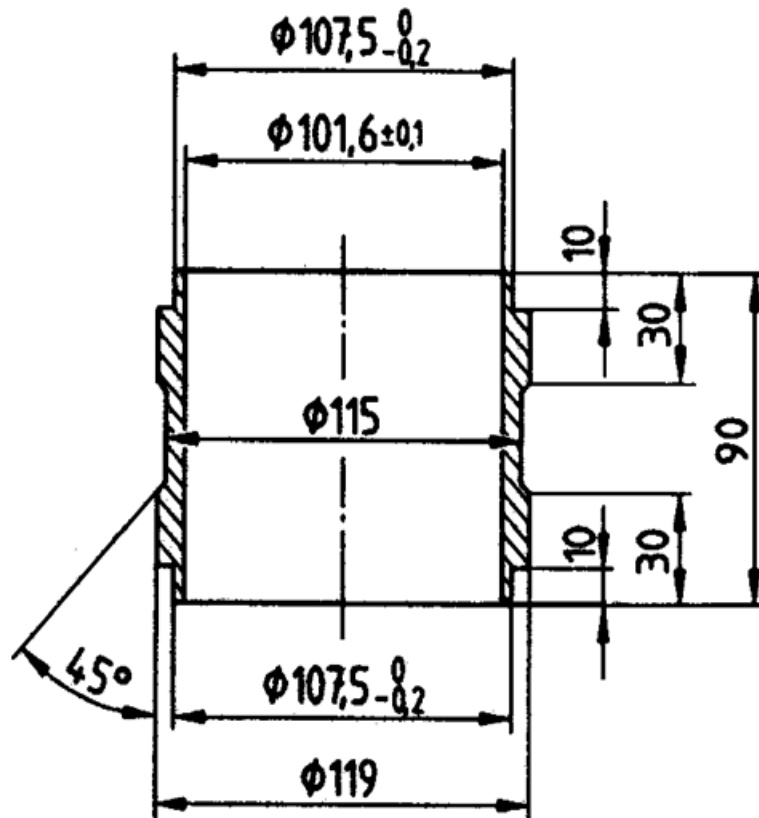
Bezodkladně se forma vloží pod hutnicí beran a na počítadle nastavíme cílový počet úderů. Pak začíná již samotné hutnění. Po dosažení cílového počtu úderů kulatou formu vyjmeme z podložky, otočíme ji „dnem vzhůru“, vrátíme na podložku a spustíme hutnění stejným počtem úderů z druhé strany. Limit pro zhutnění tělesa z obou stran je dle normy 4 minuty od vyndání vytemperované směsi ze sušárny.

Zhutněná tělesa i s formou odložíme na válcové podložky, které brání jejich deformaci. Zde těleso samovolně chladne, dokud nedosáhne přibližně 40°C (na tělese jde udržet ruka). Pak formu sundáme z válcové podložky a vložíme do lisu, kde bude těleso silou vytlačeno ven.

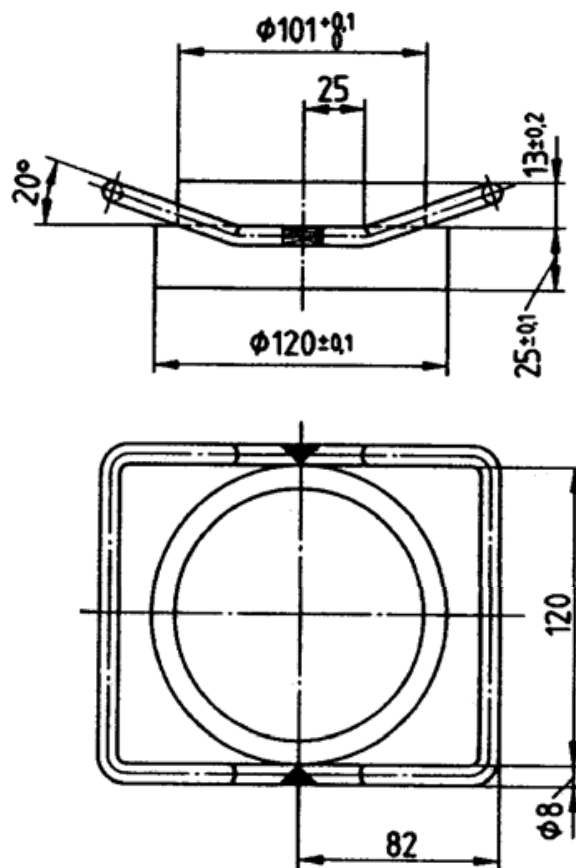


- 1 Základní zdvihací zařízení s motorovým pohonem pro hutnicí beran a počítadlem rázů (na obrázku bez ochranného krytu)
- 2 Hutnicí pěch s válcovou vodicí tyčí hutnicího beranu
- 3 Excentrická vačka upínacího zařízení
- 4 Podkladní deska formy pro hutnění, na kterou se forma připevní
- 5 Zhutňovací podstavec
- 6 Ocelová podkladní deska
- 7 Patky
- 8 Ochranný kryt

Obr. č. 13 Schématický náčrt rázového zhutňovače [18]



Obr. č. 14 Typická válcová forma pro rázový zhutňovač [18]



Obr. č. 15 Typická podložka pro rázový zhutňovač [18]



Obr. č. 16 Lis pro vytlačení zkušebního tělesa z formy [15]

4.3 Příprava zkušebních těles pomocí metody užívající lamely zatlačované válcem

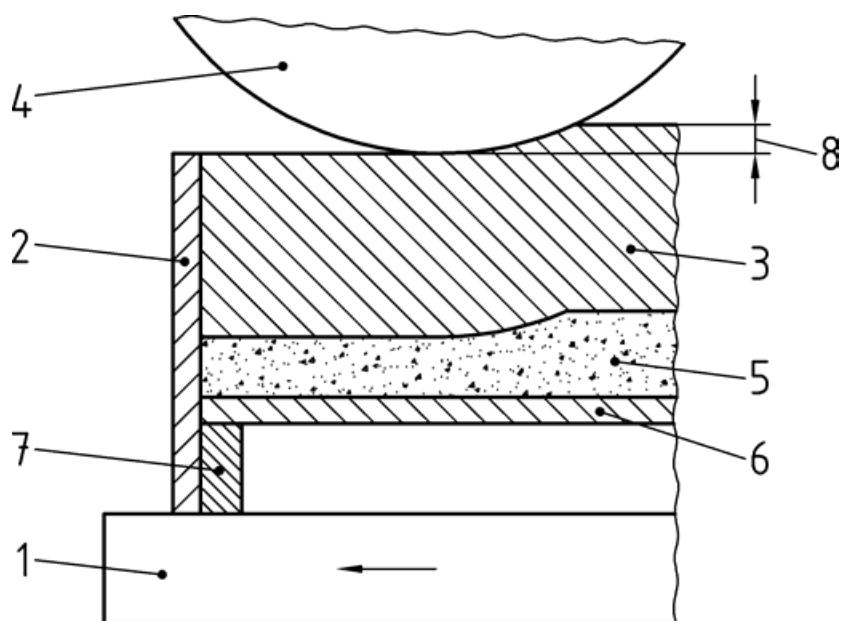
Pro každou směs byla podle úvodu této kapitoly zhotovena taky dvě plošná zkušební tělesa. Tato tělesa jsou přímo určena svými rozměry pro zkoušku pojíždění kolem, která slouží pro stanovení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací. Tloušťka takové desky však může být dle normy ČSN EN 1267 – 22+A1 různá, je určena na základě maximální velikosti zrna ve směsi a typu zkušebního zařízení. Jelikož směs obsahovala maximální velikost zrna 16 mm, byla zvolena tloušťka desky 60 mm. Výsledná deska má tedy rozměry 320x260x60 mm.

4.3.1 Zařízení a pomůcky pro výrobu

Hlavní zařízení použité pro výrobu desek využívá metodu hutnění pomocí lamel zatlačovaných válcem (Obr. č. 17). Toto zařízení se také nazývá „lamelový zhutňovač“. Schéma i s popiskami je na obr. č. 18.



Obr. č. 17 Lamelový zhutňovač [15]



- 1 Stůl pohybující se ve směru šipky
- 2 Forma, připevněná ke stolu pomocí šroubů
- 3 Lamely
- 4 Válec
- 5 Asfaltová směs
- 6 Podkladní deska
- 7 Distanční rám
- 8 Lamely válce jsou výše než forma a tento rozdíl se stává nulovým po určitém počtu pojezdů válce

Obr. č. 18 Schématický řez s popiskami hutnického zařízení na principu lamel [19]

Další pomůcky pro výrobu desek jsou:

- **Nádoba** na asfaltovou směs
- **Laboratorní sušárna**
- **Teploměr**
- **Laboratorní váhy**
- **Separáčnický plech** (mezi směsí a lamely)
- **Silikonový olej ve spreji** (na „vymazání“ formy)
- **Špachtle, lopatka**
- **Rukavice**

4.3.2 Postup výroby

Umíchanou směs z míchačky navážíme do nádoby přesně tak, aby v nádobě byl materiál na jednu desku. Hmotnost navážky se dle normy ČSN EN 12697-33+A1 odstavec 6.1 určí následovně:

„Hmotnost M asphaltové směsi, která má být vložena do formy, je funkcí maximální objemové hmotnosti ρ_m asphaltové směsi, vnitřních rozměrů formy L a l , tloušťky zkušební vzorku e a mezerovitosti v , které jsou předepsány nebo předpokládány (hutnění při řízené energii):

$$M = 10^{-6} \times L \times l \times e \times \rho_m \times \left(\frac{100 - v}{100} \right)$$

<i>kde</i>	<i>M</i>	<i>Hmotnost desky asphaltové směsi, v kg;</i>
	<i>L</i>	<i>Vnitřní délka formy, v mm;</i>
	<i>l</i>	<i>Vnitřní šířka formy, v mm;</i>
	<i>e</i>	<i>Konečná tloušťka desky, v mm;</i>
	<i>ρ_m</i>	<i>Maximální objemová hmotnost asphaltové směsi, v kg/m³;</i>
	<i>v</i>	<i>Mezerovitost směsi v desce, v %.“</i>

[19]

Nádoba s navážkou se umístí do sušárny, kde se temperuje na předepsanou teplotu 155°C. Dosažení této teploty se zkontroluje teploměrem, který stejně jako v případě tvorby Marshallových těles vsuneme co nejbližší středu asphaltové směsi. Po dosažení této teploty se směs nasype do formy, kterou však musíme minimálně dvě hodiny před výrobou tělesa temperovat na teplotu hutnění společně s podkladní deskou a separačním plechem. Následně se forma vystříká silikonovým olejem ve spreji. Po vysypání směsi do připravené formy je nutné tuto směs důkladně rozhrnout špachtlí, aby nedocházelo k lokálnímu přehutnění směsi. Na povrch vložíme separační plech, který také nastříkáme olejem a vyskládáme všechny lamely. Pak už následuje samotné hutnění ve třech krocích:

1. V první fázi se lamely pojížděním válce vtlačí do formy natolik, že přesahují cca o 2,5 mm nad horní hranu formy. V tomto kroku se provede naprostá většina hutnění. Poté nadzdvihneme hutnicí válec tak, aby se lamel nedotýkal, a následuje pauza trvající 8 minut.
2. V této fázi válec lamely úplně zatlačí, čímž dosáhneme téměř stoprocentní míry hutnění. Zatlačením lamel se rozumí, že jejich horní hrana je ve stejné úrovni jako horní hrana formy. Po zatlačení se opět nadzdvihne hutnicí válec a probíhá stejná přestávka jako po kroku č. 1, tedy 8 minut.
3. Ve třetí fázi se provede ještě 15 pojezdů, které vyhladí povrch desky. Tím hutnění končí a zkušební těleso můžeme vyjmout z formy.

Těleso vyjmuté z formy se ještě označí pro pozdější identifikaci a následně se i s podkladní deskou odloží, aby pozvolna vychladlo.

[19]

5 Zkoušky provedené na vyrobených tělesech

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce panem Ing. Petrem Mondscheinem, Ph.D. byly vybrány následující zkoušky, které stanoví vlastnosti všech vzniklých směsí:

- Maximální objemová hmotnost
- Objemová hmotnost
 - o Nasycený suchý povrch (SSD)
 - o Podle rozměrů
- Pevnost v příčném tahu
- Odolnost vůči vodě
 - o odolnost vůči vodě s jedním zmrazovacím cyklem
- Stanovení modulu tuhosti
- Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací
- Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin
- Zkouška v tahu za ohybu asfaltové směsi
- Zkouška relaxace asfaltové směsi

5.1 Maximální objemová hmotnost

Maximální objemová hmotnost byla stanovena podle normy ČSN EN 12697-5, která popisuje stanovení objemové hmotnosti asfaltové směsi bez mezer. Norma navrhuje tři postupy, jak dosáhnout výsledku:

- 1. Volumetrický**
- 2. Hydrostatický**
- 3. Matematický**

Zkouška je vhodná pro nezhuťněné asfaltové směsi čerstvě vyrobené nebo odebrané z terénu. Podstatou zkoušky je určení objemové hmotnosti vzorku bez mezer, díky čemuž můžeme následně vypočítat obsah mezer ve zhuťněném vzorku či určit další vlastnosti zhuťněné asfaltové směsi, které se týkají jejího objemu. Zvolen byl postup volumetrický, kdy se maximální objemová hmotnost stanoví

z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. Objem vzorku se měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.

5.1.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Laboratorní váhy** s přesností vážení na $\pm 0,1$ g
- **Teploměr** s přesností měření na $\pm 0,1$ °C
- **Sušárna** s nucenou ventilací
- Vhodný nástroj k uvolňování a oddělování vzorků
- **Pyknometr** s těsně přiléhajícím nástavcem (Obr. č. 19)
- **Vývěva s manometrem**, umožňující vytěsnění vzduchu z pyknometru na zbytkový tlak 4 kPa (Obr. č. 20)
- **Destilovaná voda**

5.1.1.2 Postup zkoušky

Vzorek asfaltové směsi umístíme do sušárny, kde jej necháme při teplotě 110°C vysušit a rozměknout. Když je dostatečně měkký, vyjme se ze sušárny a rozmělní se na shluky částic ne větší než 6 mm a ostatní větší částice. Poté se zváží zvolený prázdný pyknometr o známém objemu s přesností na 0,1 g (m_1). Vysušený a rozdrobený zkušební vzorek se umístí do pyknometru a temperuje na okolní teplotu. Po temperování zvážíme pyknometr i se zkušebním vzorkem, čímž získáme další hodnotu (m_2). Poté se pyknometr napustí destilovanou vodou cca. 30 mm pod okraj. Pak se vhodným nástrojem důkladně promíchá vzorek s destilovanou vodou, aby se alespoň částečně uvolnily vzduchové bublinky. Zbývající vzduch se odstraní použitím částečného vakua, které bude mít zbytkový tlak 4 kPa nebo méně po dobu (15 ± 1) min. Po odstranění vzduchu se pyknometr osadí nástavcem, dopustí se destilovanou vodou po referenční značku tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu. Následně se provede třetí vážení s odvzdušněným vzorkem a destilovanou vodou (m_3)

5.1.1.3 Výpočet

Maximální objemová hmotnost získaná volumetrickým postupem se poté vypočítá s přesností 0,001 Mg/m³ podle následující rovnice:

$$\rho_{mv} = \frac{m_3 - m_1}{10^6 \times V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w}$$

kde	ρ_{mv}	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem s přesností na 1 kg/m ³ [kg/m ³]
	m_1	Hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny [g]
	m_2	Hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a zkušební vzorku [g]
	m_3	Hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, zkušební vzorku a destilované vody [g]
	V_p	Objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce [m ³]
	ρ_w	Hustota destilované vody při zkušební teplotě s přesností na 1 kg/m ³ [kg/m ³]

[20]



Obr. č. 19 Pycnometr s těsně přiléhajícím nástavcem a vzorkem [15]



Obr. č. 20 Vývěva s manometrem [15]

5.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost byla stanovena dle ČSN EN 12697-6. Tato norma však uvádí čtyři možné postupy provádění zkoušky, přičemž volení postupu je závislé na odhadovaném obsahu a přístupnosti dutin ve vzorku. Postupy jsou následující:

1. **Objemová hmotnost: suchá** (pro tělesa s velmi uzavřeným povrchem)
2. **Objemová hmotnost: nasycený suchý povrch SSD** (pro tělesa s uzavřeným povrchem)
3. **Objemová hmotnost: utěsněné zkušební těleso** (pro tělesa s otevřeným a hrubozrnným povrchem)

4. **Objemová hmotnost: podle rozměrů** (pro tělesa s pravidelným povrchem mající geometrický tvar, tj. čtverce, obdélníky, válce apod.)

[21]

Pro potřeby této práce byly vybrány dva postupy. Postup 2., který použijeme na Marshallova zkušební tělesa hutněna 2x75 údery a na plošná zkušební tělesa, pak také postup 4, který bude použit na všechna zkušební tělesa.

5.2.1 Objemová hmotnost: Nasycený suchý povrch (SSD)

Tato zkouška podle ČSN EN 12697-6 má základ v rozdílu hmotnosti zkoušeného tělesa na vzduchu a ve vodě. Zkušební těleso se nejprve zváží suché, pak se nasytí vodou a poté se osuší a ihned zváží.

5.2.1.1 Zařízení a pomůcky pro zkoušku

- **Laboratorní váhy** s dostatečnou přesností pro vážení zkušební tělesa na vzduchu i ve vodě (např. pomocí drátěného košíku), s přesností vážení nejméně $\pm 0,1$ g (Obr. č. 21)
- **Vodní lázeň** udržující stejnou teplotu, která má objem minimálně 3x větší než objem zkušební tělesa
- **Teploměr**
- **Vlhká jelenice** pro povrchové osušení těles

5.2.1.2 Postup zkoušky

Ze všeho nejdříve stanovíme hmotnost suchého tělesa (m_1). Dále se určí teplota vodní lázně, což slouží jako pozdější podklad pro stanovení hustoty vody s přesností $0,1 \text{ kg/m}^3$. Následně se tělesa vloží do vodní lázně a nechají se plně nasytit vodou. Čas ve vodní lázni musí být minimálně 30 minut. Po dostatečném nasycení se stanoví hmotnost zkušební tělesa ponořeného (m_2). Poté se těleso vyjme z lázně, neprodleně osuší vlhkou jelenicí a stanoví se jeho hmotnost na vzduchu (m_3).

5.2.1.3 Výpočet

Výsledná hodnota objemové hmotnosti zkušební tělesa se spočítá s přesností na 1 kg/m^3 podle rovnice:

$$\rho_{\text{bssd}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

kde	ρ_{bssd}	Objemová hmotnost SSD [kg/m^3]
	m_1	Hmotnost suchého zkušební tělesa [g]
	m_2	Hmotnost ponořeného zkušební tělesa ve vodě [g]
	m_3	Hmotnost zkušební tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného [g]
	ρ_w	Hustota vody při zkušební teplotě [kg/m^3]

[21]



Obr. č. 21 Laboratorní váhy uzpůsobené k vážení ponořených těles [15]

5.2.2 Objemová hmotnost: podle rozměrů

Touto zkouškou stanovujeme objemovou hmotnost tělesa z jeho hmotnosti na vzduchu a objemu podle normy ČSN EN 12697-6+A1.

5.2.2.1 Pomůcky a zařízení

- **Laboratorní váhy** s přesností vážení na $\pm 0,1$ g
- **Digitální posuvné měřítko** s přesností měření na $\pm 0,01$ mm

5.2.2.2 Postup zkoušky

Nejprve je nutno získat hmotnost suchého tělesa (m_1). Objem tělesa je stanoven výškou a průměrem tělesa. Tyto hodnoty jsou získány na základě měření tělesa v několika místech a následného aritmetického průměru z těchto měření.

5.2.2.3 Výpočet

Objemová hmotnost se spočítá s přesností na 1 kg/m^3 podle vzorce pro válcové těleso:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^3$$

kde	$\rho_{b,dim}$	Objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů [kg/m^3]
	m_1	Hmotnost suchého zkušební tělesa [g]
	h	Průměrná výška zkušební tělesa [mm]
	d	Průměr zkušební tělesa [mm]

[21]

5.3 Pevnost v příčném tahu

Postup této zkoušky byl stanoven podle normy ČSN EN 12697-23. Zkušební vzorec ve tvaru válce (Marshallovo těleso) je vložen do zatěžovacího lisu a zatěžován podél středové osy při konstantní rychlosti zatěžování, do okamžiku porušení. Pevnost v příčném tahu je maximální tahové napětí vypočítané z nejvyššího zatížení, které vedlo k porušení tělesa, a jeho rozměrů.

