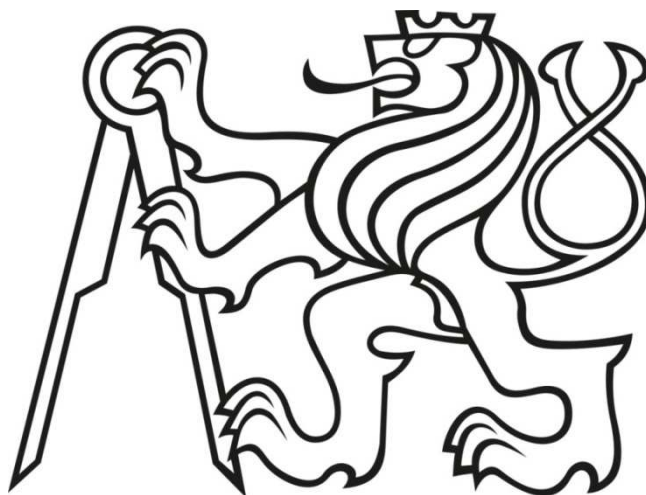


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby



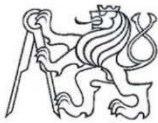
Diplomová práce

Syntetická vlákna v asfaltových směsích  
Synthetic Fibers in Asphalt Mixes

Autor: Čestmír Krous

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

Rok zpracování: 2019



## ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


Tháškova 7, 166 29 Praha 6

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

#### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Krous	Jméno: Čestmír	Osobní číslo: 423171
Zadávací katedra: Katedra silničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

#### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Syntetická vlákna v asfaltových směsích	
Název diplomové práce anglicky: Synthetic Fibers in Asphalt Mixes	
Pokyny pro vypracování: Provedení rešerše problematiky využití vláken v asfaltových směsích, definice možností využití vláken v konstrukcích krytů vozovek, provedení laboratorních měření na asfaltových směsích s různými druhy vyztužení a jejich srovnání s referenčními úpravami, multikriteriální vyhodnocení získaných výsledků	
Seznam doporučené literatury: - Technologie stavby vozovek, Ing. Jan Zajíček a kol. - příslušné technické předpisy a normy	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 18.2.2019	Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

#### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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>25 -02- 2019</u>	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

.....

Podpis studenta

V Praze dne .....



## Poděkování

Tato práce vznikala v silniční laboratoři fakulty stavební a tímto bych chtěl poděkovat celému kolegiu za odborné rady a pomoc při provádění jednotlivých zkoušek. Dále pak vedoucímu práce Ing. Mondscheinovi za odborné rady a pomoc při vyhodnocování zkoušek. Děkuji také Ing. Františku Buráňovi za zprostředkování směsí, které byly pro tuto práci použity.



## Anotace

Diplomová práce zkoumá vliv syntetických vláken na mechanické vlastnosti asfaltových směsí. Konkrétně vláken pod obchodními značkami Forta a Namflex, a to ve směsích typu asfaltobeton pro obrusnou a ložní vrstvu (ACO a ACL). Teoretická část se věnuje obecně vyztužování asfaltových směsí vlákny a plošnou výztuží. V praktické části se prováděly a vyhodnocovaly jednotlivé zkoušky pro ověření vlivu vláken na mechanické vlastnosti.

### Klíčová slova:

Syntetická vlákna, asfaltové směsi, mechanické vlastnosti, Forta, Namflex, asfaltobeton, ACO, ACL, 3D vyztužování, plošné vyztužování, aramidová vlákna, PET vlákna.

## Abstract

The master thesis investigates the influence of synthetic fibers on the mechanical properties of asphalt mixes. Two different types of fibers, that are registered under the name Forta and Namflex, were used in asphalt concrete for the surface course and binder course. The theoretical part of this thesis is about reinforcing the asphalt mixes with fibers and geosynthetics. In the practical part, the laboratory tests were made to evaluate the influence on mechanical properties of asphalt mixes.

### Keywords:

Synthetic fibers, asphalt mixes, mechanical properties, Forta, Namflex, asphalt concrete, AC surface course, AC binder course, 3D reinforcing, areal reinforcing, aramid fibers, PET fibers.



# Obsah

Úvod.....	4
1. Vlákna v asfaltových směsích .....	5
1.1 Historie použití vláken .....	5
1.2. Typy používaných vláken .....	6
1.2.1. Celulózové .....	6
1.2.2. Minerální.....	7
1.2.3. Syntetická polymerová vlákna.....	7
1.2.4. Skelná vlákna .....	7
1.2.5. Odpadní a recyklovaná vlákna.....	8
1.2.6. Výhody a nevýhody používaných vláken [2] .....	8
1.3. Plošné vyztužení asfaltových směsí .....	10
1.3.1. Rozdělení [7].....	10
1.3.2. Funkce plošného vyztužení [8] .....	12
1.3.3. Technické požadavky [7].....	18
1.3.4. Pokládka geosyntetik .....	20
1.4. Prostorové 3D vyztužení asfaltových směsí .....	22
1.4.1. Forta .....	23
1.4.2. Namflex .....	25
2. Asfaltové směsi .....	26
2.1. Konstrukce vozovky.....	26
2.1.1. Obrusná vrstva .....	26
2.1.2. Ložná vrstva.....	27
2.1.3. Podkladní vrstvy .....	27
2.1.4. Ochranná vrstva .....	27
2.1.5. Zemní pláň .....	27
2.2. Asfaltový beton AC.....	28
2.3. Mastixový koberec SMA .....	29
2.4. Úseky směsí obohacených vláknou .....	30
2.4.1. Jackson Hole Airport (Wyoming, USA).....	30



2.4.2.	Avenue D in Lancaster (California, USA).....	31
2.4.3.	Letiště Václava Havla .....	32
2.4.4.	Příjezdová cesta k obalovně Vinařice .....	32
2.4.5.	Okružní křižovatka Kolín .....	32
2.4.6.	Zkušební úsek Hodyně [22] .....	33
3.	Laboratorní zkoušky .....	34
3.1.	Výroba zkušebních těles .....	35
3.1.1.	Výroba směsi .....	35
3.1.2.	Výroba zkušebních těles rázovým zhutňovačem.....	36
3.1.3.	Výroba desek lamelovým zhutňovačem.....	39
3.2.	Objemová hmotnost .....	42
3.2.1.	Laboratorní pomůcky.....	42
3.2.2.	Postup zkoušky .....	42
3.3.	Maximální objemová hmotnost.....	43
3.3.1.	Laboratorní pomůcky.....	43
3.3.2.	Postup zkoušky .....	44
3.4.	Mezerovitost.....	44
3.5.	Odolnost proti vodě ITSR .....	46
3.5.1.	Laboratorní pomůcky.....	46
3.5.2.	Postup zkoušky .....	46
3.6.	Modul tuhosti .....	49
3.6.1.	Laboratorní pomůcky.....	49
3.6.2.	Postup zkoušky .....	49
3.7.	Marshallova zkouška.....	52
3.7.1.	Laboratorní pomůcky.....	52
3.7.2.	Postup zkoušky .....	52
3.8.	Odolnost proti šíření trhlin .....	53
3.8.1.	Laboratorní pomůcky.....	53
3.8.2.	Postup zkoušky .....	53
3.9.	Pojíždění kolem.....	56
3.9.1.	Laboratorní pomůcky.....	56



3.9.2. Postup zkoušky .....	56
4. Vyhodnocení zkoušek .....	58
4.1. Objemová hmotnost, mezerovitost.....	58
4.1.1. Tělesa hutněné 2x25 .....	58
4.1.2. Tělesa hutněné 2x75/50 .....	59
4.2. Odolnost proti vodě ITSR .....	61
4.2.1. Pevnost v příčném tahu.....	61
4.2.2. ITSR.....	62
4.3. Modul tuhosti .....	63
4.4. Marshallova zkouška.....	66
4.5. Odolnost proti šíření trhlin .....	68
4.6. Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací.....	73
4.6.1. Objemová hmotnost, míra zhutnění desek.....	73
4.6.2. Hloubka vyjetí kolem.....	74
4.7. Cena.....	76
4.7.1. Přehled cen.....	76
4.7.2. Modelová situace .....	77
Závěr .....	78
Seznam tabulek .....	81
Seznam grafů .....	82
Seznam obrázků.....	82
Seznam použité literatury .....	85
Seznam příloh .....	88





## Úvod

Objemy položených asfaltových směsí jsou každý rok obrovské. Nicméně jejich trvanlivost není nekonečná a každá možnost, jak životnost prodloužit, je velmi ceněná. Jednou z těchto možností je modifikace pojiva, ta je ale velmi drahá. Další možností je využití vyztužení směsí vlákny. Vyztužení známe z železobetonu, kde je výztuž nedílnou součástí směsi. Avšak asfalt zachovává svoji viskoelastacitu i po vytuhnutí, a to je hlavní rozdíl, proč zde vlákna nejsou takovou samozřejmostí a jsou předmětem výzkumů a diplomových prací jako je tato.

Existuje spousta druhů vláken, které mají velmi různorodé vlastnosti a v konečném důsledku ovlivňují různými způsoby hotovou asfaltovou směs. Jedním tímto druhem jsou vlákna syntetická. Ty nejsou v přírodě zastoupena ve své surové formě, nýbrž se začala objevovat na trhu s rozrůstající se průmyslovou výrobou, a to například ve formě recyklátu. Jejich přínos je propagován v souvislosti se zlepšením mechanických vlastností asfaltových směsí.

Cílem této práce je posoudit vliv syntetických vláken a zhodnotit, zdali je ovlivnění mechanických vlastností opravdu pozitivní. Práce se zabývá konkrétně aramidovými vlákny Forta, která jsou již letitým produktem na trhu, a vlákny Namflex, která jsou vyrobena jako recyklát z PET láhví.

Práce bude rozdělena do čtyř kapitol. První dvě kapitoly budou teoretickou částí práce a budou pojednávat o vláknech a vyztužování asfaltových směsí v obecném hledisku. Druhá, praktická část (třetí a čtvrtá kapitola) bude věnována provedení a vyhodnocení jednotlivých laboratorních zkoušek.

V laboratorních zkouškách budou použity směsi asfaltového betonu pro obrusnou a ložní vrstvu. Porovnání bude mezi směsmi s vlákny Namflex 12 mm, Forta 19 mm a referenční směsí. U asfaltu pro obrusnou vrstvu bude navíc hodnocena směs s modifikovaným pojivem.

Vyhodnocení mechanických vlastností se bude skládat ze zkoušek zhutnění, modulu tuhosti, odolnosti proti šíření trhlin, Marshallovy zkoušky, odolnosti proti vodě a zkoušky vyjetí kolem.



# 1. Vlákna v asfaltových směsích

## 1.1 Historie použití vláken

Historie použití vláken se datuje 4000 let zpátky. V Číně byla vlákna užívána při budování oblouků či Velké čínské zdi zbudované před 2000 let dle Hongu a Philips (1990). Button a Epps (1981) tvrdí, že slaměná vlákna se již používala ve Starověkém Egyptě. Nicméně moderní vyztužování vláknou začalo na začátku 20. let 20. století ve Spojených státech. První použitá vlákna byla vlákna azbestová a ta se používala až do 60. let, kdy bylo zjištěno, že jsou zdraví škodlivé. Ve 30. letech se začala používat bavlněná vlákna, ta se ale časem rozkládala a nebyla vhodná. V 60. letech Tons a Krakoski zkoušeli ocelová vlákna, ale ta zas velmi rychle korodovala vlivem pronikání vody. Další vývoj se nesl v duchu přírodních vláken jako například vláken celulózových, která velmi pozitivně ovlivňují stékání asfaltu. Se vznikajícím odpadem a zvětšující se technologickou výrobou začala vznikat vlákna syntetická. Skupiny vláken přírodních, minerálních a syntetických jsou stále vyvíjeny a zlepšovány. [1] [2]

Motivací pro používání vláken v asfaltových směsích je mnoho:

- Ovlivnění viskoelasticity asfaltu. (Huang and White 1996)
- Snížení stékavosti a úspora asfaltového pojiva. (Bindu and Beena, 2009)
- Zlepšení pevnosti v tahu a soudržnosti. (Brown et. al., 2005)
- Zlepšení dynamického modulu pružnosti. (Wu, Ye and Li, 2007)
- Zvýšení odolnosti proti plastickým deformacím a vyjíždění kolejí. (Mahrez, et al., 2005).
- Zvýšení odolnosti proti mrazu. (Echols, 1989)
- Zvýšení odolnosti proti stárnutí a prokopírování trhlin. (Goel a Das, 2004)
- Snížení vzniku reflexivních trhlin. (Tapkin et. al., 2009)
- Zlepšení odolnosti proti vodě. (Putman and Amirkhanian, 2004)
- Nahrazení polymerů vláknou. (Hassan et al., 2005)

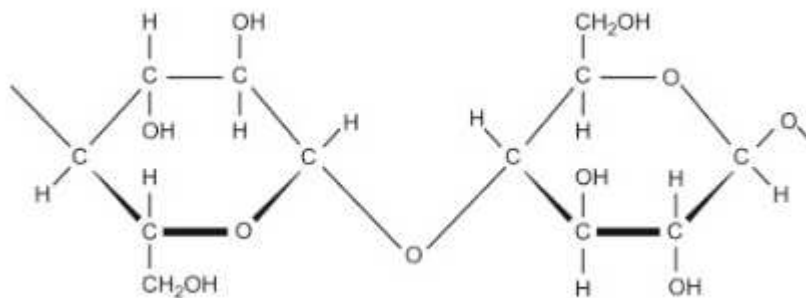
[1]



## 1.2. Typy používaných vláken

### 1.2.1. Celulózové

Celulózová vlákna jsou rostlinná vlákna vyráběná většinou z dřevnatých rostlin. Dřeviny jsou formovány nejvíce celulózou (40 % - 50 %), zbytek tvoří hemicelulóza (20 % - 30 %), lignin (20 % - 30 %) a doprovodné složky. Celulóza je přírodní polymer. [6]



Obrázek 1 Chemická struktura celulózy [6]

Podle použitého zdroje získáváme odlišná vlákna a také odlišné vlastnosti. Nejčistší forma celulózy se vyskytuje v bavlně (přes 80 %). Přesto bavlněná vlákna nejsou vhodná, jelikož mají tendenci se časem rozpouštět. Některé zdroje uvádějí, že pevnost vláken je závislá na ostatních složkách jako třeba ligninu. Lze tedy říci, že podle chemického složení zdroje vláken jsou získávána různě kvalitní vlákna. [6]

Vlákno	Celulóza	Hemicelulóza	Lignin	Zbytkové složky
Bavlna	82,7	5,7	-	6,3
Len	64,1	16,7	2,0	1,3 – 3,3
Juta	64,4	12,0	11,8	0,7
Tvrdé dřevo	31,0 - 64,0	25,0 – 40,0	14,0 – 34,0	0,1 – 7,7
Měkké dřevo	30,0 – 60,0	20,0 – 30,0	21,0 – 37,0	0,2 – 8,5
Kokos	32,0 – 43,0	0,15 – 0,25	40,0 – 45,0	-

Tabulka 1 Přehled složení jednotlivých zdrojů celulózových vláken [6]

Vlákna mají velmi rozvětvenou strukturu a vyznačují se vysokou absorpcí. Právě díky této vlastnosti dokáží zadržovat asfaltové pojivo ve směsi. Obecně se vyrábí ve volné formě nebo v granulích. [2]



## 1.2.2. Minerální

Minerální vlákna lze rozdělit do tří skupin:

- Azbestová vlákna jsou jediná přírodně vyskytující se minerální vlákna ve formě serpentinu, amfibolu a antofylitu.
- Keramická vlákna získaná například z oxidů hliníku, silikátových karbidů, karbidů boru.
- Kovová vlákna jako například hliníková vlákna, která jsou jeden z mnoha zástupců vláken ze skupiny kovů.

Azbestová vlákna byla první použitá vlákna, než se zjistil jejich negativní dopad na zdraví.

Kovová vlákna byla použita v projektech, kde se zkoušelo vytvořit elektricky vodivou vozovku a následným vpouštěním elektrického proudu zacelit vzniklé trhliny. [2] [4]

Uhlíková vlákna vyráběná z polyakrylnitrilu stojí také za zmínku. Předpoklady pro zlepšení směsí jsou jak v modifikaci asfaltového pojiva, tak ve zvýšení pevnosti v tahu a odolnosti proti únavě. [3]

## 1.2.3. Syntetická polymerová vlákna

Nejčastěji používaná polymerová vlákna jsou vlákna polyesterová, polypropylenová, aramidová<sup>1</sup> a různé kombinace polymerů. Do syntetických vláken se řadí i například vlákna nylonová, ale ta jsou velmi málo používána. Syntetická vlákna mají nízkou teplotu tání, což je nutné při návrhu uvážit. Obohacují se tedy různými přísadami, které tuto vlastnost mění. Výroba typicky zahrnuje tavení polymeru a protlačování skrze velmi malé otvory. [2]

## 1.2.4. Skelná vlákna

Skelná vlákna nebyla tolik referována v literatuře jako vlákna ostatní. Nicméně jejich vlastnosti jsou pro vyztužení asfaltu žádoucí. Jako například: Vysoký modul pružnosti v tahu (~60 GPa), nízká tažnost (3 – 4 %), vysoká elasticita (100 %) a vysoký bod měknutí (815 °C). Jsou ale i velmi křehká a při výstavbě se s nimi musí manipulovat opatrně. [2]

---

<sup>1</sup> Aramidovým vláknům FORTA a polymerovým vláknům NAMFLEX bude věnována samostatná kapitola.