5.3.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Zkušební lis** splňující prEN12697-34, např. Marshallův lis, který je schopen vyvinout sílu min. 28 kN při konstantní rychlosti zatěžování 50 ± 2 mm/min
- **Tlačné čelisti se zatěžovacími pásy**, délka pásů musí být minimálně rovna výšce zkoušeného tělesa, šířka 12,7 mm (Obr. č. 22)
- **Chladicí zařízení** pro vytemperování zkušební tělesa na zvolenou zkušební teplotu
- **Měřicí zařízení** se schopností stanovit zatížení s přesností $\pm 0,2$ kN (Obr. č. 23)
- **Digitální posuvné měřítko** s přesností měření na $\pm 0,01$ mm

5.3.1.2 Postup zkoušky

Zkušební tělesa (minimálně tři od každé směsi) ve tvaru válce o průměru 100 ± 3 mm připravená v laboratoři hutněna 2x25 údery uchováváme na vzduchu při teplotě 20 ± 5 °C. Před samotnou zkouškou je umístíme do klimatizovaného prostoru s nastavitelnou teplotou, kde se temperují na zkušební teplotu. Zkušební teplota byla zvolena 15 °C podle normy ČSN EN 12697-23. Temperovaná tělesa se vloží do tlačných čelistí. Teplota v místnosti je mezi 15 a 25 °C. Těleso je na zatěžovacích páslech umístěno tak, aby byl tlakem zatěžován jeho průměr. Poté se zahájí stlačování tělesa rychlostí 50 ± 2 mm/min, až do dosažení maximálního zatížení. Tato hodnota se zaznamená spolu s hodnotou deformace v okamžiku dosažení maximálního zatížení. Zkouška musí být dokončena maximálně 2 minuty od vyjmutí tělesa z místa temperace. Postup se opakuje a výsledná pevnost v příčném tahu se určí jako průměr výsledků z nejméně třech jednotlivých zkušebních těles.

5.3.1.3 Výpočet

Pro každé těleso zvlášť se vypočítá pevnost v příčném tahu ITS podle vzorce:

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times H}$$

kde	ITS	Pevnost v příčném tahu [MPa], zaokrouhlená na tři platné číslice
	P	Maximální zatížení [N], zaokrouhlené na celá čísla
	D	Průměr zkušebního tělesa [mm], na jedno desetinné místo
	H	Průměrná výška zkušebního tělesa [mm], na jedno desetinné místo

[22]



Obr. č. 22 Těleso upevněné v tlačných čelistech [15]



Obr. č. 23 Měřicí zařízení zapojené k laboratornímu lisu [15]

5.4 Stanovení odolnosti vůči vodě

Podle normy ČSN EN 12697-12 byla stanovena odolnost vůči vodě Marshallových těles hutněných 2x25 údery. Použita byla metoda a popsána v této normě. Tělesa se rozdělí do dvou skupin. Jedna skupina projde zkouškou pevnosti v příčném tahu podle normy ČSN EN 12697-23, druhá skupina se vloží do vodní lázně se zvýšenou teplotou, pak se temperuje na stejnou teplotu jako první skupina těles a ozkouší se stejně jako tato tělesa. Vypočítá se poměr pevnosti v příčném tahu stanovené u skupiny zkušebních těles temperovaných ve vodní lázni k pevnosti v příčném tahu stanovené u skupiny těles udržovaných na vzduchu. Tento poměr se pak vyjádří v procentech.

5.4.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Zkušební lis, tlačná čelist se zatěžovacími pásy, termostaticky regulovaný prostor pro temperaci těles, a veškeré další vybavení vyžadované k provedení zkoušky pevnosti v příčném tahu podle normy ČSN EN 12697-23.**

- **Vodní lázeň** s termostatickou regulací schopnou udržet teplotu temperování 40 ± 1 °C (Obr. č. 24 Obr. č. 24 Vodní lázeň s termostatickou regulací)
- **Vakuový systém (manometr)**, který sníží tlak ve vakuové komoře na hodnotu $6,7 \pm 0,3$ kPa za dobu 10 ± 1 min a udrží požadované vakuum 30 ± 5 minut (Obr. č. 25, Obr. č. 25)
- **Digitální posuvné měřítko** s přesností měření na $\pm 0,01$ mm

5.4.1.2 Postup zkoušky

Marshallova zkušební tělesa mají průměr 100 ± 3 mm a hutněna jsou 2x25 údery. Rozdělí se do dvou skupin. Zkušební tělesa musí být stejného stáří. První zkušební tělesa se ozkouší na pevnost v příčném tahu podle normy ČSN EN 12697-23. Druhá skupina těles se uloží na perforovanou podložku do vakuové komory naplněné destilovanou vodou o teplotě 20 ± 5 °C. Ve vakuové komoře se vytvoří během 10 ± 1 min. absolutní tlak $6,7 \pm 0,3$ kPa. Tlak se snižuje postupně, aby nedošlo k poškození těles rozpínajícím se vzduchem. Požadovaný tlak se udržuje po dobu 30 ± 5 minut. Pak se skupina těles vloží do vodní lázně o teplotě 40 ± 1 °C na dobu 68 až 72 hodin. Po vyjmutí z lázně se tělesa nechají v laboratorní teplotě pozvolna ochladnout, následně se vloží do vodní lázně do zařízení s řízenou teplotou a vytemperují se na 15 °C, stejně jako tělesa zkoušená na pevnost v příčném tahu, která se však temperují na suchu. Následně se ozkouší podle normy ČSN EN 12697-23. Zkouška pevnosti v příčném tahu se musí provést do 1 minuty po vyjmutí zkušební tělesa z temperované vodní lázně.

5.4.1.3 Výpočet

Vypočítá se poměr pevnosti v příčném tahu (ITSR) podle vzorce:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

kde je	ITSR	Poměr pevnosti v příčném tahu [%]
	ITS_w	Průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles [kPa]

ITS_d

Průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles [kPa]

[23]



Obr. č. 24 Vodní lázeň s termostatickou regulací [15]



Obr. č. 25 Tělesa ve vakuové komoře při absolutním tlaku $6,7 \pm 0,3$ kPa [15]

5.4.2 Stanovení odolnosti vůči vodě v kombinaci s jedním zmrazovacím cyklem

Tato zkouška byla navržena jako rozšíření stávajících zkoušek pro otestování odolnosti vůči zmrazovacímu cyklu. Zkouška probíhala zcela podle normy ČSN EN 12697-12 s vloženým zmrazovacím cyklem po vyjmutí těles z vodní lázně, což norma v poznámce v odstavci 6.1.2.2.6 navrhuje a umožňuje.

5.4.2.1 Pomůcky a zařízení

Jelikož jsou pomůcky a zařízení uvedené v odstavci 5.4.1.1 zcela shodné s pomůckami potřebnými pro tuto zkoušku (do jisté míry se zkoušky dělají současně), bude zde vypsán pouze seznam pomůcek, které jsou potřeba navíc oproti výše uvedenému odstavci.

- **Mrazicí box** se schopností udržet těleso při teplotě -16 °C po dobu minimálně 16 hodin od začátku temperace
- **Plastikové sáčky** vodotěsné, které zabraňují unikání vody z nasyceného tělesa
- **Odměrka**, na které lze odměřit 10 ± 1 ml vody, které budou zmrazeny spolu s tělesem

5.4.2.2 Postup zkoušky

Postup je do jisté míry shodný s postupem uvedeným v odstavci 5.4.1.2., do kterého je vložen následující postup v okamžiku vyjmutí těles z vodní lázně:

Tělesa vyjmutá z lázně se nechají pozvolna zchladnout na laboratorní teplotu $20 \pm 5\text{ °C}$ po dobu přibližně 2 hodin. Poté se vloží do plastických sáčků, vstříkne se k nim 10 ± 1 ml vody, sáčky se vodotěsně utěsní a vloží do mrazicího boxu (Obr. č. 26 Obr. č. 26 Zkušební těleso připravené na zmrazovací cyklus). Necháme temperovat 16 hodin. Po vyjmutí z mrazicího boxu necháme tělesa v sáčku pozvolna opět rozmraznout a temperovat na laboratorní teplotu.

Odsud je postup opět totožný s postupem v odstavci 5.4.1.2.

5.4.2.3 Výpočet

Všechny početní úkony jsou shodné s početními úkony provedenými v odst. 5.4.1.3, pouze výsledná hodnota ITSR se nazve jako $ITSR_f$ což značí přítomnost zmrazovacího cyklu.

[23]



Obr. č. 26 Zkušební těleso připravené na zmrazovací cyklus [15]

5.5 Stanovení modulu tuhosti

Modul tuhosti byl stanoven plně nedestruktivně podle normy ČSN EN 12697-26, která popisuje různé alternativy zkušebních metod pro jeho stanovení. Z hlediska způsobu namáhání zkušebního tělesa rozlišuje norma tyto zkušební metody:

- Zkoušky ohybem
 - 2PB-TR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu
 - 2PB-PR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého trámečku
 - 3PB-PR: tříbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku
 - 4PB-PR: čtyřbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku
- Zkouška v příčném tahu
 - IT-CY: zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech
 - CIT-CY: zkouška cyklickým namáháním v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech
- Zkoušky jednoosým tahem a tlakem
 - DTC-CY: zkouška jednoosým tahem a tlakem na válcových zkušebních tělesech
 - DT-CY: zkouška v přímém tahu na válcových zkušebních tělesech
 - DT-PR: zkouška v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku

V rámci bakalářské práce byla z výše vypsaneého seznamu použita zkouška „IT-CY: zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech“ pro všechna Marshallova zkušební tělesa hutněna 2x75 údery. Podstatou zkoušky je zatěžování zkušebního tělesa tlakovým napětím ve svislém směru, které se přenáší v rovině svislého průmětu vzorku a vytváří tak namáhání zkušebního vzorku v příčném tahu kolmo ke směru zatížení. Toto namáhání vyvolává vodorovnou deformaci, která je během zkoušky měřena dvěma sondami. Na základě hodnot zatěžovací síly a příčné deformace a vstupních parametrech (Poissonovo číslo, rozměry zkušebního tělesa) se stanoví modul tuhosti asphaltové směsi v dané zkušební teplotě. Zkouška byla provedena při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C.

5.5.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Ocelový zatěžovací rám**
- **Dvě zatěžovací čelisti** z nerezové oceli. Čelisti musí být zakřivené (konkávní) po celé šířce zkušební tělesa. Šířka a hloubka zaoblení čelistí je závislá na průměru zkoušeného tělesa. Rozměry tělesa byly v tomto případě 100 ± 3 mm, proto byly použity čelisti pro to určené o šířce $12 \pm 0,1$ mm a odchylkou poloměru konkávní části 50 ± 1 mm, podle tabulky C.1 uvedené v normě ČSN EN 12697-26. Hrany zatěžovacích čelistí musí být zaoblené, aby se předešlo štípání zkušební tělesa během zkoušky. K umístění spodního pásu do osy zatížení ocelového zatěžovacího rámu musí být použit stojan. Horní pás musí být ve styku se zatěžovacím zařízením pomocí sférické dosedací plochy.
- **Zatěžovací zařízení**, jehož budič je schopen vyvinout zatížení na zkušební těleso prostřednictvím zatěžovacích čelistí. Těleso je zatěžováno pulzy, které mají pevně stanovenou dobu náběhu, periodu zatížení a špičkovou hodnotu zatížení. Doba náběhu, která je vymezena začátkem působení zatěžovacího pulsu a špičkovou hodnotou zatížení, musí být (124 ± 4) ms. Perioda opakování pulzů musí být $(3,0 \pm 0,1)$ s. Maximální (špičková) hodnota zatížení musí být taková, aby bylo dosaženo požadované horizontální deformace.
- **Snímač síly** s přesností 2 %, který je umístěn pod zatěžovacím zařízením
- **Pevný rámeček osazený 2 snímači posunu** (LDVT sondy) a upínacími šrouby, kterými se rámeček připevní po dobu zkoušky ke zkušebnímu tělesu
- **Nastavovací podpěra pevného rámečku**, která slouží pro snadné a hlavně správné umístění snímačů posunu vůči zkušebnímu tělesu
- **Záznamové zařízení**, které ukládá hodnoty naměřené snímači (síla a posun) v průběhu zkoušky
- **Termostatická komora s nuceným oběhem vzduchu**, která udržuje zkušební teplotu v blízkém okolí zkušebních těles s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (Obr. č. 27)

- **Osobní počítač** pro zpracování naměřených a operátorem zadaných hodnot
- **Sušárna či chladicí zařízení** pro vytemperování zkušební tělesa na zvolenou zkušební teplotu

5.5.1.2 Postup zkoušky a výpočty

U zkušebních těles byly při zkoušce určení suché objemové hmotnosti zjištěny rozměry, ze kterých se následně udělal aritmetický průměr. Ten se pak použil při výpočtu tuhosti příslušného tělesa. Všechna tělesa byla postupně vytemperována po dobu minimálně 4 hodin na jednotlivé zkušební teploty 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C. Po temperování se těleso umístí do polohy zkoušení, pak se osadí pevným rámečkem prostřednictvím nastavovací podpěry. LDVT sondy se nastaví tak, aby byly schopné měřit hodnoty, a těleso se následně zatíží deseti kontrolními pulzy, které slouží také jako kalibrační pro celé zařízení a jeho nastavení na správnou velikost zatížení a dobu pulzu k dosažení předem stanovené horizontální deformace. Součinitel plochy zatížení je poměr plochy pod křivkou, která je omezena začátkem působení zatěžovacího pulsu a špičkovou hodnotou zatížení, k součinu doby náběhu a maximálního zatížení. Nastavitelné zatížení je takové, aby tento součinitel byl přibližně 0,6, což je doporučená hodnota. Pro testovaná tělesa o průměru 100 ± 3 mm je na základě získaných zkušeností vhodná hodnota horizontální deformace 5 ± 2 μm u těles měřených při více než 0 °C. Při teplotě 0 °C je vhodnější zvolit horizontální deformaci 3 ± 1 μm . Tyto hodnoty byly zvoleny u zkoušení těles v této práci. Po kontrolních pulzech následuje 5 zatěžovacích pulsů. Při každém pulzu se zaznamená maximální hodnota svislého zatížení, amplituda horizontální deformace a průběh zatěžování během celého pulzu pro stanovení součinitele plochy zatížení. Pro každý zatěžovací pulz se na základě těchto naměřených hodnot a hodnot do přístroje zadaných stanoví modul tuhosti. Pro výpočet modulu tuhosti se použije následující vzorec:

$$S_m = \frac{F \times (\nu + 0,27)}{(z \times h)}$$

kde	S_m	Modul tuhosti [MPa]
	F	Maximální hodnota svislého zatížení [N]
	z	Amplituda horizontální deformace v průběhu zatěžovacího cyklu [mm]
	h	Průměrná tloušťka zkušební tělesa [mm]
	ν	Poissonovo číslo závislé na zkušební teplotě

Vypočítaný modul tuhosti se upraví dle součinitele plochy zatížení (0,60) prostřednictvím následujícího vzorce:

$$S'_m = S_m \times (1 - 0,322 \times (\log(S_m) - 1,82) \times (0,60 - k))$$

kde	S'_m	Modul tuhosti upravený na součinitel plochy zatížení 0,60 [MPa]
	k	Naměřený součinitel plochy zatížení [-]
	S_m	Modul tuhosti při součiniteli zatížení k, s uvedením teploty [°C]

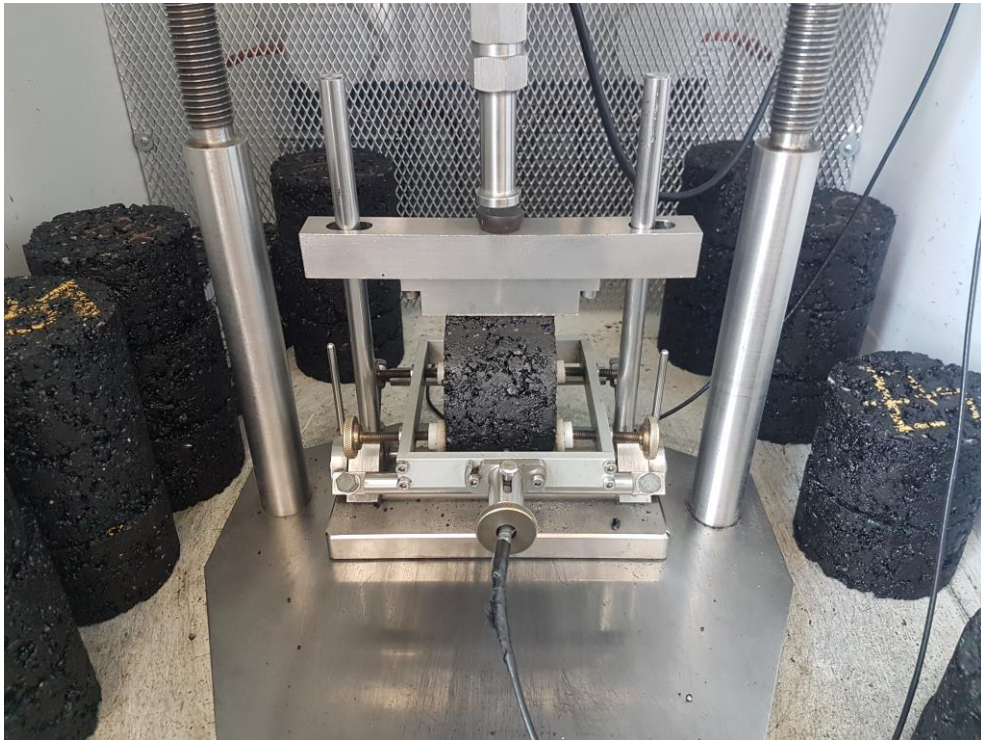
Modul tuhosti se určí jako aritmetický průměr modulů tuhosti stanovený z pěti zatěžovacích cyklů vyhodnocených dle výše uvedených rovnic. Toto vše udělá zkušební sestava s osobním počítačem, který automaticky zapíše výstupní data do textového souboru. Změřené zkušební těleso se následně vyjme ze zkušebního zařízení, otočí podle horizontální osy otáčení od $90 \pm 10^\circ$. Těleso se znovu osadí do zkoušecího přístroje a provede se měření podle předchozích kroků. Pokud je průměrná hodnota vypočítaná z pěti měření modulů tuhosti v rozmezí +10 % až -20 % průměrné hodnoty z předchozího měření téhož tělesa, vypočítá se průměr pro tyto dvě zkoušky a výsledná hodnota se zaznamenává jako modul tuhosti zkušební tělesa.

[24]



Obr. č. 27 Termostatická komora s nuceným oběhem vzduchu, ve které je umístěno zkušební zařízení

[15]



Obr. č. 28 Těleso připravené na zkoušku tuhosti [15]

5.6 Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací

Odolnost všech směsí vůči tvorbě trvalých deformací byla stanovena na plošných zkušebních tělesech, které byly vyrobeny podle postupu v kapitole 4.3. Tato zkouška byla provedena dle ČSN EN 12697-22+A1 – Zkouška pojíždění kolem, která popisuje zkušební postupy zkoušky pojíždění zatíženým kolem po zkušebních tělesech o maximální velikosti zrna 32 mm a jak stanovit jejich náchylnost vůči trvalým deformacím pod účinkem takového působení. Tato náchylnost se určuje dle hloubky vyjeté koleje na zkušebním tělese a podle přírůstku této hloubky během zkoušení opakovaným pojížděním zatíženým kolem při stálé teplotě, která je stanovena pro zkoušky v rámci této bakalářské práce 50°C.

Norma rozlišuje tři druhy zkušebních zařízení:

- Velká zkušební zařízení
- Extra velká zkušební zařízení
- Malá zkušební zařízení

V rámci této práce byla použita zkouška na malém zkušebním zařízení, kterým laboratoře disponují.