### 1.2.5. Odpadní a recyklovaná vlákna

Se vzrůstající spotřebou ropných produktů vzniká taktéž možnost recyklování a znovuvyužití odpadů. Jedná se například drcení pet láhví nebo drcení použitých pneumatik. Znovuzískaná pryž je elastomerní polymer, který se přidává jako modifikátor asfaltového pojiva. Přidání drcené pryže se vyznačuje zvýšením viskozity pojiva, viz tabulka 2. [5]

Property	Test results
Softening point (°C)	63
Penetration (0.1th of mm)	38
Elastic recovery (%)	62
<b>Thin film oven test on residue</b>	
Softening point (°C)	67
Increase in softening point (°C)	4
Penetration (0.1th of mm)	35
Elastic recovery (%)	48

Tabulka 2 Porovnání asfaltového pojiva s pojivem modifikovaným drcenou pryží [5] (Softening point – bod měknutí; Penetration – penetrace; Elastic recovery – pružné zotavení)

### 1.2.6. Výhody a nevýhody používaných vláken [2]

Typ vlákna	Výhody	Nevýhody
<b>Celulóza</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilizuje pojivo ve směsi SMA s otevřenou strukturou, respektive přerušovanou čarou zrnitosti.</li> <li>• Absorpce pojiv umožňuje vyšší obsah pojiva ve směsi a vytvoření odolnější směsi.</li> <li>• Relativně levné.</li> <li>• Možnost použití celé škály výrobních zdrojů.</li> <li>• Dostupnost.</li> <li>• Možnost získání jako recyklát z papíru.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyšší absorpce pojiva zvyšuje celkovou cenu pojiva.</li> <li>• Pevnost v tahu.</li> </ul>
<b>Minerální</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilizuje pojivo ve směsi SMA s otevřenou strukturou, respektive přerušovanou čarou zrnitosti.</li> <li>• Méně absorpční než celulózové.</li> <li>• Vedou elektrický proud – vodivost použita v rozmrazování či zacelování trhlin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mohou degradovat nebo korodovat ve vlhkých podmínkách.</li> <li>• Mohou vytvořit drsné směsi, které jsou špatně kompaktní a mohou poškozovat pneumatiky.</li> </ul>



<b>Polyester</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odolnost proti trhlinám, vyjíždění kolejí a výtlukům.</li> <li>• Zvyšují pevnost a stabilitu směsi.</li> <li>• Vyšší bod tání než u polypropylenových.</li> <li>• Vysoká pevnost v tahu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyšší měrná hmotnost znamená méně přidaných vláken na jednotku hmotnosti.</li> <li>• Cenová úspora se neprokázala nebo se liší.</li> </ul>
<b>Polypropylen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snižují vznik trhlin, vyjíždění kolejí.</li> <li>• Deriváty ropy kompatibilní s asfaltem.</li> <li>• Vytvářejí silné vazby s asfaltem.</li> <li>• Lehce se rozptylují v asfaltu.</li> <li>• Odolnost vůči kyselinám a zásadám.</li> <li>• Nižší měrná hmotnost znamená víc přidaných vláken na jednotku hmotnosti.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nižší bod tání než u ostatních vláken vyžaduje kontrolu teploty při výrobě směsi.</li> <li>• Začínají se zkracovat při 150°C.</li> <li>• Cenová úspora se neprokázala nebo se liší.</li> </ul>
<b>Aramid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odolnost proti trhlinám, vyjíždění kolejí a výtlukům.</li> <li>• Zvyšují pevnost směsi a stabilitu.</li> <li>• Vysoká pevnost v tahu.</li> <li>• Hlavní kontrakce při vyšších teplotách, kdy pomáhají proti vyjíždění kolejí.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cenová úspora se neprokázala nebo se liší.</li> </ul>
<b>Aramid a polyolefin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odolnost proti trhlinám, vyjíždění kolejí a výtlukům.</li> <li>• Kombinuje výhody aramidových a polyolefinových (polypropylenových) vláken.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cenová úspora se neprokázala nebo se liší.</li> </ul>
<b>Skelná</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vysoká pevnost v tahu.</li> <li>• Nízké protažení.</li> <li>• Vysoká pružnost.</li> <li>• Vysoký bod měknutí.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Křehké.</li> <li>• Vlákná se mohou lámat, pokud se překříží.</li> <li>• Mohou praskat při míchání a hutnění.</li> <li>• Cenová úspora se neprokázala nebo se liší.</li> </ul>

Tabulka 3 Přehled výhod a nevýhod jednotlivých vláken.



## 1.3. Plošné vyztužení asfaltových směsí

### 1.3.1. Rozdělení [7]

Základní rozdělení plošného vyztužení je převzato z TP 147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky. Asfaltové membrány nebudou zmiňovány, jelikož se nejedná o vlákna, nýbrž o vrstvu asfaltu.

#### 1.3.1.1. Geosyntetikum (GSY)

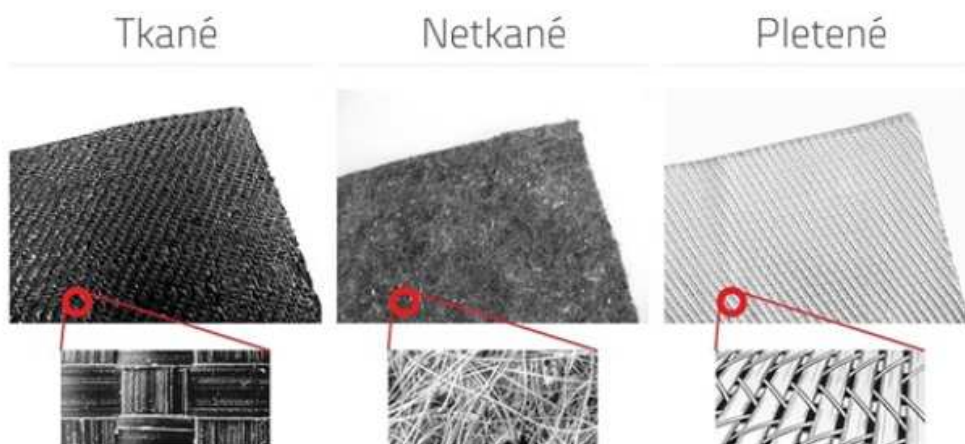
Jedná se o výrobek, který má minimálně jednu součást vyrobenou ze syntetického nebo přírodního polymeru, například fólii nebo pásku, či jiné trojrozměrné struktury.

#### 1.3.1.2. Geotextilie

Geotextilie je plošný, propustný, polymerní (syntetický nebo přírodní) textilní materiál používaný na styku vrstev vozovky se zemí či mezi vrstvy vozovky.

Mohou být:

- Tkané (GTX – W) – Geotextilie vyrobená provazováním (obvykle v pravém úhlu) dvou nebo více soustav nití z nekonečných vláken, pásků nebo jiných prvků.
- Netkané (GTX – N) – Geotextilie vyrobená z urovnaných nebo nahodile orientovaných staplových (=stejná průměrná délka) vláken nebo jiných prvků propojených mechanicky/tepelně/lepidlem či jejich kombinací.
- Pletené (GTX – K) – Geotextilie vyrobená proplétáním oček z jedné nebo více přízí, nekonečných vláken nebo jejich prvků.

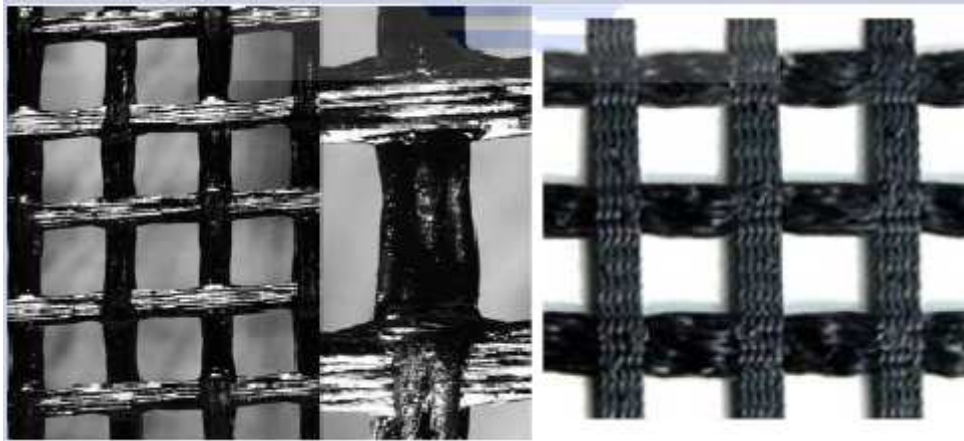


Obrázek 2 Tkané/netkané/pletené geotextilie [9]



### 1.3.1.3. Geomříž (GGR)

Plošná polymerní konstrukce sestávající pravidelné otevřené síťoviny a z pevně spojených tahových prvků, spojených vytlačováním, pojením nebo splétáním a jejíž otvory jsou větší než její součásti.



Obrázek 3 Tkaná a pletená geomříž [10]



Obrázek 4 Spojovaná a extrudovaná geomříž [10]

### 1.3.1.4. Geokompozit (GCO)

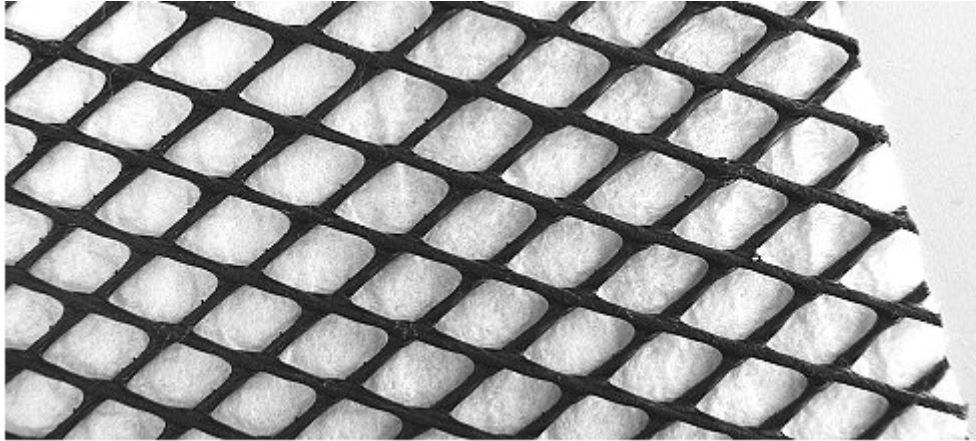
Sdružený materiál, který obsahuje mezi svými složkami nejméně jeden geosyntetický výrobek. V případě použití geokompozitu v konstrukci vozovky jde o sdružený materiál obsahující geomříž a geotextilii, kde je nutno rozlišovat dva základní typy geokompozitu.

- Geokompozit s geomříží ze skelných vláken (geomřížka s obdobnou tloušťkou jako sdružená geotextilie) – kdy geomřížka ze skelných vláken zachycuje vodorovné síly a pojivem nasycená geotextilie vytváří asfaltovou membránu a umožňuje správnou instalaci, přilepení.





- Geokompozit s geomříží na bázi polymeru (geomřížka s vyšší tloušťkou než geotextilie) – kdy díky zaklínění větších zrn asfaltové směsi je možné předpokládat i zvýšení odolnosti hutněné asfaltové vrstvy proti tvorbě trvalých deformací. Geotextilie umožňuje správnou instalaci a přilepení.



Obrázek 5 Geokompozit polyetylénu a polypropylenové geotextilie [11]

### 1.3.1.5. Pletivo

Výztužný prvek z kovového materiálu s pravidelnou skladbou nosných drátů s pevnými uzly, přičemž vzájemnou polohu drátů nelze změnit. Při použití pletiva vznikají problémy při recyklaci vozovky a použití pletiva se nedoporučuje.

### 1.3.2. Funkce plošného vyztužení [8]

Podle místa uložení, myšleno, na jakou vrstvu je geosyntetikum pokládáno, se dosáhne různých funkcí. Krom primárních funkcí plní geosyntetika také funkci sekundární v závislosti na použití.

Funkce:

- Separáčnící – mezi dvěma rozdílnými vrstvami plní funkci integrity a zajišťují funkčnost obou vrstev.
- Filtrační – umožnění průtoku kapaliny včetně zachycování jemných částic.
- Výztužná – přenos tahových sil v celé rovině.
- Zpevňující – zpevnění zeminy či půdní vrstvy.
- Odvodňovací – umožnění proudění kapaliny v rovině její struktury.

Následující Tabulka 4 ukazuje přehled používaných aplikací geosyntetik v silničním stavitelství.



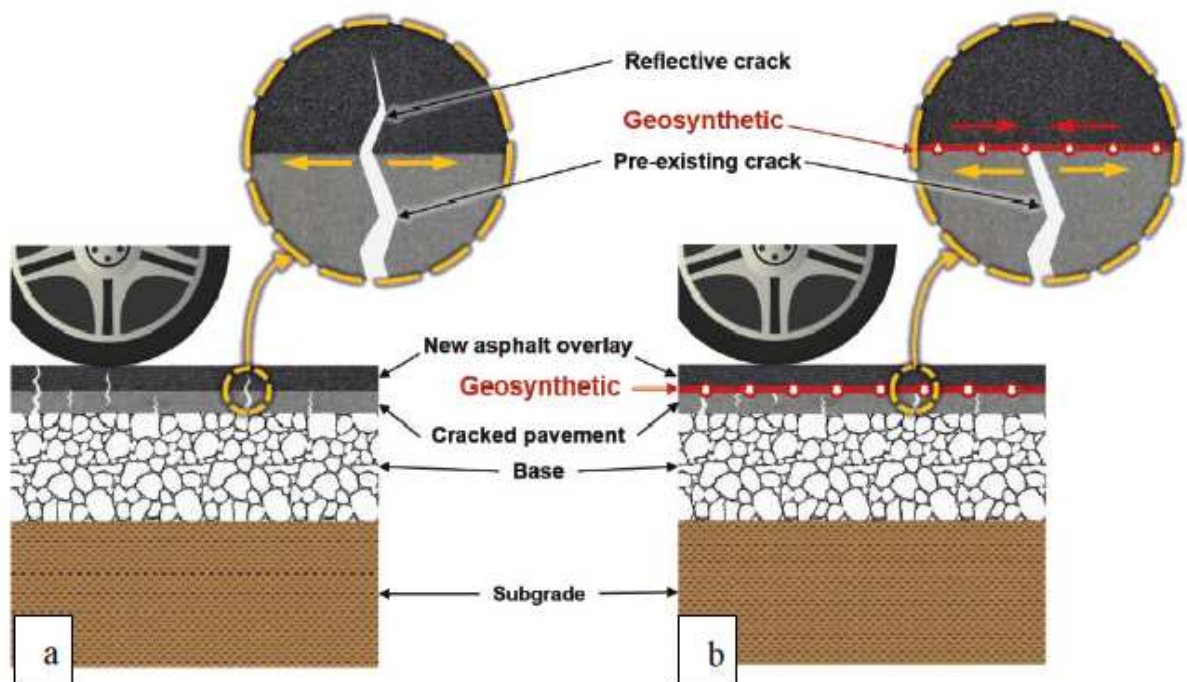
<b>Aplikace</b>	<b>Cíl</b>	<b>Princip</b>	<b>Primární funkce</b>	<b>Sekundární funkce</b>	<b>Důsledek provedení</b>
Snížení prorůstání trhlin v asfaltovém souvrství	Zpomalit nebo eliminovat prokopírování trhlin	Redukce koncentrace napětí v již existujících trhlinách	Výztužná	Separáčn Zpevňující	Snížená degradace asfaltových vrstev, která je způsobena (nebo urychlena) pronikáním vody.
Separace vrstev	Zabránění kontaminace kameniva spodních vrstev jemnozrnným kamenivem z vyšších vrstev	Minimalizované ztráty částic kameniva do podloží a migrace jemných částic do podkladní vrstvy	Separáčn	Filtračn	Snížení časem ztenčovaných podkladních vrstev a kvality kameniva v podkladu.
Stabilizace podkladních vrstev	Minimalizovat časovou degradaci modulu tuhosti podkladní vrstev	Zadržení úniku agregátu z podloží do stran.	Zpevňující		Minimalizování bočních posunů umožňuje udržovat originální kostru kameniva, což má za následek široké rozložení svislých napětí a snížení kontaktních napětí na podkladu.
Stabilizace měkkých podloží	Zvýšení únosnosti základové půdy	Změna napjatosti vyvolané membránou umožňuje přenos smyku mimo dráhu kola.	Výztužná	Zpevňující Separáčn Filtračn	Snížení svislého napětí v podloží pod dráhou kola a příznivé přerozdělení smykových a normálových napětí mimo dráhu kola.
Boční odvodnění	Minimalizování hromadění vlhkosti v podkladních vrstvách a na podloží.	Gravitací vyvolaná postranní drenáž (nasyčené podmínky) či postranní odsávání vlhkosti (nenasyčené)	Odvodnění (v rovině)	Filtračn Separáčn	Minimalizace tvorby pozitivních tlaků pórové vody (nasyčené) a snížení vlhkosti v půdě (nenasyčené). To zabraňuje redukci smykové pevnosti a modulu tuhosti jak v podloží, tak v podkladních vrstvách.

Tabulka 4 Přehled aplikací geosyntetik



### 1.3.2.1. Snížení prorůstání trhlin v asfaltových vrstvách

Prevence prokopírování trhlin je jedna z nejmladších aplikací geosyntetik na vozovce. Trhliny se mohou velmi rychle objevit v nově položených vrstvách, v případě, že už nějaké existují ve starších vrstvách, které tvoří podklad nové vrstvy. Impuls pro kopírování trhlin může být ohybové nebo smykové napětí způsobené opakovaným dopravním zatížením, či napětím vyvolaném teplotní roztažností. Následující obrázek 6 znázorňuje pronikání trhlin mezi nevyztuženými a vyztuženými vrstvami.



Obrázek 6 Princip prokopírování trhlin a) nevyztužené souvrství b) souvrství vyztužené geosyntetikum (Reflective crack – kopírování trhlin; Pre-existing crack – již existující trhlina; New asphalt overlay – nová asfaltová vrstva; Cracked pavement – vrstva s trhlínami; Base – podklad; Subgrade – podloží)

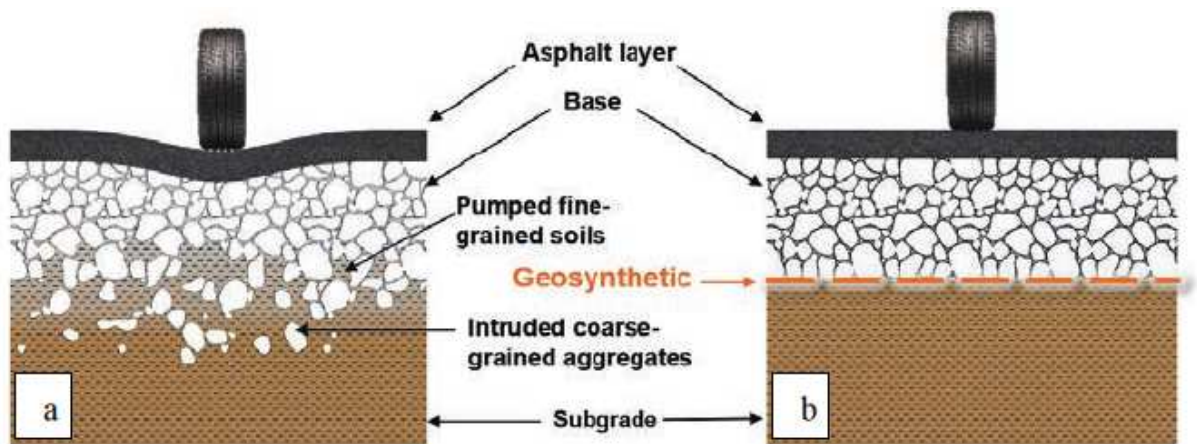
Výsledné funkce se dosáhne díky:

- Přerozdělení tahových sil v blízkosti vrcholu stávající trhliny, čímž se snižuje napětí a deformace v asfaltovém materiálu. Této funkce se dosahuje použitím polymerních, drátěných či skelných mříží.
- Přidáním vrstvy, která umožňuje horizontální deformaci, díky které se mohou potenciálně velké pohyby vyvíjet bez porušení v blízkosti již vzniklých trhlin. Tento mechanismus se označuje jako absorpční membránová mezivrstva a používají se při něm asfaltem impregnované netkané textilie.
- Vytvořením vodotěsné vrstvy, a to i po opětovném výskytu trhlin na povrchu vozovky. Pro toto využití se také používají asfaltem impregnované netkané textilie.



### 1.3.2.2. Separace

Geosyntetika byla prvně použita výhradně k separaci vrstev. Tato aplikace je založená na položení geosyntetika mezi dvě vrstvy, zeminou a druhou vrstvou s rozdílnou velikostí kameniva. Hlavní příčinou selhání vozovek postavených na měkkých půdách bývá kontaminace agregátu podkladní vrstvy do podloží. Kontaminace nastává v případech, kdy kamenivo proniká do podloží v důsledku selhání lokální únosnosti při zatížení kolem. Další možný důvod je vnikání částí jemnozrnných zemin do kameniva, které způsobuje vztlínání či přebytečný pórový tlak. I malá část jemných částic může negativně ovlivnit chování konstrukční či ochranné vrstvy, které jsou navrženy s odlišnou zrnitostí. To se projevuje ve snížení smykové pevnosti, hydraulické vodivosti a zvýšené náchylnosti k promrzání.



Obrázek 7 Princip separace vrstev a) kontaminované souvrství vozovky b) souvrství ochráněné separačním geosyntetikum (Asphalt layer – vrstva sfaltu; base – podkladní vrstvy; Pumped fine-grained soils – vytlačené jemné částí půdy; Intruded coarse-grained aggregates – proniknutí hrubozrnného agregátu; Subgrade – podloží)

### 1.3.2.3. Stabilizace podkladních vrstev

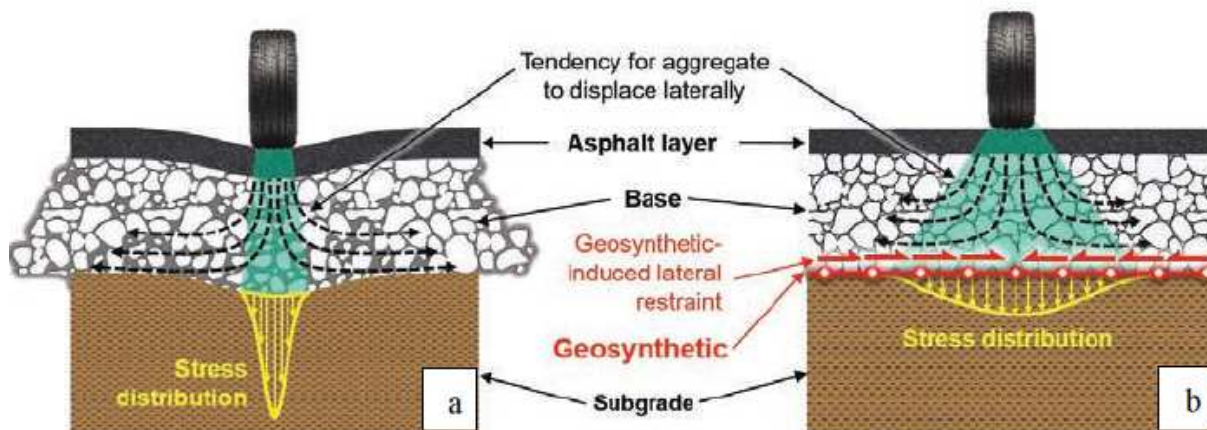
Stabilizace podkladních vrstev může být definována jako způsob užití geosyntetika sloužící ke zpevnění kameniva v podkladní vrstvě. Zpevnění vede k zamezení příčných pohybů kameniva. Geosyntetikum by mohlo být umístěno uvnitř podkladní vrstvy, ale typické umístění pro usnadnění konstrukce je právě na rozhraní podkladní vrstvy, která je stabilizována, a zemní pláň. Toto je zároveň místo, kde může být umístěno geosyntetikum z důvodu stabilizování zemní pláň<sup>2</sup>. Tudíž je možné, že geosyntetikum určené pro zpevnění podkladní vrstvy bude plnit funkci stabilizace zemní pláň.

Obrázek 4 a) znázorňuje boční posuny kameniva podkladní vrstvy. Posuny mají za následek snížení bočních napětí (tj. snížení zadržování kameniva), které významně ovlivňuje modul přetvárnosti vrstvy. V souvrství vozovky se spodní podkladní vrstva

<sup>2</sup> To bude rozebráno v následující kapitole.



podílí na roznosu napětí a v konečném důsledku ovlivňuje maximální svislé napětí působící na rozhraní zemní pláně.



Obrázek 8 Roznos napětí v a) nevyztužené vrstvě s příčným posunem kameniva b) vyztužené vrstvě (Tendency for aggregate to displace laterally – tendence kameniva ujíždět do stran; Asphalt layer – asfaltová vrstva; Base – podkladní vrstva; Geosynthetic induced lateral restraint – boční zadržení vyvolané geosyntetikem; Subgrade – podloží, Stress distribution – roznos napětí)

Na obrázku 4 b) je znázorněno zabránění příčných posunů geosyntetikem. Interakce mezi kamenivem z podkladní vrstvy a geosyntetikem vede k přenosu smykových napětí z podkladní vrstvy do tahových napětí v geosyntetiku. Proto je potřeba geosyntetikum s vysokou pevností. Zaklesnutí kameniva do geomříže je nutné brát v úvahu při návrhu velikostí otvorů v geomříži. Vyšší modul tuhosti geomříže vede tudíž k širšímu rozložení napětí.

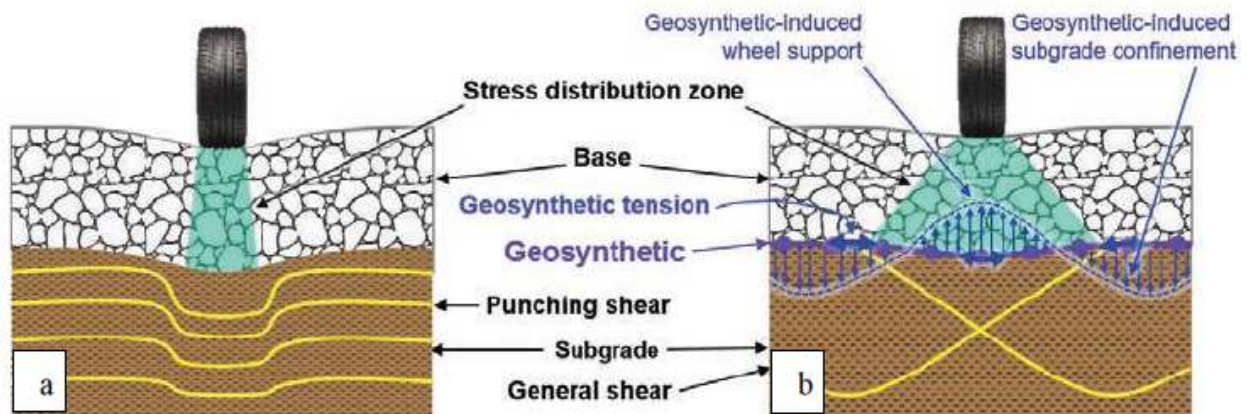
#### 1.3.2.4. Stabilizace podloží (zemní pláně)

Stabilizace podloží je zde definována jako aplikace geosyntetika na pozemních komunikacích pro zvýšení únosnosti měkkých podloží. Funkce výztužná, zpevňující, separační a filtrační jsou zahrnuty v této aplikaci. Výztužná funkce vede ke zvýšení únosností měkkých základových půd, zatímco funkce zpevňující zamezuje bočním posunům. Geosyntetikum je umístěno na rozhraní zemní pláně a spodní podkladní vrstvy a jak bylo výše zmíněno, přispívá také ke stabilizaci podkladní vrstvy. Stabilizace podloží vyžaduje velkou mobilizaci tahových napětí v geosyntetiku a vývoj poměrně velkých hloubek vyjetých kolejí, které jsou v souladu s očekávaným vývojem na nezpevněných cestách. Kdežto stabilizace podkladních vrstev je pro relativně malá tahová napětí v geosyntetiku a odpovídajících menších hloubek vyjetých kolejí.

Jak je znázorněno na obrázku 5 a), přítomnost měkkého podloží může vést k lokálnímu smykovému selhání, což vytváří významné odchylky v souvrství vozovky. To je ještě prohloubeno relativně úzkým úhlem rozložení napětí v podkladní vrstvě, což má za následek poměrně vysoký tlak na styku podloží. Obrázek 5 b) znázorňuje dopad



geosyntetické výztuže na únosnost podloží. Geosyntetikum působí jako napnutá membrána a alespoň částečně nese zatížení kol. To znamená, že geosyntetikum vytváří konkávní tvar, takže působící napětí zahrnuje vertikální složku, která přímo odolává působícímu zatížení kola. Důležitější je, že svislé vychýlení a napětí vyvolané membránou pod dráhou kola vede k mobilizaci smykových napětí mezi půdou a geosyntetikem v části silnice za dráhou kola. Napětí mobilizované za dráhou kola se podílí na podpoře zdvihu zeminy jízdními koly. V konečném důsledku se vertikální přidržení zeminy (zabránění deformace ve svislém směru) projevuje jako přídavek zatížení, který je aplikován za zatíženou plochou a může významně přispět k únosnosti podloží. Ke spuštění těchto mechanismů jsou zapotřebí vysoké deformace, které jsou přijatelné pouze na nezpevněných cestách. Uvádí se, že stabilizace podloží je zvláště vhodná pro projekty s hodnotami CBR nižší než 3 %. Krom toho přispívá geosyntetikum k roznosu napětí.



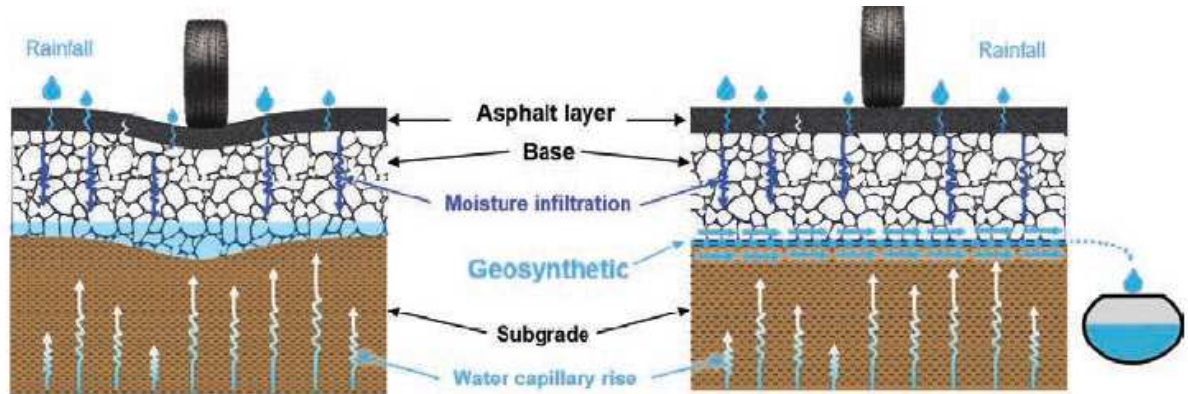
Obrázek 9 Roznos napětí na nezpevněné cestě a) lokální smykové porušení zeminy b) interakce geosyntetika se zemínou (Geosynthetic-induced wheel support – geosyntetikem vyvolaná odezva napětí; Geosynthetic-induced subgrade confinement – geosyntetikem vyvolané přidržení zeminy; Stress distribution zone – zóna rozložení napětí; Base – podkladní vrstvy; Geosynthetic tension – geosyntetické napětí; Punching shear – smykové propadnutí; Subgrade – podloží; General shear – plocha smyku)

### 1.3.2.5. Boční odvodnění

Přítomnost vlhkosti ve spodních podkladních vrstvách a v podloží ohrožuje mechanické vlastnosti těchto vrstev. Vlhkost zachycená pod vozovkou zvyšuje pórový tlak a změkčuje podkladní půdu, což může mít za následek vznik nerovností v souvrství vozovky. Na obrázku 6 a) je ilustrován pokles souvrství vozovky zapříčiněný zachycenou vlhkostí. Kdežto na obrázku 6 b) je znázorněno odvodnění pomocí geosyntetika se schopností bočního odvodnění v rovině. Konvenční geosyntetické drenáže zahrnují geokompozity a geotextilie s relativně vysokou propustností. Tyto konvenční geosyntetické produkty mohou však poskytovat pouze postranní odvodnění způsobené gravitačním spádem, což je důležité dosáhla-li půda sousedící s geosyntetikem nasycených podmínek. Pokrok v geosyntetické výrobě, jako je vývoj



geotextilií se zvýšenou postranní drenáží ELD<sup>3</sup>, umožnil odvodnění za nenasyčených podmínek. Tento vliv je vyzdvihován v souvislosti se vztlínáním vody nebo velkým průsakem skrz vnější vrstvy.