5.6.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Malé zkušební zařízení** (Obr. č. 29), které se skládá z:
 - Zařízení pro regulaci teploty, které udržuje v průběhu zkoušení konstantní předepsanou teplotu zkušebního tělesa s přesností $\pm 1^\circ\text{C}$
 - **Zařízení pro vyjíždění kolem**, které je složeno z:
 - Z obruče s vnějším průměrem 200 až 205 mm osazené na kole. Obruč musí být hladká (bez dezénu), obdélníkového průřezu o šířce $w \pm 1$ mm, kde $w = 50 \pm 5$ mm, a o tloušťce 20 ± 2 mm a musí být z pevné pryže, která má požadovanou tvrdost
 - Z prostředků pro vyvození zatížení na kolo, které je při standardních zkušebních podmínkách $(700 \times \frac{w}{50}) \pm 10$ N, měřeno na horním povrchu zkušebního vzorku kolmo k rovině zkušebního stolu
 - Ze zkušebního stolu, který umožňuje uchycení desky tak, aby její povrch byl ve vodorovné poloze, v požadované rovině pojíždění a její střed byl umístěn tak, tak aby docházelo k symetrickému pojíždění
 - Ze zařízení umožňující harmonický pohyb zatíženého kola vpřed a vzad po uchyceném zkušebním tělese (frekvence je $26,5 \pm 1,0$ zatěžovacích cyklů za minutu) tak, aby osa dráhy obruče nebyla odchýlena více jak 5 mm od teoretického středu zkušebního tělesa. Celková dráha pojezdu je 230 ± 10 mm
 - Z ocelového rámu a vozíku

- Ze zařízení pro měření vertikální polohy zatíženého kola, které měří s přesností $\pm 0,2$ mm a v rozsahu nejméně 20,0 mm
- **Posuvné měřítko** pro měření tloušťky zkušební tělesa s přesností ± 1 mm
- **Prostředky pro zamezení nalepování asfaltové směsi** na pojížděné kolo. Tímto prostředkem byla průhledná plastová fólie, která byla na formu uchycena magnety.

5.6.1.2 Postup zkoušky

Příslušná norma ČSN EN 12697-22+A1 uvádí dva zkušební postupy (A a B) podle kterých může být zkouška provedena. Při zkušebním postupu a je prováděna temperace na vzduchu. Postup B umožňuje temperaci za sucha i ve vodní lázni. Postup vybraný a využitý pro zkoušky provedené pro potřeby této práce je B – na vzduchu, pro který se testují 2 tělesa ze stejné asfaltové směsi.

U všech zkušebních těles se změří tloušťka tělesa ve středu každé strany obvodu tělesa. Tato čtyři měření se nesmí lišit při jmenovité tloušťce tělesa větší než 50 mm o více než 5 % jmenovité tloušťky. Průměr těchto 4 měření se zaznamená jako tloušťka zkušební vzorku.

Po změření a vytemperování se deska upevní do zkušební zařízení. Po upevnění desky se do ní vyvrtá otvor pro osazení teplotního čidla a její povrch se opatří plastovou fólií, aby nedocházelo k nalepování asfaltové směsi na pojížděné kolo. Otvor pro osazení teplotního čidla byl vyvrtán v rohu desky minimálně 60 mm od obou stran desky.

Následuje temperování zkušební tělesa, jehož dobu norma ČSN EN 12697-22+A1 stanovuje v závislosti na jmenovité tloušťce daného tělesa. Pro tento případ, kdy je jmenovitá tloušťka menší nebo rovna 60 mm, se musí těleso temperovat minimálně 4 hodiny.

Po splnění všech předchozích bodů postupu a zatížení kol závažím o normou dané velikosti se zařízení uvede do pohybu a automatické měřicí zařízení

zaznamenává počáteční vertikální deformace 6krát až 7krát během první hodiny, pak minimálně každých 500 zatěžovacích cyklů.

Pojíždění kolem pokračuje, až dokud nedosáhne hloubky koleje 20 mm nebo do provedení 10 000 zatěžovacích cyklů, podle toho, co nastane dříve.

Zkouška se provádí vždy na dvou zkušebních tělesech zároveň vyrobených ze stejné varianty asfaltové směsi.

5.6.1.3 Výpočet a vyjádření výsledků

Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu

Přírůstek vyjeté koleje vyjádřený v mm na 1 000 zatěžovacích cyklů se vypočítá jako:

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

kde	WTS_{AIR}	Přírůstek hloubky vyjeté koleje na 1 000 zatěžovacích cyklů [mm]
	$D_{10\,000}$	Hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech [mm]
	$D_{5\,000}$	Hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech [mm]

Pokud je zkouška ukončena před dosažením 10 000 cyklů, pak se přírůstek počítá z lineární části křivky hloubky vyjeté koleje. Pouze však, pokud tuto lineární část pokrývá nejméně 2000 cyklů.

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu (PRD_{AIR}) je průměr hloubky vyjeté koleje ze dvou zkušebních těles vyjádřený v %, která se stanoví podle následujícího vzorce:

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{10\,000}}{h} \times 100$$

kde	PRD_{AIR}	Poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu [%]
	$d_{10\,000}$	Hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech [mm]
	h	Výška zkušebního tělesa [mm]

[25]



Obr. č. 29 Malé zkušební zařízení pro zkoušku vyjždění kolem [15]

5.7 Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin

Odolnost vůči šíření trhlin byla stanovena podle normy ČSN EN 12697-44. Určuje se na půlválcovém tělese, které vzniklo přeříznutím Marshallova zkušebního tělesa napůl, uprostřed průměru se uměle vytvoří trhlina. Takové těleso je zatěžováno ohybem ve 3 bodech tak, že střed spodního líce zkušebního tělesa je vystaven napětí v tahu. V průběhu zkoušky se deformace zvyšuje při konstantní rychlosti 5 mm/min. Zatížení se zvyšuje na maximální hodnotu F_{max} , která se přímo vztahuje k odolnosti zkušebního tělesa vůči lomu.

5.7.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Zkušební zařízení** má mít rozsah nejméně 50 kN a pohon, se kterým je udržována v průběhu zkoušky konstantní rychlost posunu $5,0 \pm 0,2$ mm/min
- **Zkušební rám** upravený pro tělesa o $\varnothing 100 \pm 3$ mm oproti normě, kde je uvedený rám pro tělesa o $\varnothing 150$ mm (Obr. č. 30)
- **Měřicí zařízení** se schopností stanovit zatížení s přesností $\pm 0,2$ kN
- **Chladicí zařízení** pro vytemperování zkušebního tělesa na zvolenou zkušební teplotu
- **Posuvné měřítko** schopné měřit rozměry zkušebních těles s přesností na $\pm 0,1$ mm
- **Řezací zařízení** umožňující rozpůlit Marshallovo těleso na dvě shodné poloviny, zmenšit jeho výšku na $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ a vyříznout ve zkušebním tělese drážku o šířce $0,35 \pm 0,10$ mm a hloubce 10 ± 1 mm
- **Destička s výsečí** pro určení platnosti zkoušky kontrolou umístění trhliny (Obr. č. 31)

5.7.1.2 Postup zkoušky

Zkušební tělesa pro účely této zkoušky byla připravena na řezacím zařízení z Marshallových těles hutněných 2x25 údery snížením jejich výšky na 50 ± 3 mm, rozpůlením podle průměru a následným vytvořením drážky o šířce $0,35 \pm 0,10$ mm a hloubce 10 ± 1 mm na spodním lemu půlválcového tělesa. Zkouška byla provedena v 0 a -10 °C. Těleso vytemperované na požadovanou teplotu se umístí do

zatěžovacího zařízení tak, aby to odpovídalo normě ČSN EN 12697-44. Poté se spustí zatěžovací zařízení, které zatěžuje těleso rychlostí $5,0 \pm 0,2$ mm/min. Zapiše se maximální vyvinutá síla v kN a svislá deformace v mm v momentě vyvinutí maximální síly. Celý proces zkoušky by neměl trvat déle než 60 sekund.

Vzniklé trhliny je potřeba zkontrolovat pomocí destičky s výsečí. Pokud leží celá trhlina ve výseči, mohou být naměřené hodnoty síly a deformace započítána. Když však trhlina vybočuje z této výseče, je výsledek neplatný a tento by neměl být započítán do vyhodnocení.

5.7.1.3 Výpočet

Poměrné přetvoření při maximální síle

Pro každé zkušební těleso se vypočítá poměrné přetvoření ϵ_{\max} při maximální síle podle vzorce:

$$\epsilon_{\max} = \frac{\Delta W}{W} \times 100$$

kde	ϵ_{\max}	Poměrné přetvoření zkušební tělesa v [%]
	ΔW	Svislý posun zkušební tělesa při maximální síle [mm]
	W	Výška zkušební tělesa [mm]

Maximální napětí při porušení

Pro každé zkušební těleso se vypočítá maximální napětí při porušení σ_{\max} , které působí na spodním líci tělesa, podle rovnice:

$$\sigma_{\max} = \frac{4,263 \times F_{\max}}{D \times t}$$

kde	σ_{\max}	Maximální napětí při porušení zkušební tělesa [N/mm ²]
	F_{\max}	Maximální síla při porušení zkušební tělesa [N]
	D	Průměr zkušební tělesa [mm]
	t	Tloušťka zkušební tělesa [mm]

Odolnost vůči lomu

Pro každé zkušební těleso se vypočítá odolnost vůči lomu K_{Ic} podle následujícího vzorce:

$$K_{Ic} = \sigma_{\max} \times f\left(\frac{a}{W}\right)$$

kde	K_{Ic}	Odolnost vůči lomu zkušebního tělesa [$N/mm^{3/2}$]
	σ_{\max}	Napětí při porušení zkušebního tělesa [N/mm^2]
	$f\left(\frac{a}{W}\right)$	Geometrický faktor tělesa je bezrozměrný a musí být zaokrouhlen na tři platné číslice
	W	Výška zkušebního tělesa [mm]
	a	Hloubka drážky zkušebního tělesa [mm]

Odolnost vůči lomu příslušné varianty asfaltové směsi se stanoví jako aritmetický průměr odolností vůči lomu platných zkušebních těles.

[26]



Obr. č. 30 Zkušební rám pro tělesa o průměru 100 ± 3 mm s vloženým tělesem [15]



Obr. č. 31 Použití destičky s výsečí pro kontrolu umístění trhliny [15]

5.8 Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu

Podstatou zkoušky je stanovení deformačních charakteristik litých a zhutněných asfaltových směsí při nízkých teplotách (obvykle 0 až -20 °C) zkouškou pevnosti v tahu za ohybu, následně pak orientační posouzení jejich odolnosti proti tvoření trhlin. Při této zkoušce je těleso ve tvaru hranolu zatěžováno uprostřed podpor.

5.8.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Pila** na nařezání plošného zkušebního asfaltového tělesa na 5 hranolů
- **Posuvné měřítko** s přesností alespoň $\pm 0,1$ mm
- **Mrazicí box** s možností temperování zkušebních těles na danou teplotu v rozmezí 0 až -20 °C s tolerancí ± 2 °C
- **Laboratorní lis** do min. 100 kN umožňující dodržování konstantní rychlosti posunu 1,25 mm/min s možností měření síly s přesností alespoň na 0,01 kN a se zapisovacím zařízením síly a přetvoření
- **Zatěžovací zařízení** odpovídající ČSN 73 6160 kap. 8.3.

5.8.1.2 Postup zkoušky

Nejprve je nutno změřit rozměry tělesa s přesností na $\pm 0,1$ mm, která pak vložíme do temperačního boxu. Dále změříme vzdálenost podpor (mm). Vytemperovaná zkušební tělesa se vloží do zatěžovacího zařízení lisu (Obr. č. 32 Obr. č. 32 Zkušební hranol upevněný a připravený ke zkoušce v tahu za ohybu) tak, aby byla zatěžována rovnoběžně se směrem plnění při zhotovování ve formě. Přitom musí vzorek ležet na podporách. Na to se lisem vzorek – přes břit a kovový plíšek – zatíží rychlostí posunu 1,25 mm/min spolu se záznamem posunu a působící síly. Zatěžování končí po dosažení maximální síly způsobující destrukci tělesa. Zkouška musí být provedena co nejrychleji, po vyjmutí tělesa z mrazicího boxu do jeho porušení v lisu nesmí uplynout doba delší než 120 sekund. Vzdálenost konce vzorku od středu podpory musí být alespoň 10 mm. Do záznamu píšeme zejména nejvyšší

dosaženou sílu [kN] s přesností alespoň na 0,1 kN a průhyb uprostřed rozpětí při porušení vzorku Y_s [mm] s přesností alespoň na 0,01 mm.

5.8.1.3 Výpočet

Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu se určí výpočtem ze vzorce:

$$R_i = \frac{3}{2} \times \frac{P \times I}{b \times h^2}$$

kde	R_i	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]
	P	Největší dosažená síla [N]
	I	Vzdálenost podpor zkušebního tělesa [mm]
	b	Šířka zkušebního tělesa [mm]
	h	Výška zkušebního tělesa [mm]

Modul tuhosti v tahu za ohybu

Modul tuhosti v tahu za ohybu se určí výpočtem ze vzorce:

$$E_s = \frac{1}{4 \times Y_s} \times \frac{P \times I^3}{b \times h^3}$$

kde	E_s	Modul tuhosti v tahu za ohybu [MPa]
	Y_s	Průhyb zjištěný uprostřed rozpětí při okamžiku porušení vzorku [mm]
	P	Největší dosažená síla [N]
	I	Vzdálenost podpor zkušebního tělesa [mm]
	b	Šířka zkušebního tělesa [mm]
	h	Výška zkušebního tělesa [mm]

Maximální relativní přetvoření

Maximální relativní přetvoření se určí výpočtem ze vzorce:

$$\varepsilon_s = \frac{600 \times h}{l^2} \times Y_s$$

kde	ε_s	Maximální relativní přetvoření [%]
	Y_s	Průhyb zjištěný uprostřed rozpětí při okamžiku porušení vzorku [mm]
	l	Vzdálenost podpor zkušebního tělesa [mm]
	h	Výška zkušebního tělesa [mm]

[27]



Obr. č. 32 Zkušební hranol upevněný a připravený ke zkoušce v tahu za ohybu [15]

5.9 Zkouška relaxace asfaltových směsí

Touto zkouškou se stanoví relaxační charakteristiky litých směsí a hutněných asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu. Zkouška se provádí při teplotě 0 °C ve vodní lázni. Při zkoušce je zkušební těleso tvaru hranolu namáháno ohybem – silou působící uprostřed vzdálenosti podpor, po vnesení zkušebního napětí je při neměnném přetváření v závislosti na čase je sledován jeho pokles.

5.9.1.1 Pomůcky a zařízení

- **Pila** na nařezání plošného zkušebního asfaltového tělesa na 5 hranolů
- **Posuvné měřítko** s přesností alespoň $\pm 0,1$ mm
- **Mrazicí box** s možností temperování zkušebních těles na danou teplotu 0 °C s tolerancí ± 2 °C
- **Laboratorní lis** do min. 10 kN umožňující dosažení požadované síly, udržet konstantní přetvoření s měřením velikosti působící síly (s přesností alespoň na 0,1 kN) v závislosti na čase
- **Zatěžovací zařízení** odpovídající obr. 9, str. 23 ČSN 73 6160 s možností umístění do zkušební lázně
- **Mrazák či výrobek ledu** pro vytvoření ledu potřebného do vodní lázně

5.9.1.2 Postup zkoušky

Především u těles zjistíme všechny rozměry. Nejméně dvě zkušební tělesa vytemperovaná na 0 ± 2 °C se postupně umístí do zatěžovacího zařízení lisu a určí se největší dosažená síla a odpovídající pevnost v tahu za ohybu zkoušeného materiálu. Rychlost zatěžování má být co nejvyšší, byla tedy zvolena 50 mm/min.

Ve druhé fázi se vytemperovaná tělesa vloží do zatěžovacího zařízení lisu umístěného v izolované vodní lázni temperované na ± 0 °C drceným ledem za stálého víření – tak, aby ležela na podporách. (Obr. č. 33) Pak se uvede do činnosti záznamové zařízení síly a posunu lisu a zajistí se možnost udržování konstantního přetvoření vzorku. Na to se lisem (přes břit a kovový plíšek) optimální a co nejvyšší rychlostí posunu zatíží vzorek silou odpovídající cca 2/3 největší dosažené průměrné síly z první fáze zkoušky. Po dosažení této hodnoty se posun zastaví a udržuje se

konstantní přetvoření. Pomocí stopek určujeme moment odečítání působící síly, kterou odečítáme v 0, 15, 30, 60, 120, 180, 300 a 600 sekundách od vytvoření počáteční síly.

5.9.1.3 Výpočet

Napětí v tahu za ohybu

Napětí v tahu za ohybu $\sigma(t)$ se uvádí s přesností na 0,01 MPa a určí se výpočtem ze vzorce:

$$\sigma(t) = \frac{3}{2} \times \frac{Pr(t) \times l}{b \times h^3}$$

kde	$\sigma(t)$	Napětí v tahu za ohybu [MPa]
	$Pr(t)$	Síla zaznamenaná v čase t [N]
	l	Vzdálenost podpor zkušebního tělesa [mm]
	h	Výška zkušebního tělesa [mm]
	b	Šířka zkušebního tělesa [mm]

Relativní relaxační napětí

Relativní relaxační napětí $\sigma_r(t)$ je bezrozměrné číslo, uvádí se s přesností na 0,001 nebo v procentech s přesností 0,1 %, a spočítá se podle vzorce:

$$\sigma_r(t) = \frac{Pr(t)}{Pr(t_0)}$$

kde	$\sigma_r(t)$	Relativní relaxační napětí [-]
	$Pr(t)$	Síla zaznamenaná v čase t [N]
	$Pr(t_0)$	Síla zaznamenaná v čase t_0 tzn. síla na začátku relaxace [N]

[27]



Obr. č. 33 Průběh zkoušky relaxace zkušebního tělesa v izolované vodní lázni s drceným ledem [15]

6 Vyhodnocení provedených zkoušek

Všechny zkoušky provedené v rámci bakalářské práce byly provedeny na základě postupů stanovených v příslušných normách či podle technických podmínek v aktuálním znění.

V tabulce č. 5 je vypsáno složení jednotlivých použitých asfaltových směsí:

Složka	Hmotnost složky v kg na 100 kg směsi		
	ACL 16	FRACL 16 Namflex fibre	FRACL 16 Bitusting
Zbraslav 11/16	27,33	27,33	27,33
Zbraslav 8/11	10,93	10,93	10,93
Zbraslav 4/8	14,58	14,58	14,58
Zbraslav 0/4	19,13	19,13	19,13
Lašovice 0/4	19,13	19,13	19,13
Jemně mletý vápenec	4,50	4,50	4,50
Asfaltové pojivo 50/70	4,40	4,40	4,40
Vlákna Namflex fibre	0,00	0,20	0,00
Vlákna Bitusting	0,00	0,00	0,20

Tab. č. 5 Složení použitých asfaltových směsí¹

Toto uvedené složení bylo použito pro výrobu všech zkušebních těles daných směsí. Ze složení tedy vyplývá, že nic jiného, kromě přítomnosti vláken, by nemělo mít podle předpokladů žádný vliv na výsledky zkoušek.

¹ Vlákna použitá ve směsích jsou přimíchávána „navíc“, proto jsou oddělena tlustou čarou. Výsledná hmotnost směsi s vlákny při uvedeném dávkování bude 100,2 kg.

6.1 Maximální objemová hmotnost

U směsí byla zjištěna maximální objemová hmotnost v souladu s příslušnou normou a výsledky uvedenými v tabulce č. 6.

Název veličiny	ACL 16	FRACL 16 Namflex fibre	FRACL 16 Bituststring	Jednotky
m_1	0,7019	0,7019	0,717	kg
m_2	1,3657	1,2955	1,4178	kg
m_3	2,4087	2,3668	2,4634	kg
V_p	0,00131113	0,00131113	0,0013288	m ³
ρ_w	997	997	997	kg/m ³
ρ_{mv}	2508	2512	2505	kg/m ³

Tab. č. 6 Maximální objemová hmotnost jednotlivých směsí

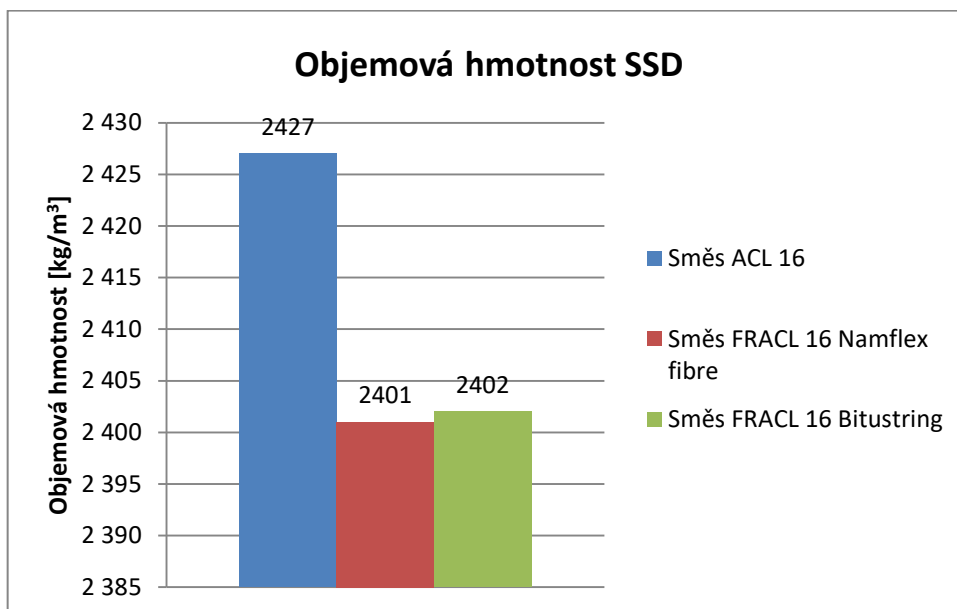
Kde ρ_{mv} Výsledná maximální objemová hmotnost [kg]
 m_1 hmotnost pyknometru a nástavce [kg]
 m_2 hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku [kg]
 m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a destilované vody [kg]
 V_p objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce [m³]
 ρ_w Hustota destilované vody při zkušební teplotě s přesností na 1 kg/m³ [kg/m³]

Z uvedených výsledků je patrné, že maximální objemová hmotnost asfaltových směsí významně ovlivněna přítomností vláken. Je možné říci, že vlákna nemají **žádný vliv na tuto veličinu.**

6.2 Objemová hmotnost

6.2.1 Objemová hmotnost: nasycený suchý povrch (SSD)

Zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 12697-6+A1. Výsledné hodnoty jsou znázorněny v grafu č. 1.

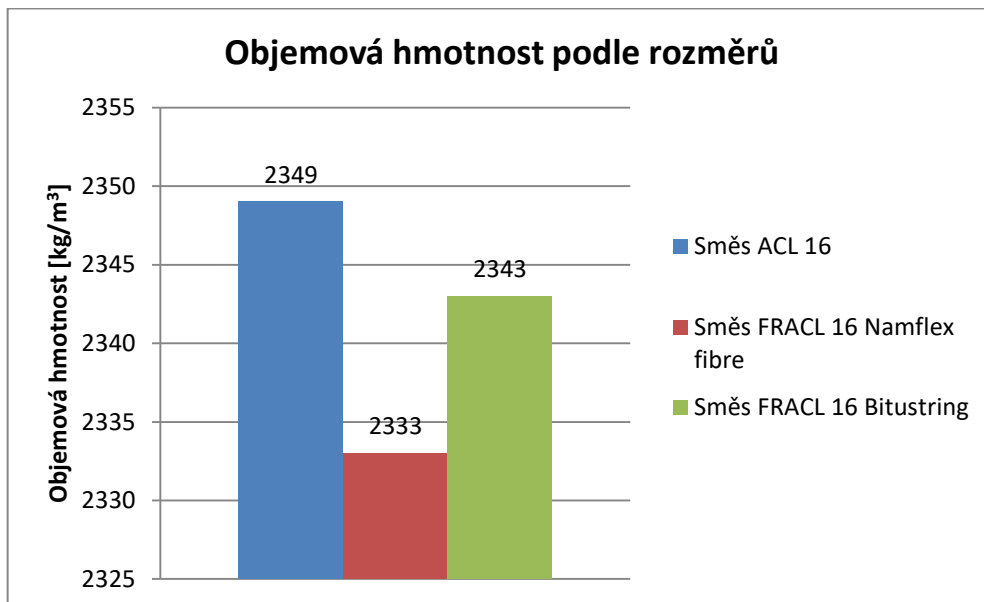


Graf č. 1 Porovnání průměrné objemové hmotnosti směsí zjištěné metodou SSD

Z grafu č. 1 lze vyčíst, že se přidáním vláken hodnoty objemové hmotnosti ztuhlé směsi nepatrně změnily. Směs FRACL 16 Namflex fibre prokazuje o 26 kg/m³ nižší objemovou hmotnost než směs bez vláken, směs FRACL 16 Bitustring téměř stejnou, o 25 kg/m³ nižší ztuhlou objemovou hmotnost. Z hlediska opakovatelnosti stanovené v normě ČSN EN 12697-6 je **rozdíl zanedbatelný**.

6.2.2 Objemová hmotnost: Podle rozměrů

Objemová hmotnost podle rozměrů byla stanovena v souladu s normou ČSN EN 12697-6 a byla vyhodnocena následovně:



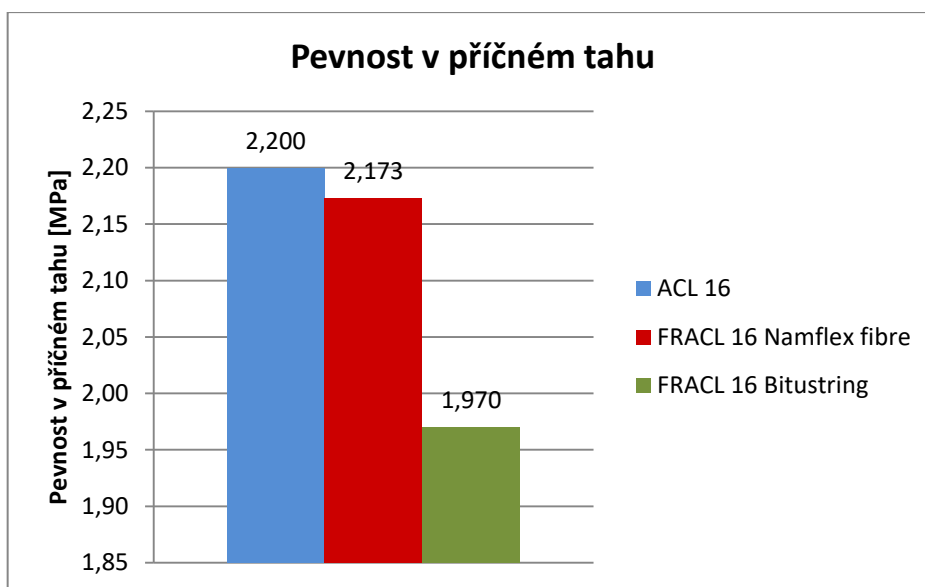
Graf č. 2 Srovnání objemové hmotnosti těles určené podle rozměrů

Jak je zřejmé z grafu č. 2, výsledky jsou podobné jako při předchozí zkoušce SSD. Objemové hmotnosti vyztužených směsí jsou opět nižší, než referenční směs bez výztuhy, avšak opět velmi zanedbatelně. Směs s vlákny Namflex Fibre má objemovou hmotnost nižší o 16 kg/m^3 , směs s vlákny Bitustring dokonce jen o 6 kg/m^3 v průměru ze všech měřených těles. To je z hlediska opakovatelnosti stanovené v normě ČSN EN 12697-6 **rozdíl velmi malý**.

6.3 Pevnost v příčném tahu

Zkouška pevnosti v příčném tahu byla provedena v souladu s příslušnou normou a postupem uvedeným v odstavci 5.3.

Výsledky zkoušky pevnosti v příčném tahu při teplotě 15 °C jsou shrnuty v následujícím grafu:



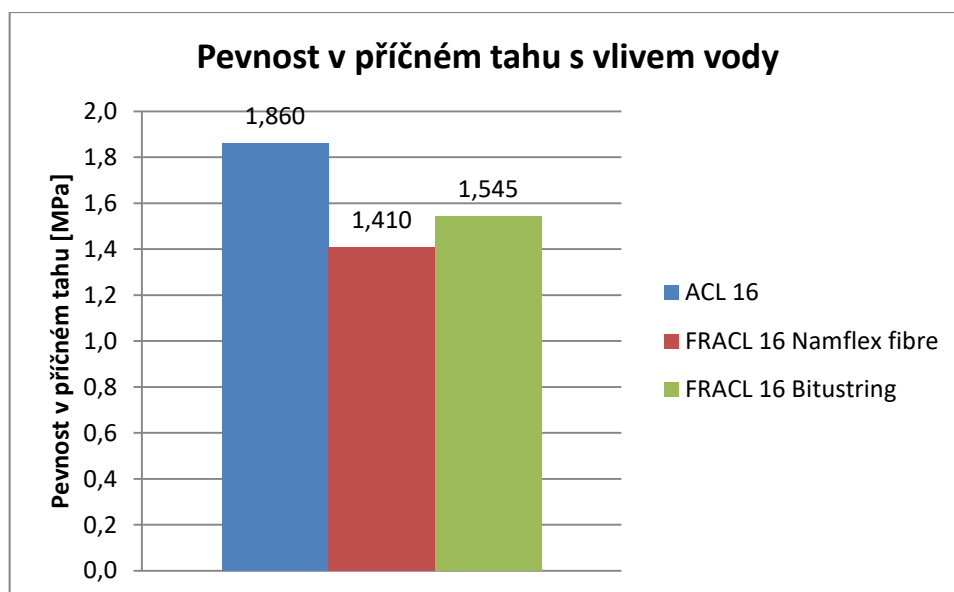
Graf č. 3 Výsledné hodnoty pevnosti v příčném tahu [MPa]

Pevnost v příčném tahu je vlákny ovlivněna spíše negativně, což příliš nesouhlasí s předpoklady, se kterými byla zkouška konána. Vlákna by měla pevnost směsi v tahu zlepšovat, protože je do směsi přidáván tahově pevný prvek. **Vlákna nezlepšila ani pružnost** zkušebních těles, jelikož k porušení došlo při zhruba stejné vertikální deformaci jako u referenční směsi bez vláken.

6.4 Odolnost vůči vodě

Zkouška byla vykonána podle normy ČSN EN 12697-12. Odolnost vůči vodě byla testována ve dvou úrovních. První z nich je pouze odolnost vůči vodě popsaná v této zkoušce přednostně. Druhá z nich obsahovala také jeden zmrazovací cyklus, což norma také umožňuje. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v grafu č. 4 a grafu č. 5.

6.4.1 Odolnost vůči vodě bez zmrazovacího cyklu

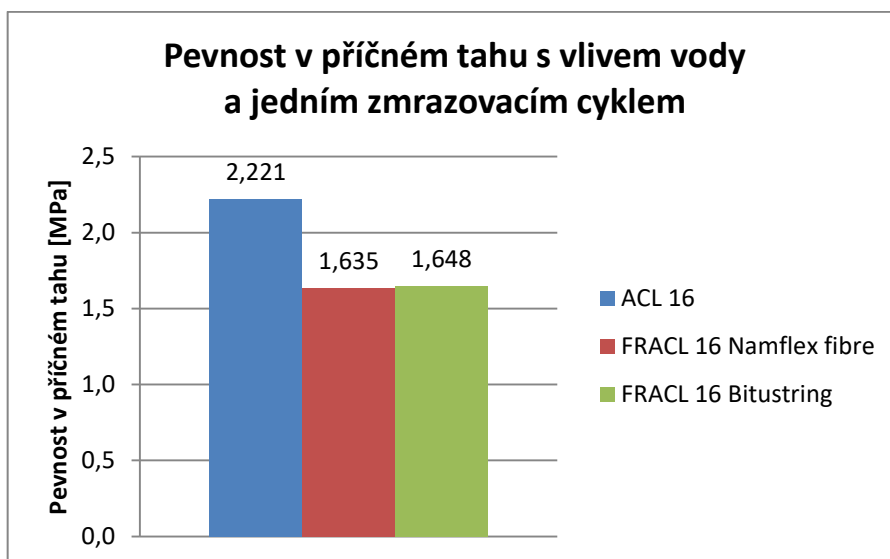


Graf č. 4 Hodnoty pevnosti v příčném tahu po vlivu působení vody [MPa]

Výsledky zobrazené v grafu výše nejsou pro vlákna vůbec příznivé. Ačkoliv jsme před zkouškou očekávali pokles pevnosti u všech směsí oproti pevnosti v příčném tahu měřeném na tělesech bez vlivu živlů, takto velký pokles pevnosti je opravdu zásadní. Pevnost se v případě ACL 16 snížila o více než 15 %, v případě směsi FRACL 16 Namflex fibre se snížila dokonce o více než 35 % a u třetí směsi téměř o 22 %.

Z výsledků této zkoušky plyne, že **vlákna mají na odolnost vůči vodě negativní vliv.**

6.4.2 Odolnost vůči vodě s jedním zmrazovacím cyklem



Graf č. 5 Hodnoty pevnosti v příčném tahu po vlivu působení vody a jednoho zmrazovacího cyklu [MPa]

Zde je výsledek podobný jako v případě předchozí zkoušky bez zmrazovacích cyklů. Je však až s překvapením, že referenční směsi ACL 16 bez vláken se po zatížení zmrazovacím cyklem dokonce zvýšila pevnost v příčném tahu o téměř 1 %. V případě směsí vyztužených vlákny šlo ale opět o výsledek nepříznivý. Tentokrát se hodnota pevnosti v příčném tahu v případě směsi s vlákny Namflex fibre snížila o téměř 25 %, v případě směsi s vlákny Bitusttring o více než 16 %. V porovnání s výsledky na referenční směsi jde o výsledek značně neuspokojivý.

Z výsledků této zkoušky plyne, že ačkoliv není pokles pevnosti tak markantní, jako u předchozí zkoušky, i přesto **mají vlákna ve směsi na tuto zkoušku negativní vliv.**

6.5 Stanovení modulu tuhosti

Modul tuhosti byl stanoven zkouškou IT-CY popsanou v normě ČSN EN 12697-26 o tuhosti těles vyrobených z asfaltových směsí. Zkouška byla provedena při 4 teplotách (0, 15, 27 a 40 °C).

Druh směsi	Zkušební teplota			
	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
ACL 16	26578,3	12521,1	5097,8	1233,8
FRACL 16 Namflex fibre	27092,3	12942,1	5416,8	1495,5
FRACL 16 Bitustring	25423,2	12406,4	4943,0	1522,5

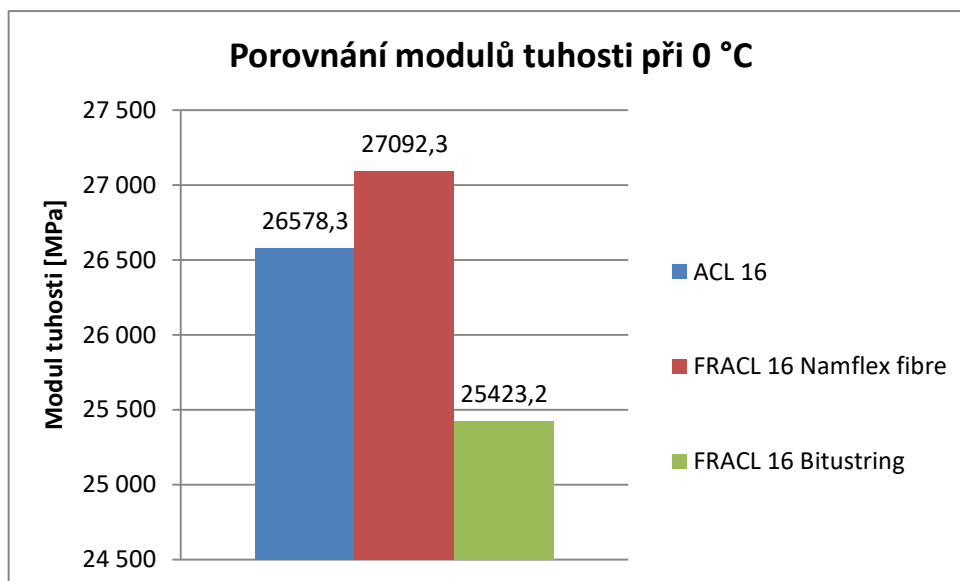
Tab. č. 7 Výsledný modul tuhosti v závislosti na teplotě [MPa]

Podle tab. č. 7 je zřejmé, že vlákna mají na modul tuhosti dané směsi výraznější vliv až ve vyšších teplotách. V tabulce jsou červeně označeny nejhorší výsledky pro danou teplotu a zeleně nejlepší. Vlákna Bitustring mají ve směsi nepatrně negativní vliv při teplotách 0, 15 a 27 °C. Při 40 °C mají naopak velmi pozitivní vliv, modul tuhosti dané směsi zlepšují o 23,4 %. Oproti tomu vlákna Namflex fibre zlepšují modul tuhosti vůči základní směsi ve všech teplotách, s vyšší účinností při zvyšující se teplotě testování. Tato vlákna tedy mají celkově pozitivnější vliv na směs, než vlákna Bitustring. Procentuální změnu modulu tuhosti je možné vyčíst v tab. č. 8, kde hodnoty označené zeleně jsou pozitivní změna, hodnoty červeně negativní oproti srovnávací směsi.

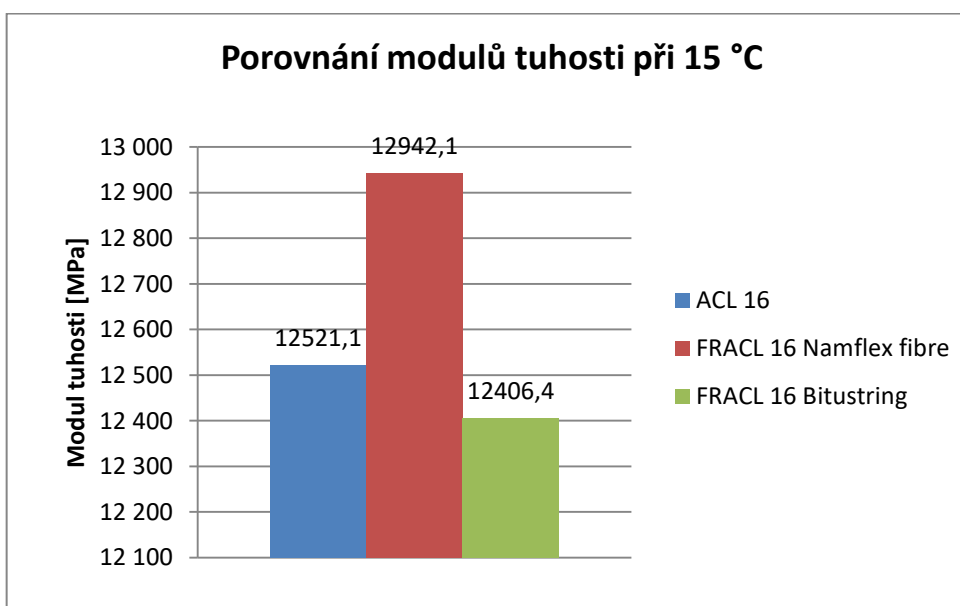
Druh směsi	Zkušební teplota			
	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
ACL 16 (100%)	100	100	100	100
FRACL 16 Namflex fibre (%)	101,9	103,4	106,3	121,2
FRACL 16 Bitustring (%)	95,7	99,1	97,0	123,4

Tab. č. 8 Změna modulu tuhosti vyztužené směsi při dané zkušební teplotě, kdy směs ACL16 = 100 %, vyjádřená v %

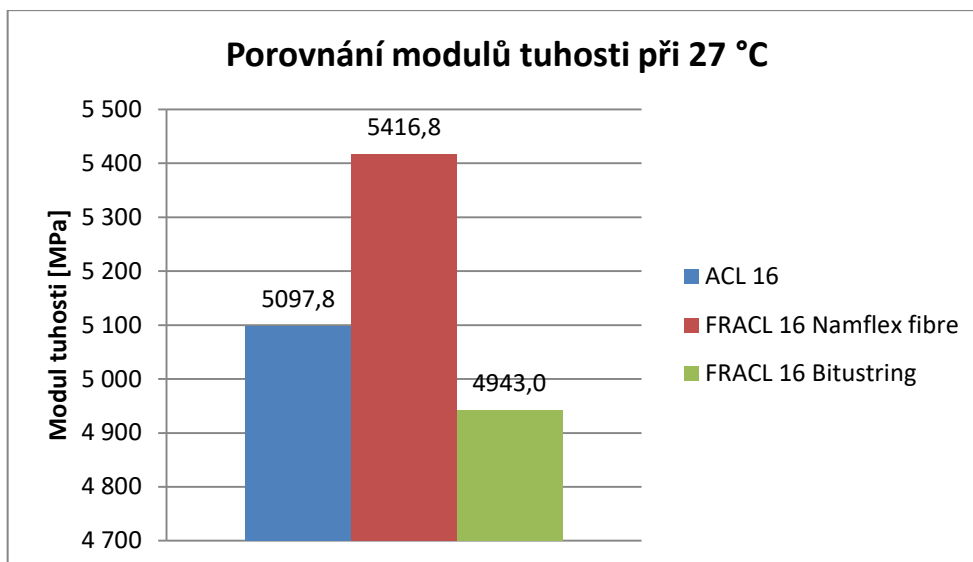
Grafické znázornění porovnání modulů tuhosti během jednotlivých zkušebních teplot je patrné z grafu č. 6, grafu č. 7, grafu č. 8 a grafu č. 9.