Obrázek 10 a) pokles souvrství způsobený zachycením vlhkosti b) boční odvodnění pomocí geosyntetika (Rainfall – dešťové srážky; Asphalt layer – asfaltové vrstvy; Base – podkladní vrstvy; Moisture infiltration – průnik vlhkosti; Subgrade – podloží; Water capillary rise – kapilární vztlínání vody)

### 1.3.3. Technické požadavky [7]

Geosyntetika se kladou na postřík kationaktivní modifikované asfaltové emulze. Emulze pro postřík musí splňovat požadavky uvedené v Tabulce 5. Dávkované množství je v rozmezí od 1,0 do 1,5 kg/m<sup>2</sup> a šířka postříku musí přesahovat o 100 mm šířku pásu geosyntetika.

Vlastnost	Jednotka	Požadavek min.	Požadavek max.	Zkoušeno dle
Obsah pojiva	% hm.	63		ČSN EN 1428
Vratná duktilita na zpětně získaném pojivu	%	80		ČSN EN 13398
Třída štěpitelnosti			3-5	
Pracovní teplota	°C		60-75	

Tabulka 5 Požadavky na modifikované asfaltové emulze

Teplota pokládaných vrstev je ovlivněna použitým materiálem pro výrobu geosyntetika, tím je běžně polyester, polypropylen, polyvinyl-alkohol a sklo. Další požadavky jsou specifikovány v následujících třech tabulkách.

<sup>3</sup> ELD = Enhanced lateral drainage (zvýšená postranní drenáž)



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		

Tabulka 6 Požadavky na geomříž

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

Tabulka 7 Požadavky na geokompozit s geomříží ze skelných vláken

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

Tabulka 8 Požadavky na geokompozit s geomříží na bázi polymeru

Snadné připevnění geosyntetika k podkladu výrobci obvykle zajišťují spojením (tepelně či prošíáním) geosítě a geomříže s netkanou geotextilií v jediný celek. Geotextilie kompozitu po položení do spojovacího postřiku nasákne asfalt a po následném vyštěpení emulze je geosít' či geomříž pevně připevněna k podkladu. Dalším řešením je použití lepidla na spodní stranu geosyntetika, které je z výroby chráněno odstranitelnou fólií (při pokládce se odstraní pouze fólie). Když se nepoužije ani jedna tato úprava, lze přichytit výztužné geosítě a geomříže ocelovými hřeby. Připevnění hřeby se provádí na začátku a na konci pásu pokládaného geosyntetika, dále po ploše min. 1 hřeb/2 m<sup>2</sup> a v místech příčných i podélných spojů.





Geosyntetika se spojují, pokud plocha pokládky převyšuje plochu geosyntetik. Spojování se liší podle druhu geosyntetika a lze je provést:

- na sraz
- bez přesahu
- s přesahem
- s přesahem s připevněním hřebíků
- s přesahem se speciálními sponami

Při spojování geosyntetik s přesahem se musí přesah udělat minimálně 150 mm. Příčné styky dvou rolí jsou připevněny použitím hřebu s podložkami ve vzdálenosti 0,5 m. Přesahy je nutno dodatečně nasytit spojovacím postříkem. V jednom místě se mohou stýkat nejvýše dvě geotextilie. Výrobce může dodat speciální spojovací spony, které se posléze použijí pro spojování v souladu s jeho požadavky.

Minimální kotevní délka (vzdálenost konce geosyntetika od opravované poruchy) na omezených plochách musí být větší než 0,75 m a u rozšiřování vozovky, velkých rýh větší než 0,90 m.

Minimální tloušťka asfaltových vrstev nad geosyntetikem se pohybuje v rozmezí 40–70 mm a určí ji výrobce. Při nedostatečném překrytí hrozí poškození způsobené smykovými silami od dopravy. Oprava reflexních trhlin vyžaduje hloubku uložení geosyntetika minimálně 90 mm od povrchu. Napojování vozovky na nestmelených podkladech je vhodné umístit v hloubce 50–110 mm.

### 1.3.4. Pokládka geosyntetik

Pokládka geosyntetika je proces, při kterém dochází k četným zásahům lidské práce a je nutná technologická kázeň. Je zde mnoho míst potencionálního sváru, při kterém může dojít k poškození geosyntetika. Například manipulace a napínání geosyntetik, nedostatečné přesahy, kotvení, nepojíždění geosyntetik před rozprostřením materiálu apod.

Před pokládkou je nutné očistit povrch, kam bude geosyntetikum instalováno. Povrch musí být zbaven vegetace, ostrých předmětů a veškerých nečistot. Všechny tyto předměty by mohly způsobit poškození geotextilie či geomříže, a tím i ztrátu požadovaných vlastností. Současně by měla být zemní pláň rovinná (tj. bez jam a hrbolů) a zhutněná. To samé platí pro asfaltovou odfrézovanou vrstvu. [10] [11]

Geosyntetika, která se pokládají pod asfaltové vrstvy, se pokládají na postřík rychloštěpné modifikované kationaktivní emulze (Tabulka 5). Ta se provede na suchý nebo nanejvýš navlhlý povrch. [7]



### 1.3.4.1. Geokompozit

Kladení geokompozitu se provádí rovnoběžně s podélnou osou vozovky do nevyštěpené emulze. Provádí se ručně nebo speciální strojním pokladačem. Nasycením textilie a následným vyštěpením emulze dojde k dokonalému přichycení. Přesahy a spojování jednotlivých rolí musí odpovídat požadavkům zmíněným výše. [7]



Obrázek 11 Pokládka geosyntetika [11]

### 1.3.4.2. Geomříž

Geomříž se také klade rovnoběžně s podélnou osou vozovky, ručně či speciálním strojním pokladačem, a to do nevyštěpené emulze. Výrobce může požadovat dokonalé napnutí geomříže s ohledem na teplotní protažení při pokládce následné vrstvy. Předepnutí se provádí tak, že se každá role na začátku připevní k podkladu ocelovými hřebíky, a při napínání se užijí ocelové hřebíky tak, aby nedošlo ke ztrátě napínací síly. V příčném směru se pomocí hřebů s podložkou připevní geomříž ve vzdálenosti 0,5 m tak, aby při pokládce asfaltové vrstvy nedošlo ke zvlnění geomříže. Požaduje-li výrobce, lze provést ochrannou vrstvu z předobaleného drceného kameniva frakce 8/11 v množství 7 kg/m<sup>2</sup>. Vrstva se zaválcuje lehkým válcem bez vibrace. [7]



Obrázek 12 Připevnění geomříže pomocí hřebů a položená geomříž. [11]



### 1.3.4.3. Úprava položeného geosyntetika

Musí být zajištěno dokonalé rozprostření geosyntetika, aby nedocházelo k žádným přehybům či zvlnění. Po pokládce nesmí geosyntetikum pojíždět žádná doprava, s výjimkou válce u technologie pokládky. Při pokládce další asfaltové vrstvy lze po geosyntetiku opatrně pojíždět finišerem a vozidly se směsí. Vozidla se směsí nesmí na geosyntetiku prudce zrychlovat a brzdit, nesmí se otáčet a při plnění finišeru nesmí být finišerem tlačena. [7]

## 1.4. Prostorové 3D vyztužení asfaltových směsí

Jak již značí název kapitoly, jedná se o vlákna rozptýlená v asfaltové směsi. To je velký rozdíl oproti plošnému vyztužování geosyntetiky, jelikož výroba probíhá už na obalovně kameniva a jediný lidský zásah do výroby je v rámci dávkování vláken do výrobního procesu. Oproti plošnému vyztužování je zde eliminováno mnoho chyb způsobených technickou nekázní nebo neopatrností při pokládce. Nicméně je nutno brát zřetel na výrobní teplotu, jelikož vlákna obecně jsou polymery, ať už syntetických či přírodních (celulóзовých) materiálů, a mají relativně nízké teploty tání.

Další velký rozdíl je v samotném statickém působení, respektive přenášení sil. Síly jsou přenášeny v rámci celé vrstvy vyztužené směsi, to znamená, že se aktivují i při velmi nízkých zatíženích a jejich roznos je ve všech směrech. Oproti plošnému vyztužení, kde k zapojení geosyntetik do statického působení bylo nutné větších zatížení a roznos byl umožněn pouze plošně. Tato vlastnost 3D vyztužení je velký benefit pro roznos sil při brzdění a akceleraci dopravy.

Myšlenka zlepšování směsi „pár pytlů vláken“ se dá uplatnit na více vytižených částech komunikace (vjezdy do křižovatky, okružní křižovatka, autobusová zastávka) bez přerušení výroby a pokládky směsi. Krom cenové úspory oproti modifikovanému pojivu, je další velká výhoda v tom, že vlákna nemají vliv na technologický postup při hutnění. Vlákna by v žádném případě neměla suplovat funkci kvalitního agregátu, ale mohou zlepšovat vlastnosti, například více vytižených úseků či směsí, které nemají samy o sobě požadované vlastnosti.

Obecně existuje mnoho vláken s různými vlastnostmi, v této práci se budeme věnovat mechanickým vlastnostem směsí obohacené vlákny firmy FORTA Incorporation distribuované na trhu v České republice firmou eMZet s.r.o. a vláknům Namflex od firmy CIUR.



Obrázek 13 Roznos zatížení při akceleraci a brzdění pod nevyztuženou/vyztuženou směsí [12]



### 1.4.1. Forta

Firma FORTA Corporation byla založena 1978 a byla prvním producentem syntetických vláken na trhu ve Spojených státech. Vytvořila první patent na vlákna, která neslouží jen jako nosič pojiva, ale vyztužují směs. Patentovaná vlákna jsou složením aramidová a patentovaná jsou jako kevlarová. Dnes nabízí 3 druhy syntetických vláken pro různé pracovní teploty – Hot Mix Asphalt (HMA), Warm Mix Asphalt (WMA) a Hot/Cold Patch (PAT). [12] [13]

Samotná aramidová vlákna jsou obklopena vlákny polyolefinu, která fungují jako nosiče a pomáhají rozprostírat aramidové vlákno. Následující tabulka zobrazuje fyzikální vlastnosti těchto vláken.

Vlákno	Aramidové	Polyolefinové
Hustota	1440 kg/m <sup>3</sup>	910 kg/m <sup>3</sup>
Pevnost v tahu	2,758 MPa	N/A*
Pracovní teploty	-73 – 427 °C	N/A*
Délka	19 mm	19 mm

Tabulka 9 Fyzikální vlastnosti vláken FORTA

\* Vlákna roztají nebo se plasticky deformují během výroby asfaltové směsi.

#### 1.4.1.1. Hot Mix Asphalt (HMA)

Pro směsi míchané za horka, navržená pro pracovní teploty 121-190 °C. Dle výrobce se dobře míchají ve všech typech míchacích zařízeních za jakékoliv míchací rychlosti a rozmíchává se rovnoměrně a úplně. Směs je k dispozici s vlákny v délkách 19 mm a 38 mm. [13]



Obrázek 14 Směs vláken HMA [13]



### 1.4.1.2. Warm Mix Asphalt (WMA)

Pro směsi míchané za tepla, navržena pro pracovní teploty okolo 100 °C a vyšší. Jako u směsi HMA je deklarováno rovnoměrné rozmístění vláken při míchání ve všech typech zařízení a za jakékoliv míchací rychlosti. Vlákná jsou dodávána v délkách 19 mm a 38 mm. [13]



Obrázek 15 Směs vláken WMA [13]

### 1.4.1.3. Hot/Cold Patch (PAT)

Směs vláken navržena pro opravy za tepla i studena. Je navržena pro jakékoliv pracovní teploty a je formulována pro vysoká procenta rozpustných materiálů a benzínu. Směs lze přidávat na obalovně nebo přímo k recyklátu na stavbě. Dodávána v délce 19 mm. [13]



Obrázek 16 Směs vláken PAT [13]



### 1.4.2. Namflex

Vlákna Namflex jsou produktem firmy CIUR, která vznikala v 90. letech v České republice. Zájmem firmy bylo vybudování linky na výrobu vláken pro zpětnou recyklaci sběrového papíru. Vlákna NAMFLEX jsou pouze jedním z mnoha produktů, která firma nabízí. [14]

Vlákno se získává zpětnou recyklací z použité suroviny, jehož složení odpovídá PET (polyethylen-tera-ftalát), který se speciálně upravuje. Vlákno je vhodné jako stabilní rozptýlená výztuž do ložních i obrusných vrstev všech druhů asfaltových směsí (především typu AC). Výrobce deklaruje, že vlákno zlepšuje mechanické vlastnosti a díky přísadě lze snížit tloušťku asfaltové vrstvy. [15]



Obrázek 17 Směs vláken NAMFLEX [14]

Vlákna se dávkuje do směsi v množství 0,5-2 kg/t hmotnosti asfaltové směsi, přičemž nejlepších výsledků se dle dosavadních zkušeností dosahuje v horní hranici. Balení s vlákny lze vkládat přímo do míchacího zařízení obalovny. Při výrobě směsi je nutné dodržet teplotu výroby do 170 °C. [15]

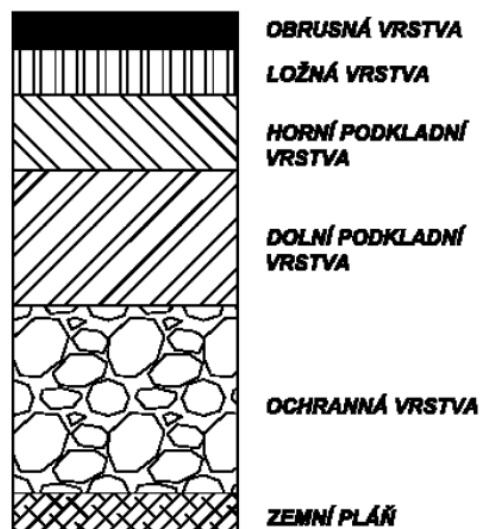
Pokládka i hutnění probíhá standardním způsobem a balení s vláknem (1–15 kg) je k dispozici v různých délkách. [14]



## 2. Asfaltové směsi

### 2.1. Konstrukce vozovky

Konstrukce vozovky je vícevrstevný systém, který se obecně skládá z krytu, podkladu, ochranné vrstvy a podloží. Každá vrstva plní odlišnou funkci a jsou na ni kladené odlišné požadavky stanovené specifickou normou. Využití vláken nachází největší uplatnění ve vrstvách krytu, tzn. obrusné a ložné vrstvy. Typické zástupce směsí obohacených vlákny jsou směsi asfaltového betonu (AC – Asphalt concrete) a směsi mastixové koberce (SMA – Stone mastic asphalt = Stone matrix asphalt<sup>4</sup>) a jim budou proto věnovány samostatné kapitoly.



Obrázek 18 Vrstvy vozovky [16]

#### 2.1.1. Obrusná vrstva

Obrusná vrstva je horní krytová vrstva a je na ni kladeno nejvíce různých nároků. Je v kontaktu s kolem a musí splňovat smykové vlastnosti, které jsou ovlivněny texturou směsi. V zimních měsících odolává jak klimatickým změnám, tak opakovanému užití rozmrazovacích prostředků. Důraz je kladen na drenážní schopnosti a je-li vozovka v intravilánu, dost často musí vykazovat určité schopnosti pohltivosti hluku. Jelikož vrstva během roku prodělává velké teplotní změny, není žádoucí, aby byla příliš tuhá, a tím pádem náchylnější k únavě a ke vzniku trhlin. Během návrhového období vozovky obrusná vrstva prodělá výměnu ať už celé vrstvy, respektive odfrézování staré a pokládka nové. Při ztrátě smykových vlastností nebo známek únavy se životnost vrstvy prodlužuje emulzními postřiky a nátěry.

<sup>4</sup> Stone mastic asphalt je název typický spíše pro Evropu, kdežto většina pramenů ze Spojených států používá spíše Stone matrix asphalt.



## 2.1.2. Ložná vrstva

Ložná vrstva tvoří podklad obrusné vrstvy a roznáší zatížení dále do pokladních vrstev. Jako podklad musí tedy odolávat více trvalým deformacím, a proto je žádoucí, je-li vrstva tužší. Oproti obrusné vrstvě umožňuje použití větších zrn kameniva.

## 2.1.3. Podkladní vrstvy

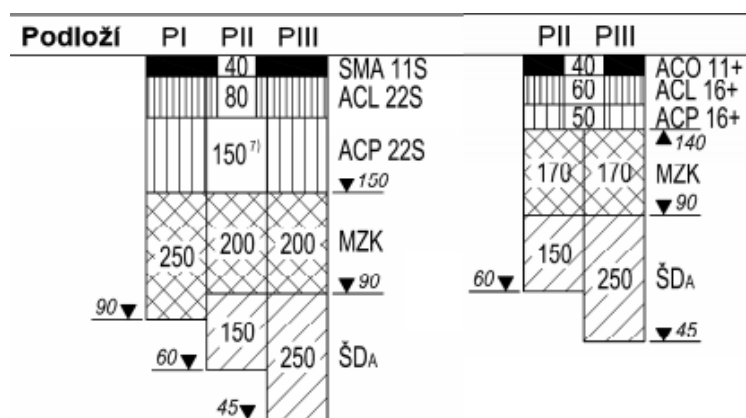
Podkladní vrstvy plní nosnou funkci a přenáší zatížení z krytových vrstev do podloží. Je u nich kladen požadavek na pevnost ve smyku a v tahu za ohybu. Důležitá je také životnost vrstvy a odolnost proti trvalým deformacím. Pokud je vrstva dobře navržena, neměla by po dobu životnosti konstrukce vozovky být opravována či jakkoliv sanována. Naopak pokud už ze začátku byla jakkoliv zanedbána, projeví se to velmi rychle například ve vzniku vyjetých kolejí a její oprava je značně nákladnější než výměna krytu.