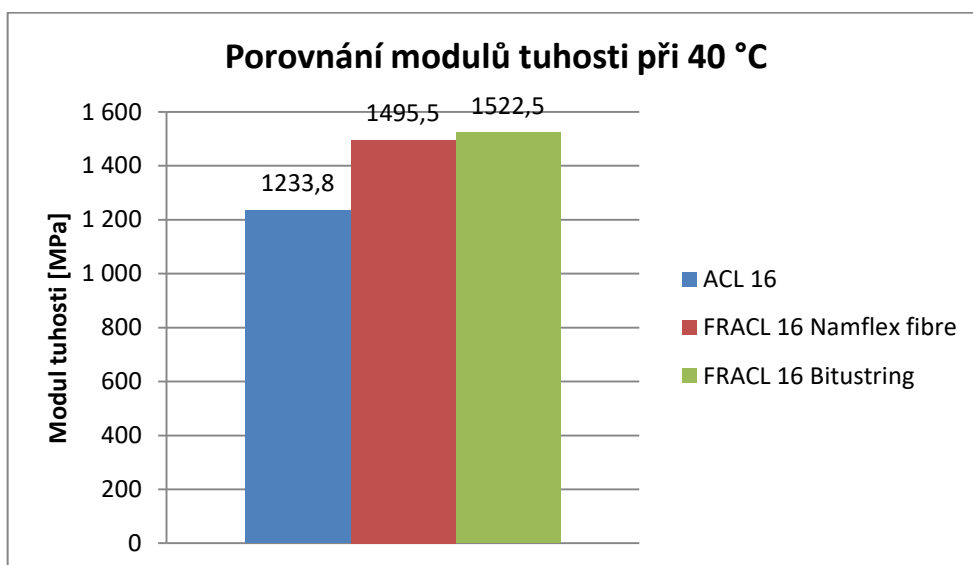
Graf č. 6 Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 0 °C



Graf č. 7 Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 15 °C



Graf č. 8 Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 27 °C



Graf č. 9 Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 40 °C

Ve srovnání s referenční směsí mají tedy na tuto zkoušku vlákna **Namflex Fibre celkově pozitivní účinky.**

Vlákna **Bitustring** mají **pozitivní účinky pouze při vysokých zkušebních teplotách.**

6.6 Stanovení odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací

Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací byla stanovena v souladu s normou ČSN EN 12697-22+A1 na malém testovacím zařízení. Zkouška byla prováděna na plošných zkušebních tělesech, která byla vytemperována na teplotu 50 °C a následně pojížděna kolem. Výsledky zkoušek jsou zapsané v Tab. č. 9.

Druh směsi	tloušťka [mm]	Obj. hmotnost [kg/m ³]	Mezerovitost [%]	Míra zhutnění [%]	Prům. hl. koleje po 10 000 cyklech [mm]	WTS _{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	PRD _{AI} _R [%]
ACL 16	60,45	2429	3,1	100,1	1,4	0,019	2,2
FRACL 16 Namflex fibre	60,56	2408	4,2	100,3	1,56	0,017	2,5
FRACL 16 Bitusting	60,10	2428	3,1	101,1	1,66	0,031	2,5

Tab. č. 9 Porovnání výsledků zkoušek odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací

Z výsledků je patrné, že po přidání vláken se výsledky zkoušky spíše zhoršily, než naopak. Hloubky kolejí vyztužených směsí po 10 000 cyklech jsou o trochu vyšší, než tomu je v případě směsi referenční nevyztužené. Lze přesto prohlásit, že **výsledky jsou srovnatelné a vliv vyztuže na výslednou směs zde není příliš znát**. Je nutné však konstatovat, že hodnoty referenční směsi ACL 16 jsou více než uspokojující. Výraznější vliv vláken lze předpokládat při vyšší zkušební teplotě, tj. 60 °C.

6.7 Zkouška stanovení odolnosti vůči šíření trhlin

Tato zkouška byla provedena při dvou zkušebních teplotách, a to 0 °C a -10 °C podle příslušné normy. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách 10 a 11. Od každé směsi bylo zkoušeno 6 půlválcových těles při dané teplotě, v tabulce jsou zprůměrované výsledky.

Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C					
Směs	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Průměrné relativní přetvoření	Průměrné maximální napětí	Odolnost proti lomu
	ΔW_{\max} [mm]	F_{\max} [kN]	ϵ_{\max} [-]	σ_{\max} [N/mm ²]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]
ACL 16	0,673	6,59	1,37	5,64	42,2
FRACL 16 Namflex fibre	0,652	6,41	1,32	5,45	40,6
FRACL 16 Bitustring	0,843	7,14	1,70	6,04	44,8

Tab. č. 10 Výsledky zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin při 0 °C

Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C					
Směs	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Průměrné relativní přetvoření	Průměrné maximální napětí	Odolnost proti lomu
	ΔW_{\max} [mm]	F_{\max} [kN]	ϵ_{\max} [-]	σ_{\max} [N/mm ²]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]
ACL 16	0,68	7,42	1,37	6,34	46,9
FRACL 16 Namflex fibre	0,93	7,03	1,88	5,98	44,3
FRACL 16 Bitustring	1,02	7,28	2,06	6,20	46,2

Tab. č. 11 Výsledky zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin při -10 °C

Z výsledků je patrné, že při zkušební teplotě 0 °C se odolnost vůči lomu změní v obou případech. V případě vláken Namflex Fibre jde o změnu negativní, zhoršení odolnosti je téměř 4 %. U druhé vyztužené směsi jde o zlepšení o více než 6 %.

Stejný trend je viditelný i při teplotě -10 °C, avšak není tak patrný. Vlákná Namflex Fibre opět zhoršila odolnost směsi o více než 6 %, zatímco u druhé směsi téměř nedošlo ke změně oproti referenčnímu vzorku, zhoršení o 1,6 % je téměř zanedbatelné.

Závěrem této zkoušky je možné říci, že vlákna mají na směs v případě **Namflex fibre mírně negativní vliv**, v druhém případě **Bitustring téměř žádný, avšak pozitivní vliv**.

6.8 Zkouška v tahu za ohybu

Zkouška v tahu za ohybu byla zhotovena přesně podle TP 151 s následujícími výsledky, které jsou vypsané v tabulce č. 12 a 13.

Zkušební teplota 0 °C			
Směs	Pevnost v tahu za ohybu	Modul tuhosti v tahu za ohybu	Maximální relativní přetvoření
	R_i [MPa]	E_s [MPa]	ϵ_s [%]
ACL 16	8,68	920,3	0,96
FRACL 16 Namflex fibre	8,05	1332,7	0,62
FRACL 16 Bituststring	9,51	1908,5	0,50

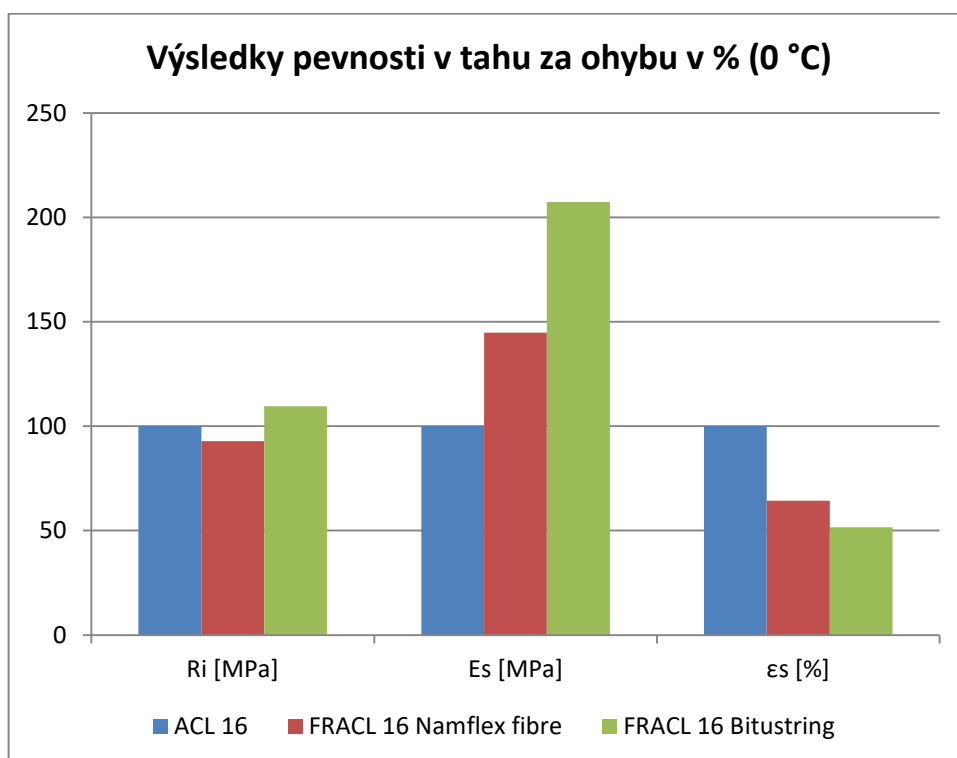
Tab. č. 12 Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu při 0 °C

Zkušební teplota -10 °C			
Směs	Pevnost v tahu za ohybu	Modul tuhosti v tahu za ohybu	Maximální relativní přetvoření
	R_i [MPa]	E_s [MPa]	ϵ_s [%]
ACL 16	5,30	1653,6	0,32
FRACL 16 Namflex fibre	7,20	2420,3	0,30
FRACL 16 Bituststring	7,06	2058,3	0,35

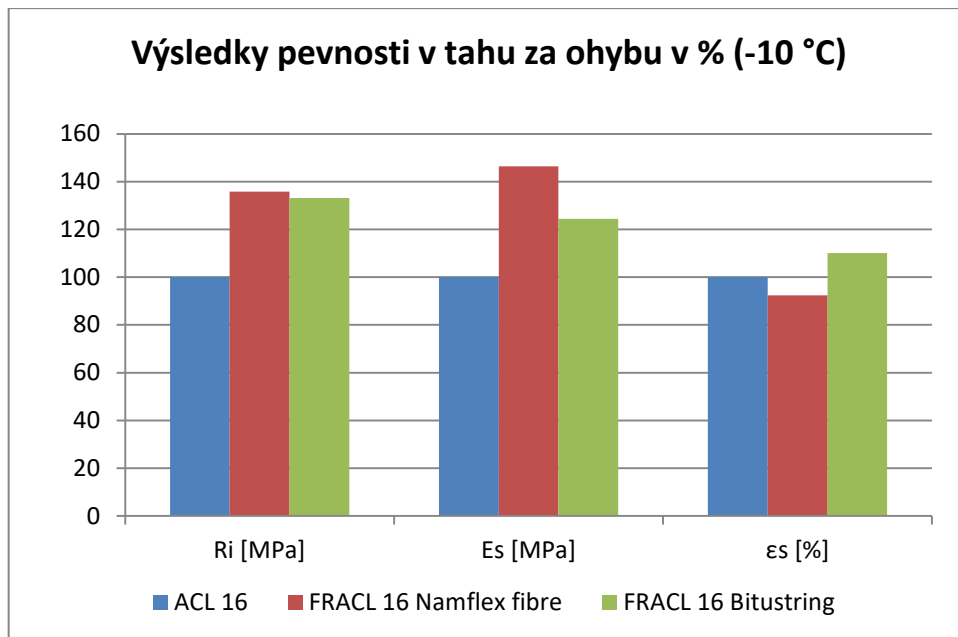
Tab. č. 13 Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu při -10 °C

Z výsledků zkoušky je patrné, že přidaná vlákna viditelně ovlivňují pevnost směsi v tahu, modul tuhosti i maximální přetvoření. Pevnost v tahu je nejvíce ovlivněna při -10 °C, kdy vzrostla v obou případech o více než 33 %. Při 0 °C není vliv vláken příliš patrný, vlákna Namflex fibre tuto veličinu dokonce snižují. Modul

tuhosti v tahu za ohybu je však vlákny obsaženými ve směsi ovlivněn značně. Při teplotě 0 °C bylo dosaženo dokonce nárůstu na více než 200 % u vláken Bitustring oproti směsi bez vláken. Maximální relativní přetvoření je ovlivněno zejména při teplotě 0 °C, kdy rapidně klesá při použití výztuže. Tělesa jsou tedy tužší a pevnější v tahu, avšak křehčí co se týče deformací a při větším průhybu dochází poměrně snadno k tvorbě trhliny. Tento rozdíl se smývá při teplotě -10 °C, což může být způsobeno větší tvrdostí pojiva při této teplotě, které svou pevností v tahu překoná vlákna. Tělesa jsou pak opět pevnější díky tužšímu pojivu, avšak na úkor křehkosti při průhybu. Procentuální porovnání je vidět na grafech č. 10 a 11.



Graf č. 10 Porovnání výsledků zkoušky pevnosti v tahu za ohybu v % (0 °C)

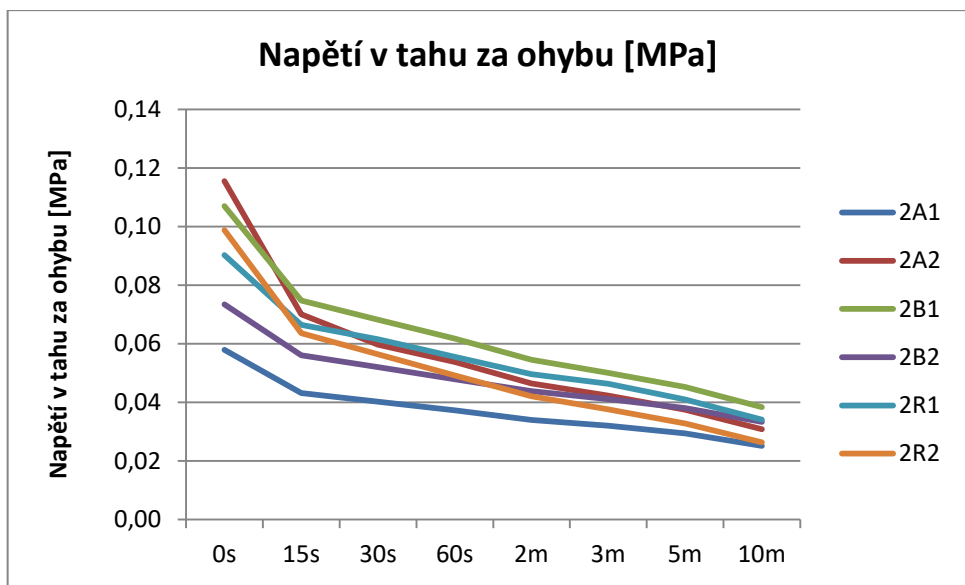


Graf č. 11 Porovnání výsledků zkoušky pevnosti v tahu za ohybu v % (-10 °C)

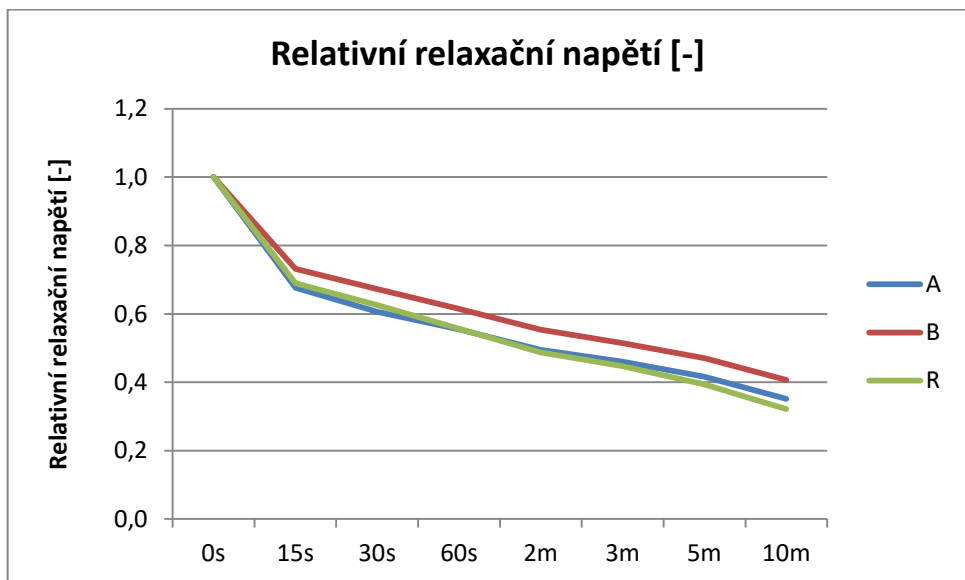
Celkově mají na zkoušku pevnosti v tahu za ohybu **vlákna pozitivní účinek.**

6.9 Zkouška relaxace asfaltových směsí

Zkouška relaxace byla zhotovena stejně jako předchozí zkouška podle TP 151 s výsledky zobrazenými v grafech č. 12 a 13.



Graf č. 12 Zkouška relaxace – Napětí v tahu za ohybu v závislosti na čase ²



Graf č. 13 Zkouška relaxace – Relativní relaxační napětí v závislosti na čase ³

Z výsledků zobrazených v grafu č. 13 je patrné, že největšího poklesu napětí ve zkušebním čase dosáhla směs R, tedy referenční směs ACL 16. Průměrně se zachovala směs A, nejhůře pak dopadla směs B. Jelikož srovnávací směs vyšla jako nejlepší, lze prohlásit, že **vlákna mají na tuto zkoušku negativní vliv.**

² Označení směsí: A = FRACL 16 Namflex fibre; B = FRACL 16 Bitustring; R = ACL 16

³ Označení směsí viz pozn. 2

7 Závěr

Objemová hmotnost a s ní související mezerovitost asfaltové směsi byla ovlivněna příměsí vláken podle předpokladů uvedených v cíli práce. Objemová hmotnost vyztužených těles byla naměřena nižší, mezerovitost pak vyšší oproti referenční směsi. To zřejmě souvisí s horší zpracovatelností po přidání 3D výztuže.

Pevnost v příčném tahu byla vlákny ovlivněna negativně ve všech případech, což je v přímém rozporu s předpokladem uvedeném v kapitole 2.

Výsledky zkoušky modulu tuhosti vyšly částečně podle předpokladů, kdy se modul obou vyztužených směsí znatelně zvyšuje zejména při vyšších zkušebních teplotách. Druhou část předpokladu uvedeného v kapitole 2 splnila pouze vlákna Namflex, která zlepšovala modul tuhosti při všech zkušebních teplotách. Vlákna Bitusting modul tuhosti mírně snížila při teplotách 0, 15 a 27 °C.

Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací byla vlákny ovlivněna spíše negativně, což nesouhlasí s předpokladem. Lze předpokládat, že větší vliv výztuže ve směsi bude patrný při vyšší zkušební teplotě.

Zkoušku odolnosti vůči šíření trhlin vlákna ovlivnila v řádu jednotek procent. Vlákna Namflex fibre spíše negativně, Bitusting pak minimálně pozitivně. To ovšem nekoresponduje s předpokladem k výsledkům této zkoušky, který očekával znatelné zvýšení odolnosti.

Na pevnost v tahu za ohybu mají vlákna pozitivní vliv zejména při -10 °C. Při zkušební teplotě 0 °C je směs přívětivě ovlivněna pouze vlákny Bitusting. Modul tuhosti v tahu za ohybu se přidáním vláken navýšil v obou případech. Relativní přetvoření bylo ovlivněno viditelně při vyšší zkušební teplotě. Celkově výsledky zkoušky souhlasí s předpoklady v kapitole 2.

Zkouška relaxace byla oběma druhy vláken ovlivněna negativně, což není v souladu s předpoklady.

Výsledky zkoušek také značně ovlivňuje délka zkoušených vláken, která nemusí být ideální vůči maximální velikosti zrna kameniva. Pokud by se při výrobě zvýšila délka obou testovaných vláken, lze očekávat jiné výsledky většiny zkoušek. Zejména by se mohla zlepšit odolnost vůči trvalým deformacím, odolnost vůči šíření trhlin nebo pevnost v příčném tahu.

Oba druhy vláken mají různé vlivy na výslednou asfaltovou směs. V některých případech negativní, v některých pozitivní. Nelze prohlásit, že obě výtzuže mají srovnatelné vlastnosti, nelze však také přímo určit, která z nich je „lepší“. Použití obou vláken se v praxi může vyplatit v různých specifických situacích, kdy je potřebné zvýšit konkrétní vlastnost asfaltové směsi. Z hlediska takového využití mají obě směsi potenciál. Pro širší využití v praxi bude nutný další vývoj.