## 2.1.4. Ochranná vrstva

Ochranná vrstva je velmi proměnlivá vrstva vzhledem k podmínkám, ve kterých je stavba realizována. Jedním kritériem je samotná únosnost zemní pláně a nutnost více roznést zatížení. Dalším kritériem je vodní režim podloží, respektive není žádoucí, aby voda vzlínala do pokladních vrstev a výše a následně promrzala či vyplavovala jemné částice a narušovala strukturu směsí. To znamená, že v ideálních podmínkách tato vrstva u vozovky být vůbec nemusí, a naopak ve špatných podmínkách může dosahovat tloušťky 250 mm a výše.

## 2.1.5. Zemní pláň

Zemní pláň je vrchní strana podloží, která je řádně urovňována a ukloněna dle projektu. Uzavírá zemní těleso a tvoří horní líc aktivní zóny. [16]



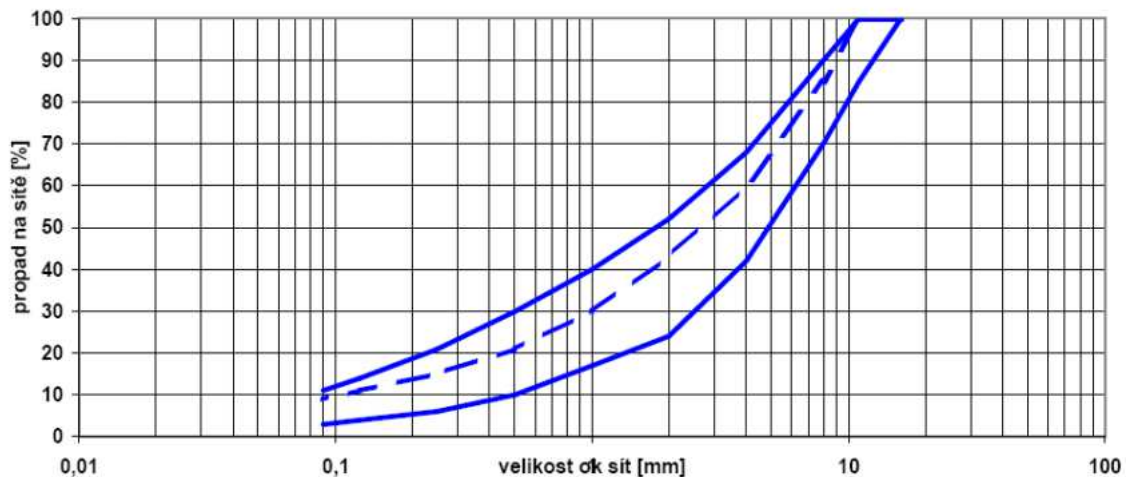
Obrázek 19 Příklad skladby vozovky pro různé typy podloží a) D0-N-1 pro třídu dopr. zat. S b) D1-N-1 pro třídu dopr. zat. III [17]





## 2.2. Asfaltový beton AC

Označení AC vychází z anglického názvu pro asfaltový beton Asphalt concrete. Jedná se o velmi běžnou směs, která má plynulou čáru zrnitosti s rovnoměrným zastoupením jednotlivých frakcí kameniva. Dolní a horní limity pro propady jsou definovány v normě. Používá se v obrusné, ložní a podkladní vrstvě.



Obrázek 20 Obor zrnitosti pro směs ACO 11+ [19]

Název se skládá [18]:

- AC = asphalt concrete = asfaltový beton
- písmenem O/L/P
  - O – obrusná vrstva
  - L – ložná vrstva
  - P – podkladní vrstva
- číslem D – číslo označuje velikost oka horního síta nejhrubší frakce v mm
- kvalitativní třída S/+ /CH
  - S – směsi se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací
  - + – nahrazují kvalitativní třídu směsí I
  - bez označení – nahrazují kvalitativní třídu směsí II a III
  - CH – směsi pro nemotoristické komunikace a chodníkové úpravy
- druh použitého pojiva např. 50/70 – pojivo gradace 50/70
- tloušťka vrstvy a označením normy



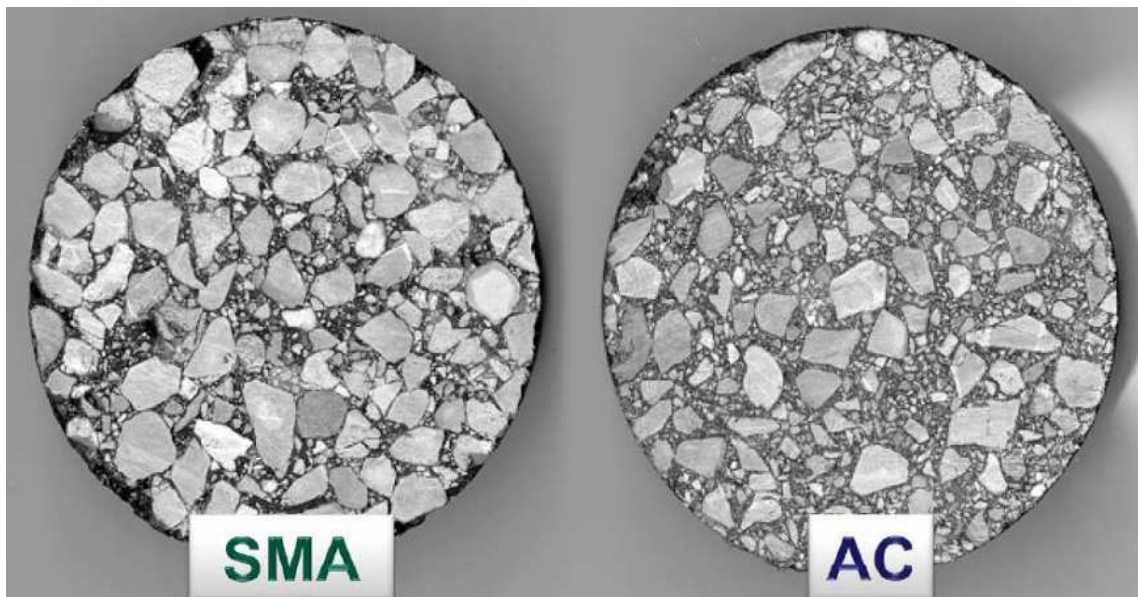
Příklad: ACO 11+ 50/70; 40 mm; ČSN EN 13108-1:2008

= asfaltový beton pro obrusnou vrstvu s maximální velikostí zrna 11 mm, třída dopravního zatížení např. II, silniční asfalt 50/70, tloušťkou 40 mm podle normy ČSN EN 13108-1:2007

### 2.3. Mastixový koberec SMA

Asfaltová směs vyvinutá v 70. letech v Německu. Původní použití bylo u vozovek, které byly pojížděny pneumatikami s hřeby. Jedná se o směs s přerušenou čarou zrnitosti. Obsahuje vysoký počet hrubého kameniva a kostra kameniva je vyplněna mastixem. Mastixem se rozumí asfaltové pojivo smíchané s kamenivem do velikosti 2 mm a filerem. Používá se hlavně pro obrusné vrstvy a vyznačuje se vysokou odolností vůči tvorbě trvalých deformací, odolností vůči vzniku mrazových trhlin, odolností proti únavě. [18] [19]

U mastixového koberce se řeší problém se stékovostí pojiva, a proto se používá jemné kamenivo a filer. Jako nosič pojiva slouží vlákno (např. celulózové, akrylátové).



Obrázek 21 Tělesa směsi SMA a AC [19]

Název se skládá [18]:

- SMA = stone mastic asphalt = asfaltový koberec mastixový
- číslem D – číslo označuje velikost oka horního síta nejhrubší frakce v mm
- kvalitativní třída S/+ /

S – směsi se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací

+ – nahrazují kvalitativní třídu směsí I



bez označení – nahrazují kvalitativní třídu směsí II a III

- druh použitého pojiva např. 50/70 – pojivo gradace 50/70
- tloušťka vrstvy a označením normy

Příklad: SMA 8 S PMB 25/55-55; 40 mm; ČSN EN 13108-5:2008

Asfaltový koberec mastixový pro obrusnou vrstvu s maximální velikostí zrna 8 mm pro třídu dopravního zatížení např. I se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací a polymery modifikovaným asfaltem 25/55-55, dle normy ČSN EN 13108-5:2008.

## 2.4. Úseky směsí obohacených vláknou

### 2.4.1. Jackson Hole Airport (Wyoming, USA)

Letiště Jackson Hole se nachází na úpatí pohoří Teton mountains ve státě Wyoming. Leží v nadmořské výšce 1966 m. n. m. a teplotní rozpětí mezi létem a zimou se pohybuje od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Letiště ročně odbaví přes 35 000 letů, a to jak malých letadel, tak větších typu Boeing 757 nebo Airbus 320. Ročně zde může napadnout až 15 m sněhu a je tak nutné často v zimě odklízet sníh pluhem. [12]

Při rekonstrukci ranveje byla použita vlákna Forta-Fl v délce 19 mm pro směsi HMA, jednalo se o porézní směs s otevřenou strukturou a vysokou frikci. Tloušťka vrstvy byla 38 mm a bylo položeno přes 7500 tun směsi s dávkováním vláken 0,5 kg/t směsi. Po pěti letech provozu byl projekt přezkoumán a nevyskytly se žádné znatelné poruchy včetně trhlin a vyjíždění kolejí. [12]



Obrázek 22 Pokládka ranveje 1/19 Jackson Hole Airport [12]



Dle studie Stempihar et. al., kteří se zabývali letištěm Jackson Hole a letištěm Sheridan County byla na obou letištích použita směs FAA P-402 s vyztužením aramidových vláken. Po srovnání výsledků z obou letišť došli k závěru, že při nízkém navýšení vstupních nákladů lze prodloužit životnost vrstvy minimálně o rok. [20]

### 2.4.2. Avenue D in Lancaster (California, USA)

Silnice 1300-1868 W Avenue měla po letech zatížení těžkou kamionovou dopravou rozsáhlé sítě trhlin. Po odfrézování staré obrusné vrstvy a položení nové se na jeden pruh položila směs s aramidovými vlákny a na druhý totožná směs bez vláken. Již po 7 měsících se staré trhliny začaly u vrstvy bez vláken prokopírovávat na povrch. [12]



Obrázek 23 Avenue D před rekonstrukcí [12]



Obrázek 24 Avenue D po rekonstrukce – vlevo směs s vlákny, vpravo bez [12]



### 2.4.3. Letiště Václava Havla

Na letišti Václava Havla byla v roce 2014 položena asfaltová vrstva obsahující aramidová vlákna. Nová vrstva byla položena v rámci rekonstrukce, při které se ukázalo, že pod odfrézovanou vrstvou asfaltu nejsou betonové desky, ale 150 mm starých asfaltových směsí a až pod nimi betonové desky. Požadovaná životnost nové vrstvy je 8 let. [12]



Obrázek 25 Pokládka nové směsi na Letišti Václava Havla [12]

### 2.4.4. Příjezdová cesta k obalovně Vinařice

V roce 2010 si společnosti Bohemia Asphalt / Strabag chtěli ověřit vlastnosti směsí s přísadou vláken Forta Fl. Na výjezdu z obalovny ve Vinařicích položili ve strmém svahu ložnou vrstvu v tloušťce 6 cm a obrusnou vrstvu v tloušťce 4 cm, obě směsi byly obohaceny vlákny s dávkováním 0,5 kg/t směsi a dohromady se položilo 560 tun.

Kontrolovalo se rozmíchání vláken, které se vyhodnotilo bezproblémové na základě vizuální kontroly. Rovněž u pokládky nebylo zjištěno žádné snížení rychlosti pojezdu finišeru. Hutnění dle vyjádření vedoucího pracovníka probíhalo lépe než u pokládky směsi s modifikovanými pojivy, jelikož ty se lepí na hutnicí válec. [21]

### 2.4.5. Okružní křižovatka Kolín

Na žádost ředitelství silnic a dálnic byla vyztužena asfaltová směs při pokládce okružní křižovatky v městě Kolín. Okružní křižovatka se nachází na vjezdu do města, kde se spojují směry z Prahy a směr vedoucí na dálnici Praha – Hradec Králové, dále je zde



vjezd do města a vjezd k nákupnímu středisku. Pokládka proběhla v roce 2012 a bylo položena 540 tun směsi obohacené vlákny. [12]

### 2.4.6. Zkušební úsek Hodyně [22]

V roce 2017 byl realizován pokusný úsek II/201 Hodyně – křižovatka s III/201 29 v rámci programu Nové technologie. Cílem projektu bylo ověřit fungování výztuže v asfaltových směsích a konstrukčních vrstvách společně s použitím většího množství R-materiálu

Úsek	Staničení	Délka úseku	Výztuž
(0)	km 0.000 – km 0.060	60	---
(1)	km 0.060 – km 0.347	287	Dolanit
(2)	km 0.347 – km 0.620	273	Namflex
(3)	km 0.620 – km 0.877	257	Bitustring
(4)	km 0.877 – km 1.134	257	2D skelná výztuž
(5)	km 1.134 – km 1.400	266	FORTA FI
(6)	km 1.400 – km 1.626	226	---

Tabulka 10 Přehled jednotlivých úseků [22]

Zkušební úsek se dělil na 6 podúseků, které měly délku od 257 do 300 m. Obrusná vrstva byla realizována v celém úseku jednotně směsí ACO 11 S PMB 45/80-60 s 50 % R-materiálem. Ložné vrstvy se vzájemně lišily, referenční směsí byla směs ACL 22 S PMB 25/55-60 s 60 % R-materiálem, ostatní směsi byly obohacené různými vlákny. Jednalo se o aramidové vlákno FORTA FI, syntetické vlákno DOLANIT, polyamidové vlákno BITUSTRING získané jako recyklát a polyesterové vlákno NAMFLEX získané také jako recyklát z odpadní suroviny. Poslední podúsek byl realizován s použitím technologie plošné výztuže ze skelných vláken.

Pasportizace poruch a odebrání vývrtů proběhlo rok poté, co byl úsek realizován. Na základě vyhodnocení všech testů podle zprávy Odborné laboratoře Fakulty stavební lze říci tyto skutečnosti. Sledovaný úsek je v perfektním stavu a objevují se zde poruchy zcela ojediněle. Podélné a příčné nerovnosti všech podúseků vyhovují požadavkům normy a TP. Z hodnocení laboratorních zkoušek vykazuje referenční směs srovnatelné výsledky jako nejlepší směs vyztužená vlákny. Při srovnání všech směsí s vlákny se nejlépe jeví směs s vláknem Forta FI. Obecně laboratoř doporučuje provést zhodnocení znovu v dalším roce.