8 Seznamy

8.1 Seznam použitých zdrojů

- [1] „GEOMAT,“ [Online]. Available: <http://www.geomat.cz/chci-vyresit-problem/vyztuzeni-asfaltu/>. [Přístup získán 19. 4. 2017].
- [2] ČSN EN ISO 10318 Geosyntetika - Termíny a definice, Český normalizační institut, 2006.
- [3] „VUT Brno,“ [Online]. Available: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55603. [Přístup získán 19. 4. 2017].
- [4] „ICS - International geosynthetics society,“ [Online]. Available: <http://old.igs.cz/pdf/Classification.pdf>. [Přístup získán 19. 4. 2017].
- [5] „GEOMAT,“ [Online]. Available: <http://www.geomat.cz/blog/typy-geotextilii-a-jejich-funkce-ve-stavebnich-konstrukcich/>. [Přístup získán 11. 5. 2017].
- [6] J. Benda, „benda-trade.cz,“ BENDA Trade, [Online]. Available: <http://www.benda-trade.cz/geobunka-geosit-geomriz-georohoz.html>. [Přístup získán 21. 4. 2017].
- [7] „GEOMAT,“ [Online]. Available: <http://www.geomat.cz/chci-vyrobky/geomrize/>. [Přístup získán 11. 5. 2017].
- [8] N. Kolková, Využití geosyntetik v silničním stavitelství, bakalářská práce, Brno: VUT, 2012.
- [9] TP 147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky, VUT v Brně, Fakulta stavební, 2010.
- [10] J. Vavříčka, Vlákna v asfaltových hutněných směsích, diplomová práce, Praha: ČVUT, FSV, 2010.
- [11] Ing. J. Vavříčka, Ing. J. Žák a Ing. P. Mondschein, Ph.D., „Využití různých typů mikrovláken ITERFIBRA pro zlepšení vlastností asfaltové směsi,“ [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Josef_Zak/publication/278024251_Vyuzeni_ruznych_typu_mikrovlaknen_Interfibra_pro_zlepseni_vlastnosti_asfaltovych_hutnenych_smesi/links/557c586e08ae26eada8c9d16.pdf?origin=publication_detail. [Přístup získán 21. 4. 2017].
- [12] MacDonald, Kaloush, Lang, Zednicek a Biligiri, „Emzet.cz - Prodloužení životnosti asfaltových vrstev využením vlákn,“ [Online]. Available: <http://www.emzet.cz/download/produkty/asfaltovevozovky09.pdf>. [Přístup získán 21. 4. 2017].

- [13] K. Kaloush Ph.D a kolektiv, „Evaluation of FORTA Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests - Evergreen Drive, Tempe, Arizona,“ [Online]. Available: <http://www.emzet.cz/download/produkty/asureport1.pdf>. [Přístup získán 21. 4. 2017].
- [14] „LUMA.sk,“ [Online]. Available: <https://www.luma.sk/#portfolio>. [Přístup získán 25. 4. 2017].
- [15] T. Proschek, *Vlastní fotodokumentace*, Praha, 2017.
- [16] Ing. F. Buráň, *Vlákna pro 3D výztuže AC, emailová konverzace*. [Interview]. 23. 4. 2017.
- [17] ČSN EN 12697-35+A1 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 35: Laboratorní výroba směsi, Český normalizační institut, 2007.
- [18] ČSN EN 12697-30+A1 Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem, Český normalizační institut, 2007.
- [19] ČSN EN 12697-33 Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek, Český normalizační institut, 2005.
- [20] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, Český normalizační institut, 2010.
- [21] ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti, Český normalizační institut, 2012.
- [22] ČSN EN 12697-23 Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu, Český normalizační institut, 2005.
- [23] ČSN EN 12697-12 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě, Český normalizační institut, 2009.
- [24] ČSN EN 12697-26 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost, Český normalizační institut, 2012.
- [25] ČSN EN 12697-22+A1 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem, Český normalizační institut, 2007.
- [26] ČSN EN 12697-44 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese, Český normalizační institut, 2011.
- [27] TP 151 Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT), VUT v Brně, ČVUT v Praze, PSVS a.s., Eurovia CS a.s., 2010.

8.2 Seznam obrázků

Obr. č. 1	Použití geosyntetika pro eliminaci trhlin ze spodních vrstev [1]	16
Obr. č. 2	Příklady a srovnání tkaných, netkaných a pletených geotextilií [5] ...	17
Obr. č. 3	Různé konstrukce geomříží [7]	17
Obr. č. 4	Pokládka geokompozitu při obnově svrchních vrstev komunikace [8].....	18
Obr. č. 5	Aramidová vlákna obsažena ve směsích FORTA-FI® [14].....	21
Obr. č. 6	Polyolefinová vlákna obsažena ve směsích FORTA-FI® [14].....	21
Obr. č. 7	Výsledná směs FORTA-FI® [14].....	21
Obr. č. 8	Směs ITERFIBRA C [10].....	23
Obr. č. 9	Vlákna Namflex Fibre od firmy CIUR a.s. [15]	24
Obr. č. 10	Vlákna Bitustring od firmy CIUR a.s. [15]	24
Obr. č. 11	Laboratorní míchačka [15].....	31
Obr. č. 12	Laboratorní sušárna [15]	31
Obr. č. 13	Schématický nákres rázového zhutňovače [18]	34
Obr. č. 14	Typická válcová forma pro rázový zhutňovač [18]	35
Obr. č. 15	Typická podložka pro rázový zhutňovač [18]	35
Obr. č. 16	Lis pro vytlačení zkušební tělesa z formy [15].....	36
Obr. č. 17	Lamelový zhutňovač [15].....	37
Obr. č. 18	Schématický řez s popiskami hutního zařízení na principu lamel [19].....	38
Obr. č. 19	Pyknometr s těsně přiléhajícím nástavcem a vzorkem [15].....	44
Obr. č. 20	Vývěva s manometrem [15]	45
Obr. č. 21	Laboratorní váhy uzpůsobené k vážení ponořených těles [15]	47
Obr. č. 22	Těleso upevněné v tlačných čelistech [15].....	50
Obr. č. 23	Měřicí zařízení zapojené k laboratornímu lisu [15].....	51
Obr. č. 24	Vodní lázeň s termostatickou regulací [15].....	53
Obr. č. 25	Tělesa ve vakuové komoře při absolutním tlaku $6,7 \pm 0,3$ kPa [15]...	53
Obr. č. 26	Zkušební těleso připravené na zmrazovací cyklus [15]	55
Obr. č. 27	Termostatická komora s nuceným oběhem vzduchu, ve které je umístěno zkušební zařízení [15]	60

Obr. č. 28	Těleso připravené na zkoušku tuhosti [15]	61
Obr. č. 29	Malé zkušební zařízení pro zkoušku vyjíždění kolem [15].....	65
Obr. č. 30	Zkušební rám pro tělesa o průměru 100 ± 3 mm s vloženým tělesem [15].....	69
Obr. č. 31	Použití destičky s výsečí pro kontrolu umístění trhliny [15]	69
Obr. č. 32	Zkušební hranol upevněný a připravený ke zkoušce v tahu za ohybu [15].....	72
Obr. č. 33	Průběh zkoušky relaxace zkušebního tělesa v izolované vodní lázni s drceným ledem [15].....	75

8.3 Seznam tabulek

Tab. č. 1	Požadavky na geomříž [9].....	18
Tab. č. 2	Požadavky na geokompozit s geomříží ze skelných vláken [9]	18
Tab. č. 3	Požadavky na geokompozit s geomříží na bázi polymeru [9]	19
Tab. č. 4	Vlastnosti aramidových a polyolefinových vláken obsažených ve směsích FORTA-FI [10].....	22
Tab. č. 5	Složení použitých asfaltových směsí	76
Tab. č. 6	Maximální objemová hmotnost jednotlivých směsí	77
Tab. č. 7	Výsledný modul tuhosti v závislosti na teplotě [MPa]	83
Tab. č. 8	Změna modulu tuhosti vyztužené směsi při dané zkušební teplotě, kdy směs ACL16 = 100 %, vyjádřená v %	83
Tab. č. 9	Porovnání výsledků zkoušek odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací.....	86
Tab. č. 10	Výsledky zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin při 0 °C	87
Tab. č. 11	Výsledky zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin při -10 °C.....	87
Tab. č. 12	Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu při 0 °C	89
Tab. č. 13	Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu při -10 °C.....	89

8.4 Seznam grafů

Graf č. 1	Porovnání průměrné objemové hmotnosti směsí zjištěné metodou SSD	78
Graf č. 2	Srovnání objemové hmotnosti těles určené podle rozměrů	79
Graf č. 3	Výsledné hodnoty pevnosti v příčném tahu [MPa].....	80
Graf č. 4	Hodnoty pevnosti v příčném tahu po vlivu působení vody [MPa].....	81
Graf č. 5	Hodnoty pevnosti v příčném tahu po vlivu působení vody a jednoho zmrazovacího cyklu [MPa].....	82
Graf č. 6	Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 0 °C	84
Graf č. 7	Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 15 °C	84
Graf č. 8	Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 27 °C	85
Graf č. 9	Porovnání modulů tuhostí jednotlivých směsí při 40 °C	85
Graf č. 10	Porovnání výsledků zkoušky pevnosti v tahu za ohybu v % (0 °C)	90
Graf č. 11	Porovnání výsledků zkoušky pevnosti v tahu za ohybu v % (-10 °C) .	91
Graf č. 12	Zkouška relaxace – Napětí v tahu za ohybu v závislosti na čase	92
Graf č. 13	Zkouška relaxace – Relativní relaxační napětí v závislosti na čase....	92

8.5 Seznam příloh

Příloha č. 1	Tabulka výpočtů objemové hmotnosti podle rozměrů a objemové hmotnosti SSD, směs ACL 16	103
Příloha č. 2	Tabulka výpočtů objemové hmotnosti podle rozměrů a objemové hmotnosti SSD, směs FRACL 16 Namflex fibre	104
Příloha č. 3	Tabulka výpočtů objemové hmotnosti podle rozměrů a objemové hmotnosti SSD, směs FRACL 16 Bitusttring	105
Příloha č. 4	Tabulka rozměrů, objemové hmotnosti a výsledků zkoušky ITS, ITSR a ITSR _f	106
Příloha č. 5	Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 0 °C a 15 °C, směs FRACL 16 Namflex fibre	107
Příloha č. 6	Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 27 °C a 40 °C, směs FRACL 16 Namflex fibre.....	108
Příloha č. 7	Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 0 °C a 15 °C, směs FRACL 16 Bitusttring	109
Příloha č. 8	Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 27 °C a 40 °C, směs FRACL 16 Bitusttring	110
Příloha č. 9	Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 0 °C a 15 °C, směs ACL 16.....	111
Příloha č. 10	Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 27 °C a 40 °C, směs FRACL 16 Namflex fibre.....	112
Příloha č. 11	Rozměry plošných zkušebních těles a výpočty pro zkoušku trvalých deformací.....	113
Příloha č. 12	Výsledky zkoušky pojíždění kolem pro směs ACL 16.....	114
Příloha č. 13	Výsledky zkoušky pojíždění kolem pro směs FRACL 16 Namflex fibre	115
Příloha č. 14	Výsledky zkoušky pojíždění kolem pro směs FRACL 16 Bitusttring ...	116
Příloha č. 15	Rozměry těles pro zkoušku odolnosti vůči šíření trhlin, část 1	117
Příloha č. 16	Rozměry těles pro zkoušku odolnosti vůči šíření trhlin, část 2	118
Příloha č. 17	Výpočty zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin, část 1.....	119
Příloha č. 18	Výpočty zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin, část 2.....	120

Příloha č. 19	Rozměry zkušebních těles pro zkoušky pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí	121
Příloha č. 20	Naměřené hodnoty a výpočty pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí	122
Příloha č. 21	Výpočty pro zkoušku relaxace asfaltových směsí.....	123

9 Přílohy

Příloha č. 1 Tabulka výpočtů objemové hmotnosti podle rozměrů a objemové hmotnosti SSD, směs ACL 16

Název tělesa	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Průměr
Průměr tělesa [mm]	101,60	101,50	101,70	101,55	101,75	101,55	101,61
Výška tělesa [mm]	62,50	61,55	62,30	61,40	61,50	61,45	61,78
Měřený objem tělesa [m ³]	0,000507	0,000498	0,000506	0,000497	0,0005	0,000498	0,000501
Suchá hmotnost tělesa [g]	1185,0	1175,1	1168,6	1177,7	1175,8	1176,8	1176,5
Objemová hmotnost dle rozměrů [kg/m ³]	2338,7	2359,6	2309,2	2368,3	2351,3	2364,5	2348,6
Název tělesa	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Průměr
Suchá hmotnost tělesa [g]	1185,0	1175,1	1168,6	1177,7	1175,8	1176,8	1176,5
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	700,60	695,80	690,00	692,30	695,00	695,20	694,8
Hmotnost osušeného tělesa [g]	1187,6	1177,4	1171,5	1178,3	1176,9	1178,2	1178,3
Hustota vody [kg/m ³]	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5
Hmotnost vody vytlačené [g]	487,0	481,6	481,5	486,0	481,9	483,0	483,5
Objem tělesa [m ³]	0,000488	0,000483	0,000483	0,000487	0,000483	0,000484	0,000485
Objemová hmotnost SSD [kg/m ³]	2427,2	2433,9	2420,9	2417,2	2433,8	2430,3	2427,2
Mezerovitost zhuštěné směsi [%]	3,2	3,0	3,5	3,6	3,0	3,1	3,2

Příloha č. 2 Tabulka výpočtů objemové hmotnosti podle rozměrů a objemové hmotnosti SSD, směs FRACL 16 Namflex fibre

Název tělesa	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Průměr
Průměr tělesa [mm]	101,55	101,40	101,80	102,00	101,50	102,90	101,86
Výška tělesa [mm]	61,90	61,85	62,35	60,85	62,65	60,80	61,73
Měřený objem tělesa [m ³]	0,000501	0,000499	0,000507	0,000497	0,000507	0,000506	0,000503
Suchá hmotnost tělesa [g]	1172,9	1164,0	1170,2	1175,9	1178,3	1178,0	1173,2
Objemová hmotnost dle rozměrů [kg/m ³]	2339,5	2330,5	2305,9	2364,9	2324,4	2329,8	2332,5
Název tělesa	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Průměr
Suchá hmotnost tělesa [g]	1172,9	1164,0	1170,2	1175,9	1178,3	1178,0	1173,2
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	689,7	684,8	688,0	691,6	693,7	691,9	690,0
Hmotnost osušeného tělesa [g]	1176,7	1168,1	1174,4	1178,3	1184,5	1182,3	1177,4
Hustota vody [kg/m ³]	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5
Hmotnost vody vytlačené [g]	487,0	483,3	486,4	486,7	490,8	490,4	487,4
Objem tělesa [m ³]	0,000488	0,000485	0,000488	0,000488	0,000492	0,000492	0,000489
Objemová hmotnost SSD [kg/m ³]	2402,4	2402,4	2399,8	2410,0	2394,8	2396,1	2400,9
Mezerovitost zhutněné směsi [%]	4,4	4,4	4,5	4,1	4,7	4,6	4,4

Příloha č. 3 Tabulka výpočtů objemové hmotnosti podle rozměrů a objemové hmotnosti SSD, směs FRACL 16 Bitustřing

Název tělesa	B1	B2	B3	B4	B5	B6	Průměr
Průměr tělesa [mm]	102,90	101,50	101,40	101,60	101,60	101,15	101,69
Výška tělesa [mm]	59,20	63,60	61,55	63,20	62,60	61,40	61,93
Měřený objem tělesa [m ³]	0,000492	0,000515	0,000497	0,000512	0,000508	0,000493	0,000503
Suchá hmotnost tělesa [g]	1178,4	1178,5	1175,7	1178,2	1178,2	1177,7	1177,8
Objemová hmotnost dle rozměrů [kg/m ³]	2393,6	2290,1	2365,4	2299,5	2321,5	2387,0	2342,8
Název tělesa	B1	B2	B3	B4	B5	B6	Průměr
Suchá hmotnost tělesa [g]	1178,4	1178,5	1175,7	1178,2	1178,2	1177,7	1177,8
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	694,8	694,6	693,2	691,3	692,5	695,2	693,6
Hmotnost osušeného tělesa [g]	1179,6	1188,8	1178,7	1184,8	1184,0	1180,3	1182,7
Hustota vody [kg/m ³]	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5
Hmotnost vody vytlačené [g]	484,8	494,2	485,5	493,5	491,5	485,1	489,1
Objem tělesa [m ³]	0,000486	0,000495	0,000487	0,000495	0,000493	0,000486	0,000490
Objemová hmotnost SSD [kg/m ³]	2424,6	2378,7	2415,6	2381,5	2391,2	2421,7	2402,2
Mezerovitost zhutněné směsi [%]	3,2	5,0	3,6	4,9	4,6	3,3	4,1

Příloha č. 4 Tabulka rozměrů, objemové hmotnosti a výsledků zkoušky ITS, ITSR a ITSR_f

Ozn. tělesa	Průměr tělesa [mm]		Výška tělesa [mm]				Průměrná hmotnost těles [g]	Maximální síla [kN]	Maximální deformace [mm]	Průměrný průměr tělesa [mm]	Průměrná výška tělesa [mm]	Objem tělesa [l]	Průměrná objemová hmotnost těles [kg/m ³]	Provedená zkouška	Pevnost v příčném tahu [MPa]	Pevnost v příčném tahu směsi [MPa]
	d ₁	d ₂	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄										
r7	101,8	102,0	59,8	60,2	60,3	59,8	1103,5	21,55	3,01	101,90	60,03	0,48952	2235,2	ITSR _f	2,243	2,221
r8	102,8	103,0	58,5	58,9	59,3	58,6		21,62	2,63	102,90	58,83	0,489196		ITSR _f	2,274	
r9	101,9	102,1	60,0	60,3	60,5	60,0		20,70	2,64	102,00	60,20	0,491911		ITSR _f	2,146	
r10	101,6	101,8	61,4	61,9	61,5	61,4		19,01	3,12	101,70	61,55	0,499988		ITSR	1,933	1,860
r11	101,6	101,7	61,1	61,3	61,9	61,7		17,61	4,43	101,65	61,50	0,499091		ITSR	1,793	
r12	101,8	101,9	61,1	60,6	60,2	61,0		18,01	3,23	101,85	60,73	0,494743		ITSR	1,854	
r13	101,5	101,6	60,3	60,8	60,8	60,6		22,16	2,21	101,55	60,63	0,491023		ITS	2,291	2,200
r14	101,3	101,4	60,9	61,2	61,6	61,3		22,80	2,73	101,35	61,25	0,494133		ITS	2,338	
r15	101,3	101,1	61,6	62,1	61,4	61,5		19,30	2,93	101,20	61,65	0,495888		ITS	1,969	
a7	101,8	102,1	61,1	61,4	62,0	61,4	1098,7	17,23	2,86	101,95	61,48	0,501837	2224,1	ITSR _f	1,750	1,635
a8	101,8	102,0	62,6	61,9	61,6	62,1		15,69	2,38	101,90	62,05	0,506034		ITSR _f	1,580	
a9	101,5	101,5	61,6	62,0	62,5	62,0		15,58	2,87	101,50	62,03	0,501867		ITSR _f	1,575	
a10	102,0	101,9	61,3	60,4	61,6	60,8		15,14	3,22	101,95	61,03	0,498164		ITSR	1,549	1,410
a11	101,5	102,0	62,4	61,9	62,3	62,4		14,31	3,65	101,75	62,25	0,506172		ITSR	1,438	
a12	101,7	102,0	62,5	62,0	62,0	61,9		12,33	2,15	101,85	62,10	0,505945		ITSR	1,241	
a13	101,3	101,5	61,6	61,8	60,0	61,0		20,82	3,11	101,40	61,10	0,493409		ITS	2,139	2,173
a14	102,7	102,7	61,3	60,7	59,9	59,9		19,17	2,60	102,70	60,45	0,500757		ITS	1,966	
a15	101,6	101,5	59,7	60,5	60,8	60,0		23,19	2,49	101,55	60,25	0,487985		ITS	2,413	
b7	103,0	103,1	59,6	60,7	60,6	59,3	1099,4	14,45	2,11	103,05	60,05	0,50084	2190,0	ITSR _f	1,487	1,648
b8	101,7	101,8	61,9	61,2	60,8	61,8		15,22	3,61	101,75	61,43	0,499464		ITSR _f	1,550	
b9	101,9	101,9	62,5	62,8	61,9	61,8		19,01	2,41	101,90	62,25	0,507665		ITSR _f	1,908	
b10	101,5	102,0	61,5	60,5	60,5	61,3		14,62	3,15	101,75	60,95	0,495601		ITSR	1,501	1,545
b11	101,7	102,3	62,1	62,2	61,4	61,2		14,52	2,62	102,00	61,73	0,504372		ITSR	1,468	
b12	102,2	102,3	61,0	59,4	59,7	60,0		16,05	4,99	102,25	60,03	0,492888		ITSR	1,665	
b13	101,5	101,4	61,8	62,6	62,6	61,8		20,37	2,49	101,45	62,20	0,502787		ITS	2,055	1,970
b14	101,7	101,5	62,4	61,4	61,7	62,6		20,22	2,21	101,60	62,03	0,502857		ITS	2,043	
b15	101,2	101,3	61,8	63,2	62,1	61,5		17,92	2,51	101,25	62,15	0,500404		ITS	1,813	

Příloha č. 5 Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 0 °C a 15 °C, směs FRACL 16 Namflex fibre

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]	
a1	101,6	61,9	0	0,25	8,4	852,2	128	2,8	0,64	25550	26317	27313	27092,3	
a1	101,6	61,9	0	0,25	8,6	871,3	134	2,8	0,72	25812	28309			
a2	101,4	61,9	0	0,25	9,3	944	121	2,9	0,69	26522	28582	27681,5		
a2	101,4	61,9	0	0,25	9,2	936,9	119	2,9	0,62	26417	26781			
a3	101,8	62,4	0	0,25	9,9	993,8	132	2,9	0,67	28610	29141	27589		
a3	101,8	62,4	0	0,25	8,9	910,1	122	3,1	0,58	25506	26037			
a4	102	60,9	0	0,25	9	922,6	127	3	0,6	25769	25809	26387		
a4	102	60,9	0	0,25	9,1	931,9	126	2,9	0,62	26441	26965			
a5	101,5	62,7	0	0,25	9,2	921,8	129	2,9	0,63	26381	27062	28202,5		
a5	101,5	62,7	0	0,25	9,3	930	122	2,8	0,38	27562	29343			
a6	102,9	60,8	0	0,25	8,6	871	128	3	0,66	24695	25868	25380,5		
a6	102,9	60,8	0	0,25	8,4	850,3	127	3	0,64	24076	24893			
a1	101,6	61,9	15	0,31	6,3	634,7	130	5	0,66	11833	12348	12307,5		12942,1
a1	101,6	61,9	15	0,31	6,1	618,3	128	4,9	0,66	11745	12267			
a2	101,4	61,9	15	0,31	6,8	685,5	125	5	0,62	12653	12835	12657		
a2	101,4	61,9	15	0,31	6,6	669,1	125	5	0,61	12396	12479			
a3	101,8	62,4	15	0,31	6,6	660,2	125	5	0,61	12247	12324	12136		
a3	101,8	62,4	15	0,31	6,4	638,1	125	5	0,61	11904	11948			
a4	102	60,9	15	0,31	7	719,2	127	4,9	0,61	13568	13708	13572,5		
a4	102	60,9	15	0,31	7	713,7	125	5	0,61	13344	13437			
a5	101,5	62,7	15	0,31	6,6	665,2	126	5	0,61	12294	12356	13056		
a5	101,5	62,7	15	0,31	7,5	745,3	135	5,4	0,7	12815	13756			
a6	102,9	60,8	15	0,31	6,6	671,7	129	4,8	0,65	13071	13602	13923,5		
a6	102,9	60,8	15	0,31	6,5	662,1	135	4,7	0,69	13350	14245			

Příloha č. 6 Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 27 °C a 40 °C, směs FRACL 16 Namflex fibre

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]							
a1	101,6	61,9	27	0,38	2,6	262,6	125	5	0,61	5426	5465	5219,5	5416,8							
a1	101,6	61,9	27	0,38	2,4	241,9	125	5,1	0,61	4955	4974									
a2	101,4	61,9	27	0,38	2,7	297,5	124	5	0,61	5517	5555	5451		5416,8						
a2	101,4	61,9	27	0,38	2,5	258,4	125	5	0,61	5330	5347									
a3	101,8	62,4	27	0,38	2,7	270,3	125	5,1	0,6	5458	5465	5324			5416,8					
a3	101,8	62,4	27	0,38	2,5	253,1	124	5,1	0,6	5172	5183									
a4	102	60,9	27	0,38	2,7	278,4	124	5,1	0,61	5741	5791	5752				5416,8				
a4	102	60,9	27	0,38	2,7	271,7	125	5	0,61	5691	5713									
a5	101,5	62,7	27	0,38	2,6	263,7	124	5,1	0,61	5403	5448	5307					5416,8			
a5	101,5	62,7	27	0,38	2,5	249,7	125	5	0,61	5144	5166									
a6	102,9	60,8	27	0,38	2,6	302,4	121	5,3	0,6	5515	5527	5447,5						5416,8		
a6	102,9	60,8	27	0,38	2,5	257,6	125	5	0,6	5362	5368									
a1	101,6	61,9	40	0,45	0,6	60,2	127	5	0,6	1398	1400	1407							1495,5	
a1	101,6	61,9	40	0,45	0,5	52,8	124	5	0,6	1412	1414									
a2	101,4	61,9	40	0,45	0,7	66,7	123	5,1	0,6	1508	1507	1546,5								1495,5
a2	101,4	61,9	40	0,45	1	68,9	120	5,2	0,58	1593	1586									
a3	101,8	62,4	40	0,45	0,8	77,6	124	5,2	0,59	1514	1507	1492	1495,5							
a3	101,8	62,4	40	0,45	0,6	64,7	125	5	0,6	1478	1477									
a4	102	60,9	40	0,45	0,8	67,2	128	5	0,6	1466	1466	1511,5		1495,5						
a4	102	60,9	40	0,45	0,7	70,8	126	5	0,61	1553	1557									
a5	101,5	62,7	40	0,45	0,9	69,7	126	5,1	0,6	1527	1529	1470			1495,5					
a5	101,5	62,7	40	0,45	0,6	62,5	120	5,1	0,61	1404	1411									
a6	102,9	60,8	40	0,45	0,9	68,4	124	5	0,62	1543	1560	1546				1495,5				
a6	102,9	60,8	40	0,45	0,7	67,7	126	5,1	0,61	1525	1532									

Příloha č. 7 Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 0 °C a 15 °C, směs FRACL 16 Bitustring

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]	
b1	102,9	59,2	0	0,25	9,5	993,1	147	3,5	0,73	24182	26677	26021,5	25423,2	
b1	102,9	59,2	0	0,25	8,2	860,5	118	3	0,65	24378	25366			
b2	101,5	63,6	0	0,25	8,4	828,8	127	3	0,62	23292	23637	24447		
b2	101,5	63,6	0	0,25	8,6	844,8	129	2,9	0,65	24273	25257			
b3	101,4	61,6	0	0,25	8,4	857,1	126	2,9	0,63	24421	25089	25886,5		
b3	101,4	61,6	0	0,25	8,4	857,3	132	2,9	0,7	24694	26684			
b4	101,6	63,2	0	0,25	8,5	839,6	137	2,9	0,72	24589	26538	26834		
b4	101,6	63,2	0	0,25	8,3	822,9	141	2,8	0,72	24742	27130			
b5	101,6	62,6	0	0,25	8,3	819,9	125	3	0,63	22777	23359	23728		
b5	101,6	62,6	0	0,25	8,5	849	124	3	0,61	23850	24097			
b6	101,2	61,4	0	0,25	9,1	931,7	125	3	0,61	25671	25876	25622		
b6	101,2	61,4	0	0,25	8,8	903	125	3	0,61	25193	25368			
b1	102,9	59,2	15	0,31	6,5	680,8	125	5	0,62	12768	12972	12558,5		12406,4
b1	102,9	59,2	15	0,31	6,2	645,4	125	5	0,61	12079	12145			
b2	101,5	63,6	15	0,31	6,4	633,1	124	4,9	0,62	11857	12001	11749		
b2	101,5	63,6	15	0,31	6,4	632,1	125	5,1	0,6	11457	11497			
b3	101,4	61,6	15	0,31	6,5	657,7	124	5	0,62	12230	12426	12644		
b3	101,4	61,6	15	0,31	6,7	687,1	125	5	0,61	12755	12862			
b4	101,6	63,2	15	0,31	6,5	647,9	125	5	0,61	12051	12117	12180		
b4	101,6	63,2	15	0,31	6,6	652,6	126	5	0,61	12158	12243			
b5	101,6	62,6	15	0,31	6,6	651,7	128	5	0,62	12250	12783	12446		
b5	101,6	62,6	15	0,31	6,4	642,2	126	5	0,63	11843	12109			
b6	101,2	61,4	15	0,31	6,7	683,6	126	5	0,64	12718	13099	12861		
b6	101,2	61,4	15	0,31	6,7	691,5	120	5	0,64	12206	12623			

Příloha č. 8 Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 27 °C a 40 °C, směs FRACL 16 Bitustring

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]							
b1	102,9	59,2	27	0,38	2,3	240,3	125	5	0,61	5070	5108	4901	4943,0							
b1	102,9	59,2	27	0,38	2,1	221	125	5,2	0,61	4677	4694									
b2	101,5	63,6	27	0,38	2,2	22134	125	5,1	0,61	4519	4539	4620		4943,0						
b2	101,5	63,6	27	0,38	2,2	215,4	125	5,1	0,6	4691	4701									
b3	101,4	61,6	27	0,38	2,4	243,3	125	5	0,6	5026	5041	5115			4943,0					
b3	101,4	61,6	27	0,38	2,4	249,2	125	5	0,61	5172	5189									
b4	101,6	63,2	27	0,38	2,5	244,6	125	5	0,61	5046	5063	4864				4943,0				
b4	101,6	63,2	27	0,38	2,3	224	125	5	0,6	4656	4665									
b5	101,6	62,6	27	0,38	2,6	265,2	125	5,1	0,6	5133	5146	5081,5					4943,0			
b5	101,6	62,6	27	0,38	2,4	43,8	125	5,1	0,6	5005	5017									
b6	101,2	61,4	27	0,38	2,5	253,5	126	5	0,6	5014	5029	5076,5						4943,0		
b6	101,2	61,4	27	0,38	2,7	278,2	125	5	0,6	5117	5124									
b1	102,9	59,2	40	0,45	0,6	61	124	5	0,6	1411	1410	1447							1522,5	
b1	102,9	59,2	40	0,45	0,5	64,1	125	5	0,6	1482	1484									
b2	101,5	63,6	40	0,45	0,7	62,9	126	5,1	0,6	1460	1461	1497								1522,5
b2	101,5	63,6	40	0,45	0,7	73,9	125	5,5	0,6	1536	1533									
b3	101,4	61,6	40	0,45	0,8	72,9	125	5,1	0,6	1676	1679	1625	1522,5							
b3	101,4	61,6	40	0,45	0,8	72,4	126	5	0,6	1571	1571									
b4	101,6	63,2	40	0,45	0,5	65,7	125	5,2	0,6	1446	1447	1454		1522,5						
b4	101,6	63,2	40	0,45	0,5	65,6	124	5	0,6	1461	1461									
b5	101,6	62,6	40	0,45	0,7	67,2	126	5,1	0,6	1505	1506	1511			1522,5					
b5	101,6	62,6	40	0,45	0,5	65,2	122	5	0,6	1517	1516									
b6	101,2	61,4	40	0,45	0,7	71,1	122	5,1	0,59	1606	1601	1601				1522,5				
b6	101,2	61,4	40	0,45	0,8	71	122	5	0,6	1604	1601									

Příloha č. 9 Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 0 °C a 15 °C, směs ACL 16

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]	
r1	101,6	62,5	0	0,25	6,8	677,6	143	2,3	0,72	24269	26735	26881,5	26578,3	
r1	101,6	62,5	0	0,25	8,2	825,1	125	2,8	0,71	24849	27028			
r2	101,5	61,6	0	0,25	7,9	805,9	138	2,8	0,72	24275	26618	26887,5		
r2	101,5	61,6	0	0,25	7,9	809,8	131	2,8	0,7	24929	27157			
r3	101,7	62,3	0	0,25	8,6	860,6	126	3	0,63	23805	24378	24962,5		
r3	101,7	62,3	0	0,25	9	901,6	124	3	0,63	25000	25547			
r4	101,6	61,4	0	0,25	10	1019	140	3,4	0,71	24541	26805	27285,5		
r4	101,6	61,4	0	0,25	9,1	927,7	112	2,9	0,66	26337	27766			
r5	101,8	61,5	0	0,25	8,5	863,1	128	2,9	0,65	24445	25361	26353,5		
r5	101,8	61,5	0	0,25	8,8	897,6	130	2,9	0,67	25830	27346			
r6	101,6	61,5	0	0,25	8,9	905,1	131	2,9	0,69	26097	27961	27099,5		
r6	101,6	61,5	0	0,25	8,3	847,8	122	3	0,62	25556	26238			
r1	101,6	62,5	15	0,31	6,9	690,1	124	5	0,65	12830	13317	13127,5		12521,1
r1	101,6	62,5	15	0,31	7	697,7	123	5	0,6	12936	12938			
r2	101,5	61,6	15	0,31	7,6	777,1	125	5	0,59	14348	14279	13906		
r2	101,5	61,6	15	0,31	7,3	742	124	5	0,58	13699	13533			
r3	101,7	62,3	15	0,31	6,6	660,9	125	5	0,59	12128	12048	12255		
r3	101,7	62,3	15	0,31	6,7	676,3	126	5	0,6	12484	12462			
r4	101,6	61,4	15	0,31	6,3	642,1	126	5	0,62	11803	12002	12473,5		
r4	101,6	61,4	15	0,31	6,8	692,1	126	5	0,62	12791	12945			
r5	101,8	61,5	15	0,31	6,3	644,3	120	5,1	0,62	11708	11878	11791,5		
r5	101,8	61,5	15	0,31	5,9	555,7	125	5	0,6	11702	11705			
r6	101,6	61,5	15	0,31	5,9	597,9	124	4,9	0,58	11404	11219	11573		
r6	101,6	61,5	15	0,31	6,1	617,5	127	4,9	0,63	11654	11927			

Příloha č. 10 Tabulka výsledků měření modulu tuhosti při 27 °C a 40 °C, směs ACL 16

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]
r1	101,6	62,5	27	0,38	2,4	243,1	125	5	0,61	5007	5048	4969	5097,8
r1	101,6	62,5	27	0,38	2,4	240,2	126	5,1	0,61	4862	4890		
r2	101,5	61,6	27	0,38	2,5	258,6	125	5	0,61	5312	5335	5400,5	
r2	101,5	61,6	27	0,38	2,6	262,8	125	5	0,61	5441	5466		
r3	101,7	62,3	27	0,38	2,3	229,2	125	5,1	0,61	4871	4888	4787,5	
r3	101,7	62,3	27	0,38	2,3	227,6	125	5,1	0,6	4673	4687		
r4	101,6	61,4	27	0,38	2,3	231,6	126	5	0,61	4799	4817	4758,5	
r4	101,6	61,4	27	0,38	2,3	231,1	125	5,1	0,61	4683	4700		
r5	101,8	61,5	27	0,38	2,5	254	124	5	0,61	5259	5283	5119	
r5	101,8	61,5	27	0,38	2,2	228,6	125	5	0,61	4935	4955		
r6	101,6	61,5	27	0,38	2,4	235,2	125	5	0,59	5524	5557	5552,5	
r6	101,6	61,5	27	0,38	2,5	257,8	124	5,1	0,59	5521	5548		
r1	101,6	62,5	40	0,45	0,4	60,5	126	5	0,62	1129	1235	1252,5	1233,8
r1	101,6	62,5	40	0,45	0,4	65,1	126	5	0,6	1270	1270		
r2	101,5	61,6	40	0,45	0,6	60,2	126	5,1	0,6	1310	1313	1316	
r2	101,5	61,6	40	0,45	0,6	58,6	122	5,1	0,6	1320	1319		
r3	101,7	62,3	40	0,45	0,5	53,8	124	5,1	0,6	1211	1210	1158	
r3	101,7	62,3	40	0,45	0,5	47,7	126	5	0,6	1106	1106		
r4	101,6	61,4	40	0,45	0,5	54,2	124	5	0,6	1236	1234	1201	
r4	101,6	61,4	40	0,45	0,5	52,1	126	5,1	0,6	1168	1168		
r5	101,8	61,5	40	0,45	0,6	57,7	125	5,1	0,6	1313	1312	1212	
r5	101,8	61,5	40	0,45	0,5	49,3	127	5,1	0,6	1114	1112		
r6	101,6	61,5	40	0,45	0,6	64,3	124	5	0,6	1293	1289	1263	
r6	101,6	61,5	40	0,45	0,8	67,4	126	5,2	0,6	1239	1237		

Příloha č. 11 Rozměry plošných zkušebních těles a výpočty pro zkoušku trvalých deformací

Ozn. tělesa	Výška tělesa [mm]						Hmotnost suchá	Hmotnost ponořená	Hmotnost osušená	Průměrná výška tělesa	Hustota vody	Hm. vody vytlačené
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6						
r1	60,6	60,1	60,1	60,7	60,4	60,5	12090,6	7184,6	12163,4	60,40	997,50	4978,8
r2	60,4	60,4	60,3	61,1	60,3	60,5	12072,0	7190,8	12134,5	60,50	997,50	4943,7
a1	60,8	61,5	59,7	60,4	61,0	60,9	11966,1	7083,0	12055,8	60,72	997,50	4972,8
a2	61,0	60,3	60,3	61,3	59,4	60,1	11950,5	7099,9	12042,5	60,40	997,50	4942,6
b1	59,9	60,0	60,0	60,1	60,5	60,1	11971,7	7114,5	12034,8	60,10	997,50	4920,3
b2	60,0	59,9	60,5	60,0	60,0	60,2	11983,1	7120,2	12041,0	60,10	997,50	4920,8

Ozn. tělesa	Objem tělesa	Objemová hmotnost zhutněného	Průměrná objemová hmotnost	max. obj. hm.	Mezerovitost	Průměrná mezerovitost
	V [m ³]	ρ_2 [kg/m ³]	$\rho_{2\phi}$ [kg/m ³]	ρ_{max} [kg/m ³]	M [%]	ϕM [m3]
r1	0,004991	2422,3	2429,1	2508	3,42	3,15
r2	0,004956	2435,8		2508	2,88	
a1	0,004985	2400,3	2406,1	2512	4,45	4,22
a2	0,004955	2411,8		2512	3,99	
b1	0,004933	2427,0	2428,1	2505	3,11	3,07
b2	0,004933	2429,1		2505	3,03	

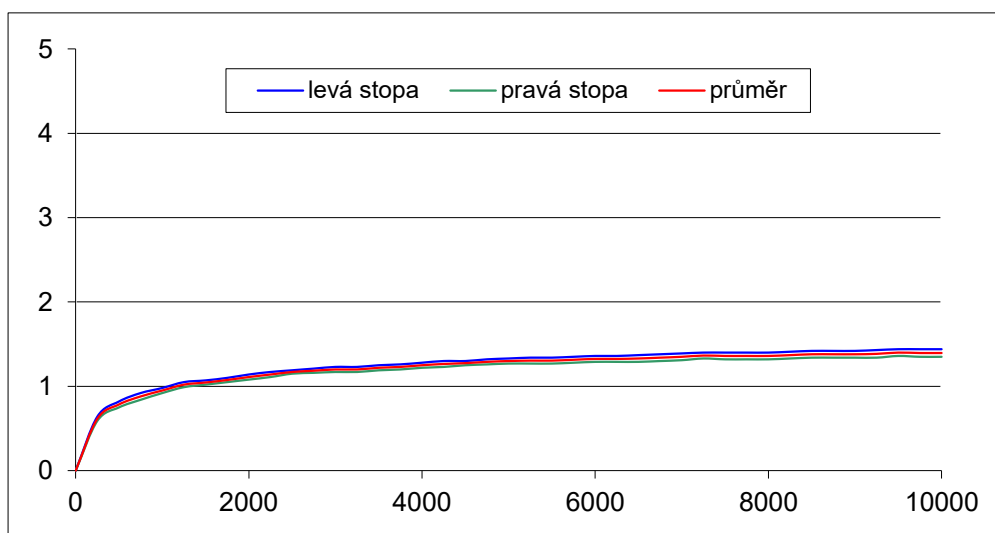
Příloha č. 12 Výsledky zkoušky pojíždění kolem pro směs ACL 16

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného pojíždění kolem

objednavatel:		druh směsi	
výrobce:		druh pojiva	
číslo objednávky:		MZ vzorku č.1	99,5 %
datum výroby vzorku:		MZ vzorku č.2	99,9 %
datum zkoušky:		tloušťka desky 1	60,00 mm
teplota přípravy těles:	150 °C	tloušťka desky 2	60,00 mm
teplota zkoušky:	50 °C	průměrná tloušťka desek	60,00 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,33	1,44	0,11
2	1,27	1,35	0,08
průměr	1,30	1,40	0,10
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,019 mm
	PRD_{AIR}		2,2 %