### 3. Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky byly provedeny ve dvou cyklech. V prvním cyklu se testovala směs ACO 11 S, která byla vyrobena ve 4 variantách a to:

- ACO 11 S 50/70 Referenční směs
- ACO 11 S PMB 45/80-55
- ACO 11 S 50/70 FORTA
- ACO 11 S 50/70 NAMFLEX

Ve druhém cyklu se testovala směs ACL 16 + a to ve 3 variantách:

- ACL 16 + 50/70 Referenční směs
- ACL 16 + 50/70 FORTA
- ACL 16 + 50/70 NAMFLEX

Na těchto směsích byly provedeny následující laboratorní zkoušky:

- Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem
- Stanovení objemové hmotnosti
  - Nasycený suchý povrch (SSD)
  - Podle rozměrů
- Stanovení maximální objemové hmotnosti
- Výpočet mezerovitosti
- Odolnost proti vodě ITSR
- Stanovení modulů tuhosti
  - Teplota 0 °C
  - Teplota 15 °C
  - Teplota 27 °C
  - Teplota 40 °C
- Marshallova zkouška
- Odolnost proti šíření trhliny
  - Teplota 0 °C
  - Teplota -10 °C
- Příprava zkušebních desek lamelovým zhutňovačem
- Zkouška pojíždění kolem



## 3.1. Výroba zkušebních těles

### 3.1.1. Výroba směsi

#### 3.1.1.1. ACO 11 S

Směs byla vyrobena dne 13.11.2018 v obalovně Libodřice při výrobě směsi pro pokládku v obci Radonice – křižovatka. Vzorky pro laboratoř byly odebrány po cca 40 kg vždy uprostřed výrobního cyklu. Pytle s vlákny se vkládaly do spádového otvoru míchacího zařízení obalovny. Následovalo 15 sekund suchého míchání s kamenivem a potom běžné míchání s pojivem. Teplota výroby byla do 170 °C. Celkem byly vyrobeny 4 varianty směsi:

- ACO 11 S 50/70 Referenční směs
- ACO 11 S PMB 45/80-55
- ACO 11 S 50/70 FORTA 19 mm dávkování 0,5 kg/1 t směsi
- ACO 11 S 50/70 NAMFLEX 12 mm dávkování 2 kg/1 t směsi

#### 3.1.1.2. ACL 16 S

Směs byla vyrobena dne 21. 3. 2019 v obalovně Brant u Rakovníka (Silnice Froněk). Obalovna byla vybavena pro dávkování vláken ve formě granulátu. Výrobní teplota byla do 170 °C. Výroba probíhala bez suchého míchání, dle zkušeností vždy bez problémů. Zkušební směs byla odebrána po cca 40 kg a to ve 3 variantách:

- ACL 16 + 50/70 Referenční směs
- ACL 16 + 50/70 FORTA 19 mm dávkování 0,5 kg/1 t směsi
- ACL 16 + 50/70 NAMFLEX 12 mm dávkování 2 kg/1 t směsi





### 3.1.2. Výroba zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Z výše uvedených směsí byly dle ČSN EN 12697-30 vyrobeny Marshallova zkušební tělesa rázovým zhutňovačem. Záměr bylo vyrobit od každé varianty 8 těles hutněných 2x25 údery, které šly dále na zkoušku odolnosti proti vodě. A dále dalších 7 těles od každé varianty, hutněné podle požadavku normy. To znamená v našem případě pro obrusnou vrstvu třídy kvality S 2x75 údery a pro ložní vrstvu třídy kvality + 2x50 údery. Při výrobě bylo také odebráno 1 kg navážky směsi každé varianty pro stanovení maximální objemové hmotnosti. Ve výsledku byly zhotoveny tělesa: [23]

#### ACO 11 S Normal<sup>5</sup>

- 27.11.2018.; navážka 1150 g; teplota 150 °C;
- označení Č1 – 8 těles 2x25 údery
- označení Č2 – 9 těles 2x75 údery
- 1 kg navážky

#### ACO 11 S NAMFLEX

- 29.11.2018; navážka 1150 g; teplota 150 °C
- označení Č3 – 8 těles 2x25 údery
- označení Č4 – 6 těles 2x75 údery
- 1 kg navážky

#### ACO 11 S PMB

- 4.12.2018; navážka 1150 g; teplota 165 °C
- označení Č5 – 6 těles 2x25 údery
- označení Č6 – 7 těles 2x 75 údery
- 1 kg navážky

#### ACO 11 S FORTA

- 6.12.2018; navážka 1200 g; teplota 150 °C
- označení Č7 – 8 těles 2x25 údery
- označení Č8 – 8 těles 2x75 údery
- 1 kg navážky

#### ACL 16 + Normal

- 25.3.2019; navážka 1200 g; teplota 150 °C
- označení Č1 – 8 těles 2x25 údery
- označení Č2 – 7 těles 2x50 údery
- 1 kg navážky

---

<sup>5</sup> Označení Normal bude používána pro referenční směs.



### ACL 16+ FORTA

- 25.3.2019; navážka 1200 g; teplota 150 °C
- označení Č3 – 8 těles 2x25 údery
- označení Č4 – 7 těles 2x50 údery
- 1 kg navážky

### ACL 16+ NAMFLEX

- 26.3.2019; navážka 1200 g; teplota 150 °C
- označení Č5 – 8 těles 2x25 údery
- označení Č6 – 7 těles 2x50 údery
- 1 kg navážky

## 3.1.2.1. Laboratorní pomůcky

Pro výrobu zkušebních těles byly použity následující pomůcky:

- Laboratorní sušárna
- Rázový zhutňovač s ocelovou podkladní deskou
- Hutnicí forma složená:
  - Podložka formy (= podstava)
  - Válcová forma
  - Nástavec (= vršek formy)
- Fanky (zednická naběračka)
- Špachtle, lopatka
- Teploměr
- Rukavice
- Separální papír
- Kruhové podložky pod válcovou formu
- Výtlačný lis
- Váhy
- Trychtýř z plechu

## 3.1.2.2. Postup výroby

Směs, která byla v papírových pytlích, se dala ohřát do sušárny na teplotu o 5-10 °C vyšší, než byla požadovaná teplota hutnění. Směs se následně rozvážila do fanek a dala se zpět do sušárny. Do sušárny se také daly temperovat hutnicí formy, aby ztráta teploty při přesypání směsi z fanky do formy byla co nejmenší. Než se směs vytemperovala na požadovanou teplotu, byly připraveny kruhové separální papírky.



Po vytemperování směsi (ověřeno teploměrem, který se vsunul do směsi ve fance) se směs umístila do hutnicí formy, a to v následujícím postupu. Na podstavu se umístila válcová forma, do ní se vložil separační papírek, nástavec a navrch trychtýř z plechu, který umožnil jednodušší vsypání směsi z fanky do formy. Po přesypání směsi, se odstranil trychtýř a vrch směsi se zběžně uhladil špachtlí a navrch se položil druhý separační papírek. Vše bylo nutné provádět velmi rychle, jelikož teplota po vyndání ze sušárny prudce klesá.

Připravená hutnicí forma se vložila do pokladní desky rázového zhutňovače a hutnicí pěch se pákou přitlačil k formě. Následně se začalo hutnit. Hutnicí cyklus, respektive počet opakování, se nastavil již předtím, aby nedošlo k žádné časové prodlevě. Po dokončení prvního zhutnění se nadzdvihnul hutnicí pěch, vyndala se hutnicí forma, vyndal se vrch formy, vyndala se válcová forma se směsí a otočila se o 180 °, vrátil se vrch formy, forma byla vložena zpět do zhutňovače podle návodu výše a cyklus hutnění se provedl pro druhou stranu.

Po zhutnění se vyndala hutnicí forma, odložil se vrch formy neboli nástavec a válcová forma se zhutněnou směsí se odebrala z podstavu, sundaly se separační papírky z obou stran a postavila se na kruhovou podložku, kde se nechala vychladnout. Po odebrání válcové formy začala výroba nového tělesa. Po vychladnutí tělesa vytlačila z válcové formy na lisu.



Obrázek 26 Směs s vlákny – Při práci se směsí s vlákny, byla vlákna zřetelně viditelná.



### 3.1.3. Výroba desek lamelovým zhutňovačem

Z výše uvedených směsí byly pro každou variantu vyrobeny 2 desky dle normy ČSN EN 12697-33 metodou užívající lamely zatlačované válcem, na kterých bylo následně zkoušeno vyjetí kolem. Desky byly vyrobeny ve dvou tloušťkách, která je stanovena podle maximální velikosti zrna. Pro směs ACO 11 S je tloušťka stanovena 40 mm a pro směs ACL 16 + to je 60 mm. Byly vyrobeny následující desky z uvedených navážek<sup>6</sup>: [24]

#### ACO 11 S Normal

- 2 desky: ČRfA; ČRfB
- 8,970 kg; 150 °C

#### ACO 11 S NAMFLEX

- 2 desky: ČNaA; ČNaB
- 8,924 kg; 150 °C

#### ACO 11 S PMB

- 2 desky: ČPmbA; ČPmbB
- 8,944 kg; 165 °C

#### ACO 11 S FORTA

- 2 desky: ČFoA; ČFoB
- 8,879 kg; 150 °C

#### ACL 16 + Normal

- 2 desky: RefA; RefB
- 11,584 kg; 150 °C

#### ACL 16 + FORTA

- 2 desky: ForA; ForB
- 11,427 kg; 150 °C

#### ACL 16 + NAMFLEX

- 2 desky: NamA; NamB
- 11,506 kg; 150 °C

---

<sup>6</sup> Navážky vychází z objemové hmotnosti získané z Marshallových těles, které byly vypočítané pro formu 320x260x40/60 mm, tak aby výsledná objemová hmotnost desek, byla co nejshodnější s objemovou hmotností Marshallových těles. Respektive míra zhutnění co nejbližší 100 %.



### 3.1.3.1. Laboratorní pomůcky

Pro výrobu zkušebních desek byly použity následující pomůcky:

- Lamelový zhutňovač včetně:
  - Stůl pohybující se ve vodorovném přímém směru
  - Forma připevněná ke stolu
  - Lamely
  - Válec
  - Podkladní deska
  - Distanční rám
  - Plech tl. 1 mm
- Laboratorní sušárna
- Mísa (= nádoba na směs)
- Lopatka, špachtle
- Rukavice
- Teploměr
- Silikonový sprej
- Váhy
- Kladivo, šroubovák, imbus



Obrázek 27 Připravený lamelový zhutňovač



### 3.1.3.2. Postup výroby

Směs, která byla v papírových taškách se nechala rozehtát v sušárně na požadovanou teplotu, která byla zvýšena o 5–10 °C. Poté byla směs rozvážena do nádob a znovu se nechala ohřívat na požadovanou teplotu. Než se směs rozehtála, připravil se lamelový zhutňovač. To zahrnovalo: nahřát plech a oškrábat z něj starou směs, upravit velikost distančního rámu k požadované výšce zhutněné desky, vložit podkladní desku a uzavřít hutnicí formu boční deskou, na které se utáhly šrouby. Celá forma se zevnitř vystříkala silikonovým sprejem, a to včetně plechu z jedné (spodní) strany.

Po vytemperování směsi na požadovanou teplotu, to bylo zkontrolováno teploměrem, který se vnořil do směsi, se nádoba se směsí vyndala ze sušárny a vysypala se do hutnicí formy. Ve formě se směs špachtlí rovnoměrně rozprostřela a položil si na ni plech, tak aby měl posprejovanou stranu směrem ke směsi. Na plech se následně kladly lamely, které až na úplně poslední lamelu šly vložit ručně. Poslední lamela se zatloukla pomocí kladívka.

Následně se spustilo hutnění, to znamenalo zapnutí zhutňovače, ten začal jezdit v jednom vodorovném směru, a přitom se k němu (velmi pomalou) konstantní rychlostí přibližoval ocelový válec. Ten se dostal až do kontaktu s lamelami a postupně je začal zatlačovat. Lamely se nechaly zatlačovat, tak aby přesah lamel vůči formě byl cca 3 mm. Poté se zhutňovač vypnul, ocelový válec se nadzdvihnul, tak aby netlačil na lamely a forma se nechala 5-8 minut v klidu. Následně se znovu zapnulo hutnění, a to do chvíle, kdy lamely nebyly vtlačeny do formy úplně celé. Poté se zhutňovač opět nechal 5-8 minut odstát. Nakonec se hutnění ukončilo 15 pojezdy.

Po ukončení hutnění se ocelový válec nechal vyjet do své původní polohy. Odšroubovaly se šrouby z boční desky formy a ta se vyjmula pryč. Následně se za pomoci šroubováku a kladívka vytloukl ven první pár lamel a zbytek se již ručně vyndal, a to včetně ochranného plechu. Posléze se vyndala již zhutněná deska, která přilnula k podkladní desce a nechala se tak několik hodin vychladnout. Po vyjmutí podkladní desky se zhutněnou deskou mohla začít výroba desky nové. Po vychladnutí hotové desky se ranou kladívka do podkladní kovové desky oddělila asfaltová deska od kovové.



## 3.2. Objemová hmotnost

Norma ČSN EN 12697-6 nabízí 4 různé postupy určování objemové hmotnosti. My jsme použili dva, a to Postup B nasycený suchý povrch SSD pro tělesa hutněné 2x50 a 2x75 a Postup D podle rozměrů pro všechny tělesa hutněné 2x25. Před samotným vážením a počítáním objemové hmotnosti byly všechny tělesa řádně změřena šuplérkou, a to dle ČSN EN 12697-29. [25]

### 3.2.1. Laboratorní pomůcky

Pro měření objemové hmotnosti byly nezbytné tyto pomůcky:

- Váhy
- Závěs (pro měření hmotnosti ve vodě)
- Vodní lázeň
- Jelenice (= „rychloždímatelný hadr“)
- Teploměr

### 3.2.2. Postup zkoušky

#### 3.2.2.1. Postup B: Nasycený suchý povrch SSD

Všechna tělesa byla nejprve zvážena na suchu, poté byla vložena do vodní lázně a ponechána zde po dobu 30 minut. Následně byla změřena teplota vody. Dále se tělesa zvažila pod vodou na stojanu na vytárované váze. Posléze se těleso vyjímalo z vody a otřelo dostatečně navlhlou jelenicí a znovu zvážilo. Následoval výpočet podle vzorce (3.1.):

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w \quad (3.1.)$$

kde je:

$\rho_{bssd}$  objemová hmotnosti SSD v Mg/m<sup>3</sup>

$m_1$  hmotnosti suchého zkušební tělesa v g

$m_2$  hmotnost zkušební tělesa ve vodě v g

$m_3$  hmotnost zkušební tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného v g

$\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě v Mg/m<sup>3</sup> vypočtena ze vzorce (3.2.):



$$\rho_w = 1,000\,252\,05 + \frac{7,59*t - 5,32*t^2}{10^6} \quad (3.2.)$$

kde je:

$t$  teplota vody ve °C

### 3.2.2.2. Postup D: Podle rozměrů

Tělesa se zvažila na suchu a z již zjištěných rozměrů se vypočítal objem dle vzorce (3.3.):

$$\rho_{dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} * h * d^2} * 10^3 \quad (3.3.)$$

kde je:

$\rho_{dim}$  objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v Mg/m<sup>3</sup>

$m_1$  hmotnost suchého zkušební tělesa v g

$h$  výška zkušební tělesa v mm

$d$  průměr zkušební tělesa v mm

## 3.3. Maximální objemová hmotnost

Dle normy ČSN EN 12697-5 jsou možné 3 postupy. My jsme použili Postup A Volumetrický. Maximální objemová hmotnost byla provedena na 1 kg navážky, která se odebrala u každé varianty směsi. [26]

### 3.3.1. Laboratorní pomůcky

Pro změření maximální objemové hmotnosti byly nezbytné tyto pomůcky:

- Pyknometr včetně
  - Pyknometru (= samotné nádoby)
  - Nástavce (= zátka)
- Destilovaná voda
- Podtlaková komora
- Teploměr
- Váhy
- Tyčka (k promíchání směsi v pyknometru)





### 3.3.2. Postup zkoušky

Objem a hmotnost prázdných pyknometrů včetně nástavce jsou známy, respektive již byly změřeny<sup>7</sup>. Do pyknometru se umístil vzorek navážky (který byl již vytemperován na teplotu laboratoře) a pyknometr se se vzorkem a nástavcem zvažil. Následně se nástavec odložil a do pyknometru se nalila destilovaná voda, tak aby byla mírně po začátek hrdla. S použitím tyčky se směs v pyknometru opatrně prohrábla, tak aby nebyl pyknometr poškozen, ale tak, aby se uvolnilo co nejvíce vzduchu přichyceného ke směsi. Poté se pyknometr bez nástavce vložil do podtlakové komory a zapnul se podtlakový cyklus.

Po skončení podtlakového cyklu se na pyknometr nasadil nástavec a dolila se destilovaná voda po rysku. Následně byl plný pyknometr znovu zvažil a byla změřena teplota. Maximální objemová hmotnost byla vypočtena ze vzorce (3.4.):

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 * V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w} \quad (3.4.)$$

kde je:

$\rho_{mv}$  maximální objemová hmotnost asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem v Mg/m<sup>3</sup>

$m_1$  hmotnost pyknometru a nástavce v g

$m_2$  hmotnost pyknometru, nástavce a směsi v g

$m_3$  hmotnost plného odvzdušněného pyknometru v g

$V_p$  objem pyknometru v m<sup>3</sup>

$\rho_w$  hustota vody v Mg/m<sup>3</sup> vypočtena ze stejného vzorce jako u objemové hmotnosti

### 3.4. Mezerovitost

Mezerovitost je závislost mezi objemovou hmotností a maximální objemovou hmotností udávaná normou ČSN EN 12697-8. Lze ji vyjádřit vzorcem (3.5.): [27]

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100\% \quad (3.5.)$$

<sup>7</sup> Silniční laboratoř je akreditovanou laboratoř a pyknometry podléhají oficiální kontrole.



kde je:

$V_m$  mezerovitost směsi v %

$\rho_m$  maximální objemová hmotnost směsi v  $\text{kg/m}^3$

$\rho_b$  objemová hmotnost zkušebního tělesa v  $\text{kg/m}^3$



Obrázek 28 Odvzdušněné plné pyknometry připravené k vážení



### 3.5. Odolnost proti vodě ITSR

Odolnost proti vodě ITSR je dle ČSN EN 12697-12 poměr pevnosti v příčném tahu, ta se vypočítá dle ČSN EN 12697-23, takzvaných mokrých těles ku suchým. V našem případě byla odolnost stanovena pro všechny tělesa všech variant směsí hutněných 2x25 údery. [28] [29]

#### 3.5.1. Laboratorní pomůcky

Pro měření pevnosti v příčném tahu a následném stanovení odolnosti proti vodě ITSR byly nezbytné následující zařízení a pomůcky:

- Lis
- Měřicí zařízení (síly a deformace)
- Tlačné čelisti se zatěžovacími pásy
- Vodní lázeň 40 °C
- Vodní lázeň 15 °C
- Podtlaková komora
- Sušárna 15 °C

#### 3.5.2. Postup zkoušky

Skupina těles dané směsi se rozdělila na dvě skupiny těles – mokrých a suchých. A to tak, aby průměrná objemová hmotnost skupin mokrých a suchých se nelišila od průměru celkového o více jak 15 kg/m<sup>3</sup>. Je zde ještě kritérium s průměrnou výškou, to je splněné s přehledem pro všechna tělesa.

Suchá tělesa se dají temperovat, tak aby měla 15 °C při provedení zkoušky.

Mokrá tělesa se nejdříve dala sytit do podtlakové komory plné destilovanou vodou, kde se nechala 30 minut sytit v podtlaku vyjádřeným rozdílem výšky rtuťového sloupce. Následně se vložila do vodní lázně o teplotě 40 °C a zde se ponechala 72 hodin. Poté se vzorky vložily do vodní lázně o teplotě 15 °C a zde se nechaly vytemperovat.

Po vytemperování těles na zkušební teplotu 15 °C se tělesa vložila do tlačných čelistí se zatěžovacími pásy, které byly již připraveny v hydraulickém lisu s měřicím zařízením. Rychlostí 50 mm/min se těleso zatěžovalo až do porušení, kdy byla zaznamenána maximální síla a deformace. Z těchto údajů se následně vypočetla pevnost v příčném tahu dle vzorce (3.6.):

$$ITS = \frac{2 * P}{\pi * D * H} \quad (3.6.)$$



kde je:

$ITS$  pevnost v příčném tahu v MPa

$P$  maximální zatížení v N

$D$  průměr zkušebního tělesa v mm

$H$  výška zkušebního tělesa v mm

Následně se vypočítala hodnota ITSR vyjádřena vzorcem (3.7.):

$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_d} * 100\% \quad (3.7.)$$

kde je:

$ITSR$  poměr pevnosti v příčném tahu v %

$ITS_w$  průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých těles v MPa

$ITS_d$  průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých těles v MPa



Obrázek 29 Sycení těles v podtlakové komoře



Obrázek 30 Podtlak vyjádřený výškou rtuťového sloupce



Obrázek 31 Lis včetně čelistí a měřícího zařízení



### 3.6. Modul tuhosti

Dle normy ČSN EN 12697-26 lze modul tuhosti určit různými způsoby. Na zkušebních vzorcích této práce se použila metoda dle Přílohy C Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT-CY). Podstata spočívá v měření příčných deformací, které jsou způsobeny impulsem síly ve svislé rovině. Celé zatěžování probíhá v řádu mikrosekund a zaznamenává se průběh zatížení. Pro každé těleso z každé strany (jedné strany a druhé k ní kolmé) je nejprve 10 zkušebních cyklů a pak 5 cyklů „ostrých“, které se průměrují. Pro zaznamenávání této zkoušky bylo použito velmi moderní vybavení Silniční laboratoře. Modul tuhosti byl změřen u všech vzorků hutněných 2x75 a 2x50 údery a pro teploty 0, 15, 27, 40 °C. [30]

#### 3.6.1. Laboratorní pomůcky

Pro tuto zkoušku bylo použito nejmodernější vybavení Silniční laboratoře včetně měřících sond deformace a softwaru pro zpracovávání výsledků měření. Jejich detailní popis nebude uveden, jelikož to není podstatou této práce. Pro měření byly použity následující pomůcky:

- Klimatická komora s hydraulickým pístem (vestavěným)
- Upínací rám
- Sondy měřící deformace
- PC se softwarem pro zpracování údajů

#### 3.6.2. Postup zkoušky

Vzorky byly umístěny do klimatické komory a řádně vytemperovány (většinou přes noc či přes 6 hodin). Následně bylo těleso vloženo do upínacího rámu tak, aby bylo dokonale rovnoběžné se svislicí, a zároveň tak aby měřící sondy byly přesně uprostřed tělesa, jak výšky, tak šířky. Poté se pod upínací rám dala jeho vrchní část (trámeček pro roznos napětí) a rám se umístil pod střed hydraulického lisu. Následně bylo přes PC spuštěno měření a po změření první strany daného tělesa se těleso pootočilo o 90° a změřil se modul tuhosti ve směru kolmém na směr první.

Vyhodnocení softwaru modulu tuhosti vychází ze závislosti síly a deformace, to vše bylo zaznamenávané softwarem a lze tuto závislost vyjádřit vzorcem (3.8.):

$$S_m = \frac{F^*(\mu+0,27)}{(z*h)} \quad (3.8.)$$



kde je:

- $S_m$  modul tuhosti v MPa
- $F$  maximální hodnota svislého zatížení v N
- $\mu$  Poissonovo číslo v závislosti na zkušební teplotě
- $z$  amplituda příčné deformace v mm
- $h$  průměrná výška zkušebního tělesa v mm

Naměřený modul tuhosti musí být upraven podle součinitele plochy zatížení 0,60 pomocí následujícího vzorce (3.9.):

$$S'_m = S_m * (1 - 0,322 * (\log(S_m) - 1,82) * (0,60 - k)) \quad (3.9.)$$

kde je:

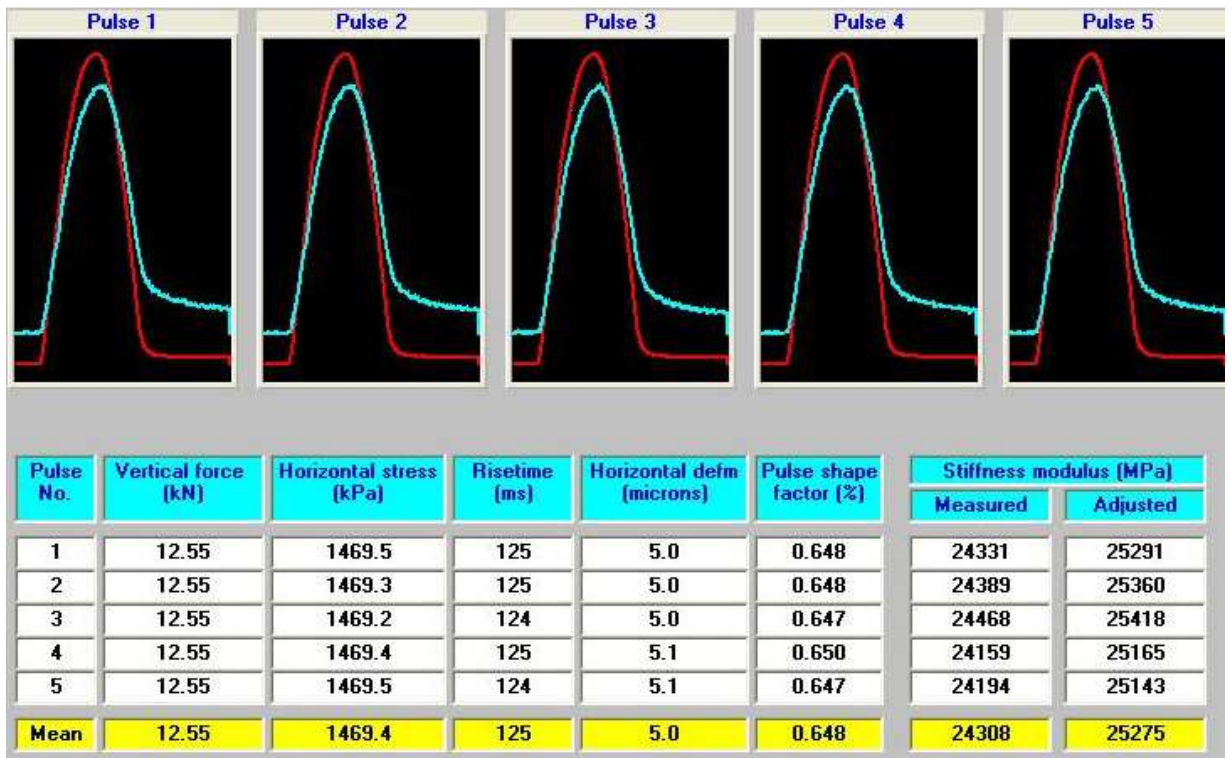
- $S'_m$  upravený modul tuhosti v MPa
- $k$  naměřený součinitel plochy zatížení

Na základě změřených modulů tuhosti lze i stanovit teplotní citlivost asfaltové směsi. Tu lze vyjádřit vzorcem (3.10.):

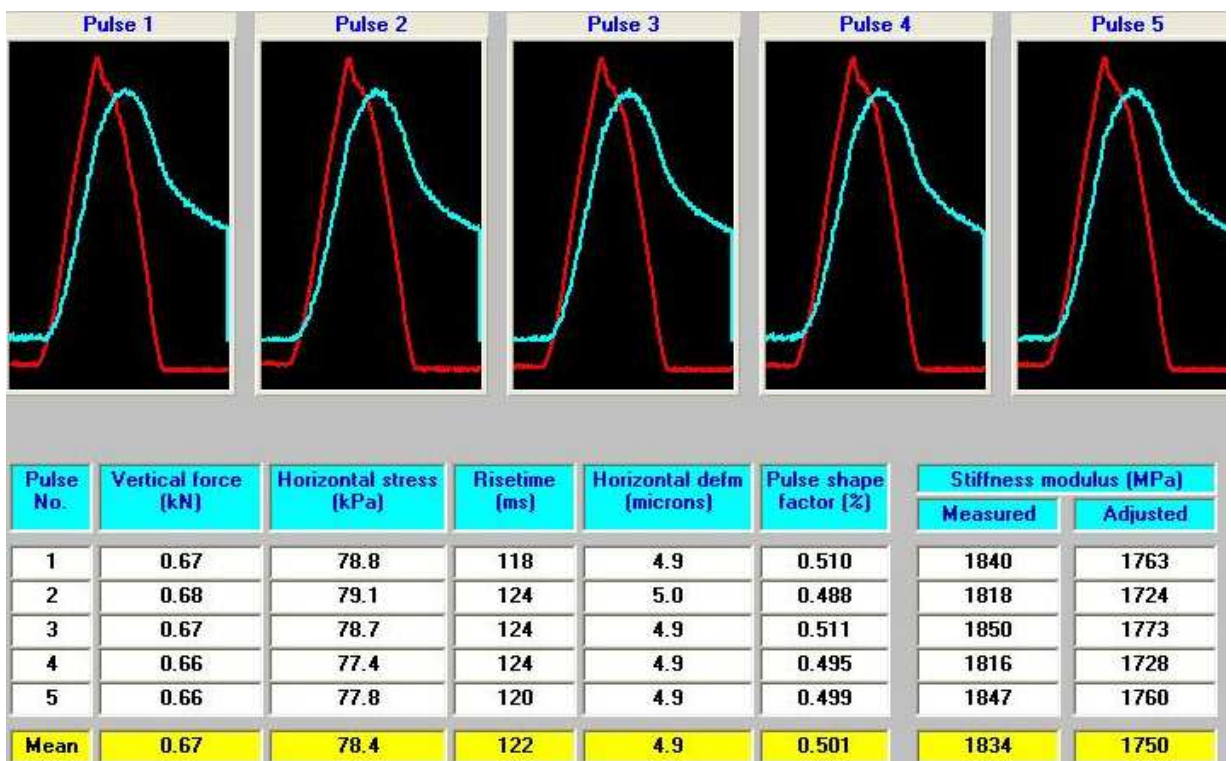
$$\tau = \frac{S'_{m0}}{S'_{m40}} \quad (3.10.)$$

kde je:

- $\tau$  teplotní citlivost asfaltové směsi
- $S'_{m0}$  výsledný průměrný modul tuhosti při 0 °C
- $S'_{m40}$  výsledný průměrný modul tuhosti při 40 °C



Obrázek 32 Příklad výstupu měření modulu tuhosti pro vzorek Č21 při teplotě 0 °C



Obrázek 33 Příklad výstupu měření modulů tuhosti pro vzorek Č21 při teplotě 40 °C





### 3.7. Marshallova zkouška

Marshallova zkouška byla dle ČSN EN 12697-34 provedena vždy na 3 tělesech jedné varianty směsi hutněné buďto 2x75 údery nebo 2x50 údery. Podstatou je zjištění maximální síly (stability), při které se vzorek poruší. [31]

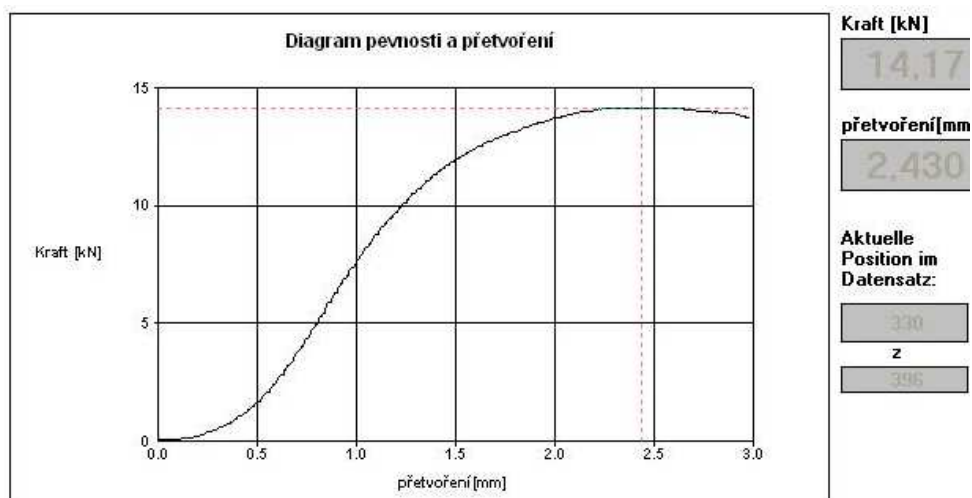
#### 3.7.1. Laboratorní pomůcky

Pro zaznamenání průběhu zatěžování a vyhodnocení výsledků byl použit PC s příslušným softwarem. Celkově byly použity tyto pomůcky a zařízení:

- Lis
- Upínací čelisti
- Měřící zařízení (síly a deformace)
- PC se softwarem
- Vodní lázeň 60 °C
- Rukavice

#### 3.7.2. Postup zkoušky

Zkušební tělesa byla umístěna do vodní lázně o teplotě 60 °C, kde se nechala 40 minut. Mezitím se do příslušného softwaru vyplnily údaje o zkoušených tělesech (včetně výšky – software tak mohl provést korekci dle výšky). Po 40 minutách se vždy po jednom tělese začala provádět zkouška. Těleso se vyndalo z lázně a přímo se upnulo do upínacích čelistí, které byly připraveny v lisu. Následně se spustilo zatěžování rychlostí 50 mm/min až do maximální změřené síly, respektive porušení. Výstupem byl tedy zaznamenaný průběh zatěžování = graf závislosti síly na deformaci, kde nás zajímala maximální síla (= stabilita) a dále míra tuhosti vyjádřena poměrem síly v kN lomeno přetvořením v mm.



Obrázek 34 Graf průběhu zatěžování s označením maximální síly (červená tečkovaná čára)



### 3.8. Odolnost proti šíření trhlin

Zkouška odolnosti proti šíření trhlin vychází z normy ČSN EN 12697-44, nicméně zde byly udělány některé změny na základě zkušeností pracovníků Silniční laboratoře. Princip zkoušky, který spočívá v tříbodovém tahu za ohybu aplikovaném na půlválcové těleso s definovanou trhlinou na spodní hraně, zůstal stejný. [32] [33]

Změny oproti normě nastaly:

- Tělesa jsou hutněna Marshallovým pěchem a mají průměr 100 mm.
- Definovaná trhlina má hloubku 10 mm a šířku 0,9 mm.
- Zkušební teplota byla obecně zvolena 0 °C a pro tento případ i -10 °C.
- Zatěžovací rychlost snížena na 2,5 mm/min.
- Zaznamenává se zátěžový diagram, který se také používá pro vyhodnocení.

Tato zkouška byla provedena při teplotě 0 °C a -10 °C, a to vždy na minimálně 3 půlválcové tělesa (normální těleso rozříznuté na půl) hutněné 2x75 nebo 2x50 údery.

#### 3.8.1. Laboratorní pomůcky

Pro provedení a vyhodnocení zkoušky odolnosti proti šíření trhlin byly použity tyto pomůcky:

- Lis včetně svého měřícího zařízení (síly a deformace)
- Dataloger (= zápisník dat)
- Snímač síly (sekundární)
- Snímač deformace (sekundární)
- Podkladní deska
- Čelisti s válečkovými ložisky
- Klimatizační komora
- Plastová půlválcová destička s vyříznutým středem pro určení správného směru šíření trhliny

#### 3.8.2. Postup zkoušky

Tělesa byla nejdříve seříznuta na požadovanou výšku 50 mm a poté byla rozříznuta na půl. Do každého půlválcového tělesa se vyřízla drážka. Poté byla tělesa označena, změřena a nechala se vyschnout (vodní chlazení při řezání). Následně se tělesa nechala vytemperovat, první polovina těles na 0 °C a druhá na -10 °C.