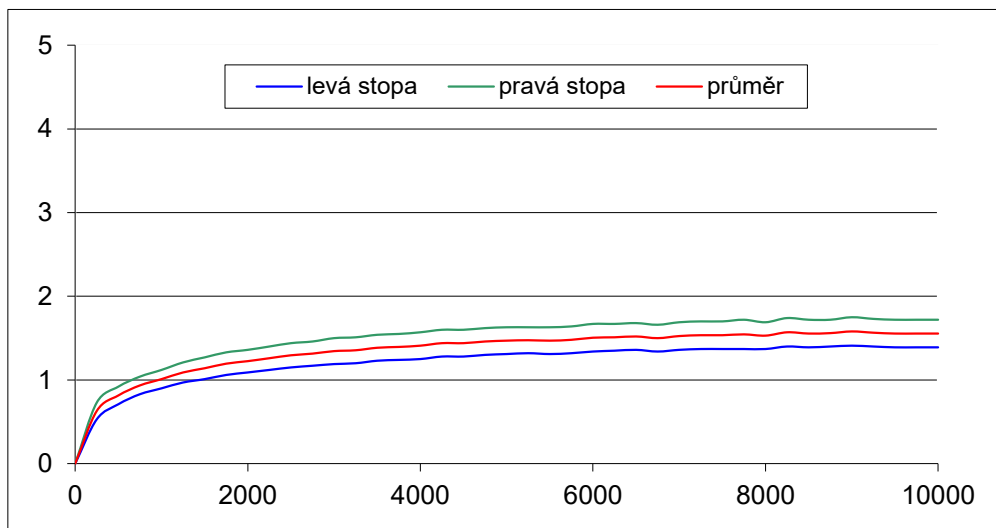
Příloha č. 13 Výsledky zkoušky poježdění kolem pro směs FRACL 16 Namflex fibre

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:		druh směsi	
výrobce		druh pojiva	
číslo objednávky:		MZ vzorku č.1	99,5 %
datum výroby vzorku		MZ vzorku č.2	99,9 %
datum zkoušky		tloušťka desky 1	60,00 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	60,00 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	60,00 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,31	1,39	0,08
2	1,63	1,72	0,09
průměr	1,47	1,56	0,09
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,017 mm
PRD_{AIR}			2,5 %

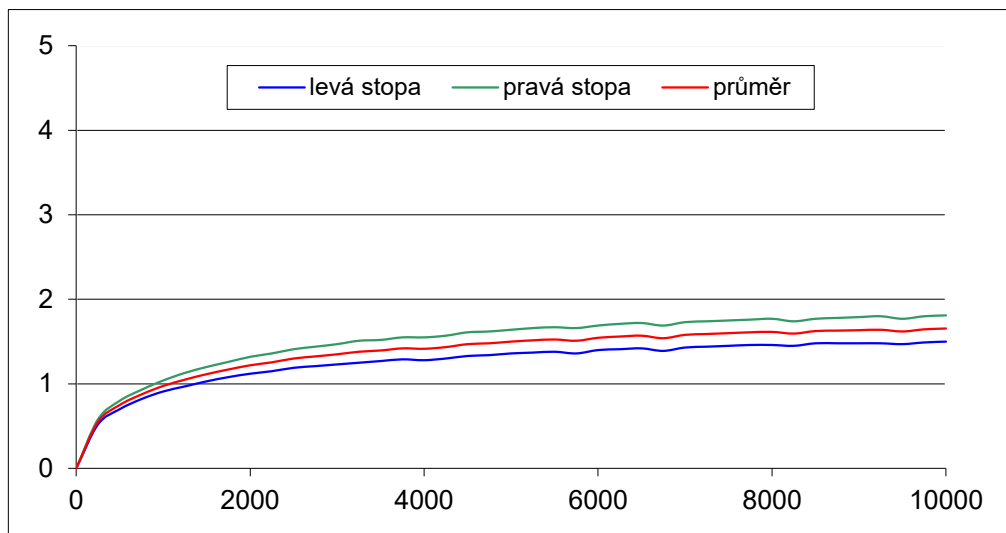
Příloha č. 14 Výsledky zkoušky poježdění kolem pro směs FRACL 16 Bitustring

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:		druh směsi	
výrobce		druh pojiva	
číslo objednávky:		MZ vzorku č.1	99,5 %
datum výroby vzorku		MZ vzorku č.2	99,9 %
datum zkoušky		tloušťka desky 1	60,00 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	60,00 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	60,00 mm



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,36	1,50	0,14
2	1,64	1,81	0,17
průměr	1,50	1,66	0,16
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,031 mm
PRD_{AIR}			2,5 %

Příloha č. 15 Rozměry těles pro zkoušku odolnosti vůči šíření trhlin, část 1

Ozn. těl.	Tloušťka tělesa			Výška tělesa		Průměr tělesa		Průměrná tloušťka tělesa	Průměrná výška tělesa	Průměrný průměr tělesa	Zkušební teplota
	t1 [mm]	t2 [mm]	t3 [mm]	W1 [mm]	W2 [mm]	D1 [mm]	D2 [mm]	t [mm]	W [mm]	D [mm]	T [°C]
R1 a	47,7	50,2	50,0	48,3	48,0	100,6	100,8	49,3	48,2	100,7	0
R2 a	50,4	48,0	48,4	48,9	48,9	101,4	101,3	48,9	48,9	101,4	0
R3 a	49,3	49,0	50,0	47,9	47,7	101,4	100,5	49,4	47,8	101,0	0
R4 a	49,0	47,6	48,2	48,0	47,8	101,7	100,6	48,3	47,9	101,2	0
R5 a	49,2	49,0	50,0	49,0	49,6	101,3	101,3	49,4	49,3	101,3	0
R6 a	50,7	50,7	49,8	48,6	48,2	101,3	101,4	50,4	48,4	101,4	0
A1 a	50,5	49,7	48,3	49,0	49,2	100,9	101,3	49,5	49,1	101,1	0
A2 a	47,9	47,8	50,0	50,0	49,0	100,4	100,8	48,6	49,5	100,6	0
A3 a	48,4	49,5	49,9	49,2	49,5	101,0	100,5	49,3	49,4	100,8	0
A4 a	50,8	50,2	49,9	47,2	47,6	101,6	101,4	50,3	47,4	101,5	0
A5 a	49,2	48,4	49,4	47,6	47,8	100,8	101,3	49,0	47,7	101,1	0
A6 a	50,5	50,2	49,6	49,0	49,0	102,4	102,5	50,1	49,0	102,5	0
B1 a	49,5	50,8	48,4	49,8	50,3	102,5	102,7	49,6	50,1	102,6	0
B2 a	51,4	50,6	51,4	50,2	50,1	101,5	100,6	51,1	50,2	101,1	0
B3 a	49,4	47,2	47,3	49,2	48,5	101,1	100,7	48,0	48,9	100,9	0
B4 a	49,9	51,2	51,5	49,9	49,3	101,0	100,6	50,9	49,6	100,8	0
B5 a	50,2	49,1	50,6	49,4	49,6	101,8	101,5	50,0	49,5	101,7	0
B6 a	50,2	48,8	48,3	48,3	48,7	100,1	100,9	49,1	48,5	100,5	0

Příloha č. 16 Rozměry těles pro zkoušku odolnosti vůči šíření trhlin, část 2

Ozn. těl.	Tloušťka tělesa			Výška tělesa		Průměr tělesa		Průměrná tloušťka tělesa	Průměrná výška tělesa	Průměrný průměr tělesa	Zkušební teplota
	t1 [mm]	t2 [mm]	t3 [mm]	W1 [mm]	W2 [mm]	D1 [mm]	D2 [mm]	t [mm]	W [mm]	D [mm]	T [°C]
R1 b	49,9	47,3	47,4	49,2	49,3	101,2	101,2	48,2	49,3	101,2	-10
R2 b	47,4	49,9	50,4	48,9	49,3	101,3	101,5	49,2	49,1	101,4	-10
R3 b	49,5	49,6	49,9	50,8	50,3	101,6	101,4	49,7	50,6	101,5	-10
R4 b	49,2	49,7	49,9	50,0	49,7	102,3	102,0	49,6	49,9	102,2	-10
R5 b	48,9	48,8	49,5	48,7	48,8	101,3	101,3	49,1	48,8	101,3	-10
R6 b	50,2	48,9	48,8	49,1	49,7	101,2	100,5	49,3	49,4	100,9	-10
A1 b	47,5	47,6	50,3	48,6	48,3	101,1	101,5	48,5	48,5	101,3	-10
A2 b	48,5	49,8	50,8	47,7	48,3	101,2	101,3	49,7	48,0	101,3	-10
A3 b	49,7	48,7	48,9	48,6	48,9	101,5	101,6	49,1	48,8	101,6	-10
A4 b	49,8	48,3	48,6	50,7	50,2	102,0	101,9	48,9	50,5	102,0	-10
A5 b	50,0	50,8	49,2	50,7	50,1	101,4	101,4	50,0	50,4	101,4	-10
A6 b	49,8	48,9	49,9	50,0	50,1	102,1	102,9	49,5	50,1	102,5	-10
B1 b	48,1	46,1	46,5	49,2	48,9	103,1	102,8	46,9	49,1	103,0	-10
B2 b	50,7	49,9	50,4	47,2	47,5	101,2	100,8	50,3	47,4	101,0	-10
B3 b	50,1	50,5	49,3	49,5	48,9	101,2	100,6	50,0	49,2	100,9	-10
B4 b	50,7	49,6	48,9	48,1	48,9	100,7	100,2	49,7	48,5	100,5	-10
B5 b	49,7	49,0	49,4	48,8	49,3	101,7	101,4	49,4	49,1	101,6	-10
B6 b	48,3	50,7	50,9	49,4	49,6	101,4	101,3	50,0	49,5	101,4	-10

Příloha č. 17 Výpočty zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin, část 1

Maximální deformace	Maximální síla	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Relativní přetvoření	Průměrné relativní přetvoření	Maximální napětí	Průměrné maximální napětí	Geometrický faktor tělesa	Odolnost proti lomu	Průměrná odolnost proti lomu
ΔW_{\max} [mm]	F_{\max} [kN]	ΔW_{\max} [mm]	F_{\max} [kN]	ϵ_{\max} [-]	ϵ_{\max} [-]	σ_{\max} [N/mm ²]	σ_{\max} [N/mm ²]	$f^*(a/w)$ [-]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]
0,42	5,28	0,67	6,59	0,85	1,37	4,53	5,64	7,499	34,0	42,2
1	7,05			2,04		6,06		7,446	45,1	
0,52	7,01			1,05		5,99		7,524	45,1	
0,65	6,78			1,35		5,92		7,517	44,5	
1,05	8,03			2,13		6,84		7,418	50,7	
0,4	5,4			0,79		4,51		7,481	33,7	
1,01	9,29	0,65	6,41	2,04	1,32	7,91	5,45	7,432	58,8	40,6
0,56	5,47			1,15		4,77		7,404	35,3	
0,5	6,17			1,01		5,30		7,415	39,3	
0,52	6,06			1,03		5,06		7,552	38,2	
0,44	3,62			0,90		3,12		7,531	23,5	
0,88	7,86			1,76		6,53		7,439	48,6	
0,63	6,85	0,84	7,14	1,27	1,70	5,74	6,04	7,367	42,3	44,8
0,58	7,18			1,13		5,92		7,360	43,6	
0,76	7,39			1,58		6,51		7,450	48,5	
1,21	8,17			2,38		6,79		7,398	50,2	
0,5	5,95			1,00		4,99		7,404	37,0	
1,38	7,27			2,81		6,28		7,474	46,9	

Příloha č. 18 Výpočty zkoušky odolnosti vůči šíření trhlin, část 2

Maximální deformace	Maximální síla	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Relativní přetvoření	Průměrné relativní přetvoření	Maximální napětí	Průměrné maximální napětí	Geometrický faktor tělesa	Odolnost proti lomu	Průměrná odolnost proti lomu
ΔW_{\max} [mm]	F_{\max} [kN]	ΔW_{\max} [mm]	F_{\max} [kN]	ϵ_{\max} [-]	ϵ_{\max} [-]	σ_{\max} [N/mm ²]	σ_{\max} [N/mm ²]	$f^*(a/w)$ [-]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]
0,42	6,34	0,68	7,42	0,87	1,37	5,54	6,34	7,422	41,1	46,9
1,07	8,05			2,17		6,87		7,432	51,1	
0,43	7,23			0,87		6,11		7,333	44,8	
0,71	7,86			1,43		6,61		7,380	48,8	
0,68	7,59			1,39		6,51		7,457	48,5	
0,75	7,44			1,52		6,38		7,411	47,3	
0,68	6,02	0,93	7,03	1,40	1,88	5,23	5,98	7,478	39,1	44,3
0,9	7,16			1,81		6,07		7,509	45,5	
1,95	7,93			3,97		6,78		7,457	50,6	
0,6	7,89			1,23		6,75		7,339	49,5	
0,9	7,16			1,80		6,02		7,343	44,2	
0,52	5,99			1,05		5,03		7,367	37,1	
1,08	7,16	1,02	7,28	2,30	2,06	6,32	6,20	7,436	47,0	46,2
1,37	5,61			2,72		4,70		7,556	35,5	
0,61	8,73			1,22		7,38		7,425	54,8	
0,58	5,96			1,17		5,09		7,474	38,0	
0,99	6,67			2,01		5,67		7,436	42,2	
1,46	9,57			2,92		8,06		7,404	59,7	

Příloha č. 19 Rozměry zkušebních těles pro zkoušky pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí

Ozn. tělesa	Výška zkušebního tělesa [mm]			Šířka zkušebního tělesa [mm]			Prům. výška [mm]	Prům. šířka [mm]	Použitá zkouška + rychlost zatěžování mm/min
	H1	H2	H3	B1	B2	B3			
1A1	61,2	61,5	62,2	50,1	50	50,4	61,6	50,2	Pevnost 0°C 1,25
1A2	60,2	61	60,2	50,2	49,8	49,9	60,5	50,0	Pevnost 0°C 1,25
1B1	60,8	60,3	59,8	51,2	50,7	50,2	60,3	50,7	Pevnost 0°C 1,25
1B2	60,4	60,9	60,4	48,4	48,6	48,6	60,6	48,5	Pevnost 0°C 1,25
1R1	60,6	60,8	60,7	49,9	49,6	49,5	60,7	49,7	Pevnost 0°C 1,25
1R2	61,1	60,8	60,3	48,6	49	49,2	60,7	48,9	Pevnost 0°C 1,25
4A1	61,7	61,2	61,5	50	49,8	49,2	61,5	49,7	Pevnost -10°C 1,25
4A2	61,3	60,4	61	49,9	50,2	49,9	60,9	50,0	Pevnost -10°C 1,25
4B1	60,4	60,2	60,9	50,1	50,8	50,6	60,5	50,5	Pevnost -10°C 1,25
4B2	59,8	60,5	60,6	49,4	49,6	49,9	60,3	49,6	Pevnost -10°C 1,25
4R1	61,1	60,9	60,8	49,3	49,3	48,3	60,9	49,0	Pevnost -10°C 1,25
4R2	60,9	60,4	60,1	49,8	49,6	49,1	60,5	49,5	Pevnost -10°C 1,25
3A1	61,6	61,5	60,7	49,6	49,7	49,8	61,3	49,7	Pevnost 0 °C 50
3A2	60,1	60	60	49,4	49,6	49,6	60,0	49,5	Pevnost 0 °C 50
3B1	60,9	60,7	61,3	48,5	49,1	50	61,0	49,2	Pevnost 0 °C 50
3B2	60,1	60,8	60,8	49,6	49,7	49,7	60,6	49,7	Pevnost 0 °C 50
3R1	61,4	62	61,4	49,8	49,4	48,9	61,6	49,4	Pevnost 0 °C 50
3R2	61,6	60,6	60,4	49,1	48,7	48,2	60,9	48,7	Pevnost 0 °C 50
2A1	61	61,4	62,2	49,5	49,2	48,8	61,5	49,2	Relaxace 0°C
2A2	60	60,2	60,3	49,7	49,6	49,6	60,2	49,6	Relaxace 0°C
2B1	60,4	60,4	60,8	50	49,4	48,5	60,5	49,3	Relaxace 0°C
2B2	60,7	61,2	60,2	49,4	49,4	49,2	60,7	49,3	Relaxace 0°C
2R1	61,2	61,3	61,3	49,4	49,2	49,3	61,3	49,3	Relaxace 0°C
2R2	60,3	60,7	61,3	48,9	49,2	48,5	60,8	48,9	Relaxace 0°C

Příloha č. 20 Naměřené hodnoty a výpočty pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a zkoušku relaxace asfaltových směsí

Ozn. tělesa	Max. deformace	Max. síla	2/3 max. síly	Pevnost v tahu za ohybu		Modul tuhosti v tahu za ohybu		Max. rel. Přetvoření		
	ΔH [mm]	F [kN]	2/3 F [kN]	R_i [MPa]	R_i [MPa]	E_s [MPa]	E_s [MPa]	ϵ_s [%]	ϵ_s [%]	
1A1	1,81	4,27		8,40	8,68	784,6	920,3	1,07	0,96	
1A2	1,46	4,36		8,95		1056,0		0,85		
1B1	1,23	3,99		8,12	8,05	1139,9	1332,7	0,71	0,62	
1B2	0,9	3,79		7,98		1525,5		0,52		
1R1	0,83	3,46		7,09	9,51	1466,0	1908,5	0,48	0,50	
1R2	0,87	5,74		11,93		2351,1		0,51		
4A1	0,46	2,21		4,42	5,30	1627,1	1653,6	0,27	0,32	
4A2	0,63	3,06		6,19		1680,0		0,37		
4B1	0,49	2,8		5,68	7,20	1996,0	2420,3	0,28	0,30	
4B2	0,53	4,2		8,73		2844,5		0,31		
4R1	0,46	2,98		6,15	7,06	2284,3	2058,3	0,27	0,35	
4R2	0,75	3,85		7,98		1832,3		0,44		
3A1	0,94	2,78		1,85						
3A2	1,27	5,02		3,35						
3B1	1,07	4,46		2,97						
3B2	1,06	3,25		2,17						
3R1	1,03	4,17	2,78							
3R2	0,88	4,72	3,15							

Příloha č. 21 Výpočty pro zkoušku relaxace asfaltových směsí

Zatížení působící na lis v závislosti na čase [kN]								
	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
2A1	1,77	1,32	1,23	1,14	1,04	0,98	0,9	0,77
2A2	3,33	2,02	1,72	1,55	1,34	1,22	1,08	0,89
2B1	3,12	2,18	1,99	1,8	1,59	1,46	1,32	1,12
2B2	2,16	1,65	1,53	1,41	1,29	1,21	1,12	0,98
2R1	2,73	2,01	1,86	1,68	1,5	1,4	1,24	1,03
2R2	2,89	1,86	1,65	1,44	1,23	1,1	0,96	0,77
Napětí v tahu za ohybu								
	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
2A1	0,058	0,043	0,040	0,037	0,034	0,032	0,029	0,025
2A2	0,116	0,070	0,060	0,054	0,046	0,042	0,037	0,031
2B1	0,107	0,075	0,068	0,062	0,055	0,050	0,045	0,038
2B2	0,073	0,056	0,052	0,048	0,044	0,041	0,038	0,033
2R1	0,090	0,066	0,062	0,056	0,050	0,046	0,041	0,034
2R2	0,099	0,064	0,056	0,049	0,042	0,038	0,033	0,026
Relativní relaxační napětí zkušebních těles								
	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
2A1	1,00	0,75	0,69	0,64	0,59	0,55	0,51	0,44
2A2	1,00	0,61	0,52	0,47	0,40	0,37	0,32	0,27
2B1	1,00	0,70	0,64	0,58	0,51	0,47	0,42	0,36
2B2	1,00	0,76	0,71	0,65	0,60	0,56	0,52	0,45
2R1	1,00	0,74	0,68	0,62	0,55	0,51	0,45	0,38
2R2	1,00	0,64	0,57	0,50	0,43	0,38	0,33	0,27
Relativní relaxační napětí směsí								
	0s	15s	30s	60s	2m	3m	5m	10m
A	1,00	0,68	0,61	0,55	0,49	0,46	0,42	0,35
B	1,00	0,73	0,67	0,61	0,55	0,51	0,47	0,41
R	1,00	0,69	0,63	0,56	0,49	0,45	0,39	0,32

BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE

Jméno autora: **Tomáš Proschek**

Škola: **České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební**

Obor: **Realizace pozemních a inženýrských staveb**

Zaměření: **Realizace dopravních staveb**

Forma studia: **Prezenční**

Rok: **2017**

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

Typ práce: **Bakalářská práce**

Název práce: **Vlákna v asfaltových směsích**

Počet stran celkem: 124

Počet stran příloh: 21

Počet znaků bez mezer: celkem – 88 031

Počet znaků včetně mezer: celkem – 103 010