Příprava měřícího zařízení obnášela zapojení snímače síly a deformace (sekundárního, lis měl své snímací zařízení) do datalogeru a přichystání čelistí s válcovými ložisky. Vytemperované těleso se položilo na válcová ložiska a zajistilo se čelistmi, na ty se položil snímač síly, do kterého přímo tlačil lis. Rychlostí 2,5 mm/min se půlválcové



těleso zničilo. Vyhodnocená data začínala naměřením síly 0,03 kN a ukončovala se poklesem síly na to 0,3 kN<sup>8</sup>. Půlválcové těleso bylo následně zkontrolováno, jestli šíření trhliny odpovídalo definovanému směru určeném zářezem. To se provedlo plastovou půlválcovou pomůckou s vyříznutým trojúhelníkem uprostřed. Dále se data, konkrétně grafy zatěžování, kontrolovaly během vyhodnocování. Vyhodnocení dat vychází ze vztahů, které se dají vyjádřit vzorci (3.11 – 3.14.):

$$\varepsilon_{max,i} = \frac{\Delta W_i}{W_i} * 100\% \quad (3.11.)$$

kde je:

$\varepsilon_{max,i}$	poměrné přetvoření při maximální síle
$\Delta W_i$	svislá deformace při maximální síly v mm
$W_i$	výška zkušební tělesa v mm

$$\sigma_{max,i} = \frac{4,263 * F_{max,i}}{D_i * t_i} \quad (3.12.)$$

kde je:

$\sigma_{max,i}$	maximální napětí při porušení v N/mm <sup>2</sup>
$F_{max,i}$	maximální síla v N
$D_i$	průměr zkušební tělesa v mm
$t_i$	tloušťka zkušební tělesa

$$K_{IC,i} = \sigma_{max,i} * f\left(\frac{a_i}{W_i}\right) \quad (3.13)$$

kde je:

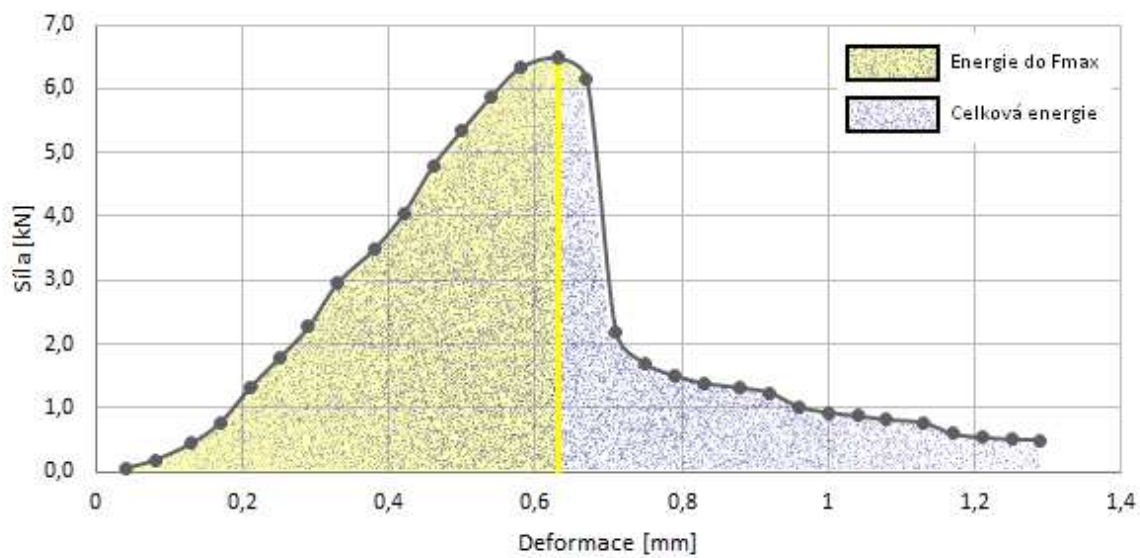
$K_{IC,i}$	odolnost vůči lomu v N/mm <sup>3/2</sup>
$a_i$	hloubka drážky v mm
$W_i$	výška zkušební tělesa v mm
$f\left(\frac{a_i}{W_i}\right)$	geometrický faktor dle následující rovnice

$$f\left(\frac{a_i}{W_i}\right) = -4,9965 + 155,58 \left(\frac{a_i}{W_i}\right) - 799,94 \left(\frac{a_i}{W_i}\right)^2 + 2141,9 \left(\frac{a_i}{W_i}\right)^3 - 2709,1 \left(\frac{a_i}{W_i}\right)^4 + 1398,6 \left(\frac{a_i}{W_i}\right)^5 \quad (3.14)$$

<sup>8</sup> U směsi ACO 11 S téměř všechna tělesa byly porušeny křehkým lomem. To znamená, že při dosažení maximální síly doslova praskly a tím záznam dat skončil.



Obrázek 35 Těleso v čelistích připravené k měření včetně datalogeru



Obrázek 36 Zatěžovací diagram s principem určení lomové energie [33]



### 3.9. Pojíždění kolem

Zkouška pojíždění kolem je definována normou ČSN EN 12697-22+A<sup>1</sup>. Jedná se o zkoušení odolnosti vůči opakovanému pojezdu zatíženého kola při stále teplotě. Celá zkouška proběhla v automatickém zařízení, ze kterého se zaznamenávali data do PC. Pro směs ACO 11 S byla zvolena teplota 60 °C<sup>9</sup> a tloušťka desek byla 40 mm. Směs ACL 16 + byla testována při teplotě 50 °C a tloušťka desek byla 60 mm. [34]

#### 3.9.1. Laboratorní pomůcky

Pro zkoušku pojíždění kolem byly použity tyto pomůcky:

- Automatické měřicí zařízení
- PC se záznamem dat
- Upínací rámy desek
- Imbus, kladívko, šroubovák
- Proužek igelitu

#### 3.9.2. Postup zkoušky

U vyrobených desek bylo nutné před zkouškou řádně změřit průměrnou tloušťku a určit objemovou hmotnost SSD, kvůli míře zhutnění. Následně se vždy pár desek vložil do upínacího rámu a rám se vložil do automatického měřicího zařízení. Po vložení rámu se deskami do zařízení se na desky v ose jízdního kola položil proužek igelitu a připevnil magnetky. Poté se spustila teplota na požadovanou teplotu. Po vytemperování před spuštěním zkoušky se kola zatížila závažím, a poté se spustila zkouška. Automatické zařízení zaznamenávalo průběžně výsledky a jako výstup byly připravené hodnoty:

$d_{5\ 000}$                       hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech v mm

$d_{10\ 000}$                      hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech v mm

$PRD_{AIR}$                       poměrná hloubka vyjeté koleje v %

$WTS_{AIR}$                       přírůstek hloubky vyjeté koleje v mm/1000 cyklů

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\ 000} - d_{5\ 000}}{5} \quad PRD_{AIR} = \frac{d_{10\ 000}}{t_{desky}} * 100\% \quad (3.15) \quad (3.16)$$

kde je:

$t_{desky}$                       průměr tloušťky desek v mm

<sup>9</sup> Směs ACO 11 S byla nezávisle na zkouškách této diplomové práce testována v silniční laboratoři firmy EUROVIA a zkoušku pojíždění kolem prováděli při 40 °C.



Obrázek 37 Desky v měřícím zařízení po 10 000 cyklech



Obrázek 38 Vyjeté desky směsi ACO 11 S FORTA



## 4. Vyhodnocení zkoušek

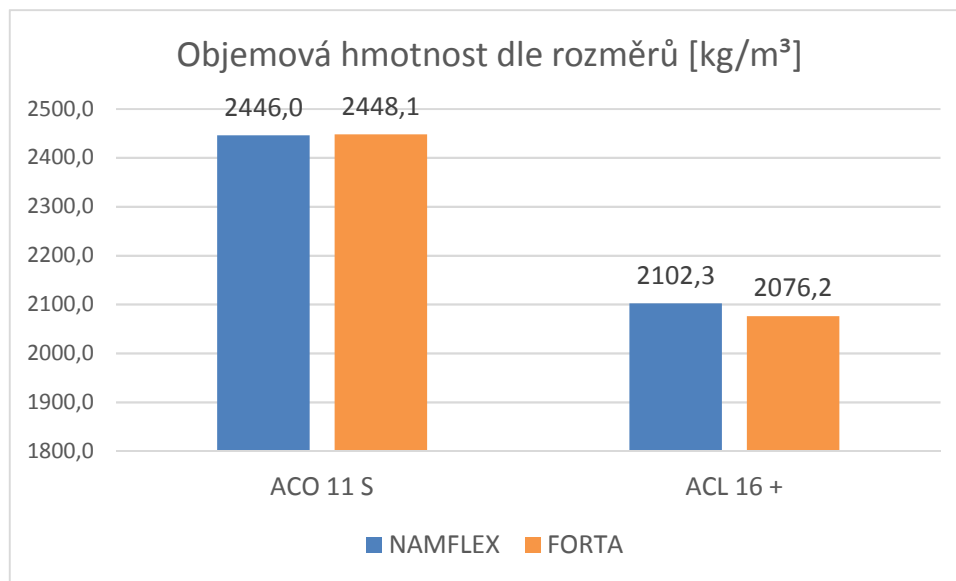
Vyhodnocení laboratorních zkoušek z obou směsí bude vždy shrnuto do jedné kapitoly, ve které budou posuzovány směsi s vlákny mezi sebou a dále směsi s vlákny vůči referenčním směsím.

Všechny tabulky, do kterých se zaznamenávaly rozměry a jednotlivá měření, budou v přílohách. Zde budou uvedeny pouze výstupní hodnoty, pro které jsou zkoušky určeny.

### 4.1. Objemová hmotnost, mezerovitost

#### 4.1.1. Tělesa hutněné 2x25

U těles hutněných 2x25 údery se vyhodnocovala objemová hmotnost dle rozměrů. Výsledná průměrná objemová hmotnost dle rozměrů vyšla takto:



Graf 1 Objemová hmotnost dle rozměrů těles s vlákny hutněných 2x25

U směsi ACO 11 S vyšla o malinko lépe FORTA, kdežto u směsi ACL 16 + vyšel lépe NAMFLEX. Rozdíly jsou minimální a nelze říci, že by se některá směs hutnila lépe.

Směs	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
ACO 11 S	2471,4
ACL 16 +	2100,9
ACO 11 S PMB	2454,7

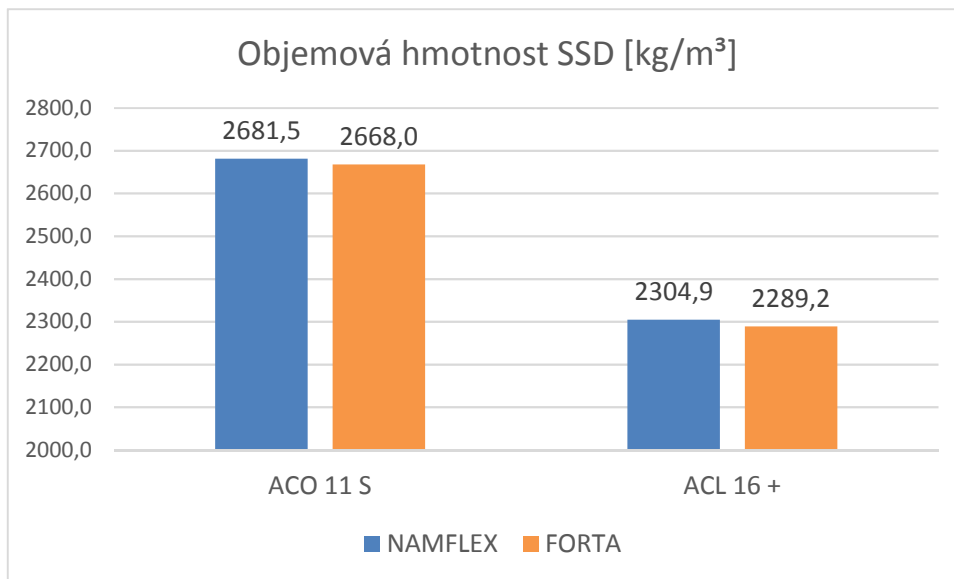
Tabulka 11 Objemová hmotnost dle rozměrů těles referenčních směsí a PMB hutněných 2x25



Tělesa s vlákny se v porovnání s referenčními směsi liší nepatrně, respektive u směsi ACO 11 S to je o přibližně 23 kg/m<sup>3</sup> méně a u ACL vyšel o 2 kg/m<sup>3</sup> více NAMFLEX a o 24 kg/m<sup>3</sup> méně FORTA. U modifikovaného pojiva je rozdíl také minimální. V objemové hmotnosti dle rozměrů vlákna neovlivňují zhutnění.

#### 4.1.2. Tělesa hutněné 2x75/50

Pro tělesa hutněná 2x75/50 údery se určila objemová hmotnost SSD a mezerovitost, pro určení mezerovitosti bylo nutné nejprve určit maximální objemovou hmotnost. Výsledky zkoušek vyšly následovně:



Graf 2 Objemová hmotnost SSD těles s vlákny hutněných 2x75/50

Tělesa s vlákny se opět mezi sebou liší nepatrně. Při porovnání s následující Tabulkou 12, vlákna vychází opět s nepatrně nižší objemovou hmotností a potvrzuje se závěr, že vlákna neovlivňují zhutnění směsi.

Směs	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximální objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost [%]
ACO 11 S	2695,4	2757,6	2,3 %
ACL 16 +	2320,5	2560,2	9,4 %
ACO 11 S PMB	2687,6	2780,7	3,3 %

Tabulka 12 Objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost a mezerovitost referenčních směsí a PMB hutněných 2x75/50





Směs	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximální objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost [%]
ACO 11 S NAMFLEX	2681,5	2748,5	2,4 %
ACO 11 S FORTA	2668,0	2733,2	2,4 %
ACL 16 + NAMFLEX	2304,9	2568,0	10,2 %
ACL 16 + FORTA	2289,2	2549,5	10,2 %

**Tabulka 13** Objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost a mezerovitost směsí s vlákny hutněných 2x75/50

Jak je vidět z Tabulky 13, rozdíly v mezerovitosti těles s vlákny jsou minimální a po desetinném zaokrouhlení se ztratí. Rozdíl mezi referenčními směsí (Tabulka 12) a směsí s vlákny (Tabulka 13) je taky minimální. U ACO je to 0,1 % a u ACL 0,8 %, což už je změna, ale pro směs ložné vrstvy to není nijak zásadní změna. Naopak vzrůst mezerovitosti u směsi s modifikovaným pojivem byl 1 %. To je způsobené vyšší, respektive nejvyšší, naměřenou hodnotou maximální objemové hmotnosti, kdežto objemová hmotnost se od průměru téměř neliší. Lze tedy konstatovat, že ani zde k zásadnímu ovlivnění nedošlo.

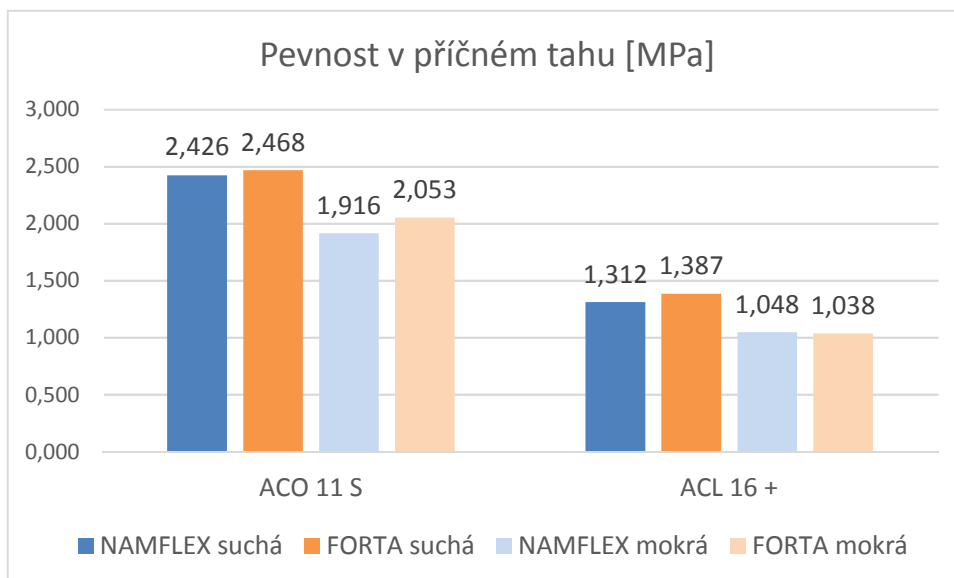


## 4.2. Odolnost proti vodě ITSR

Výsledky odolnosti proti vodě budou posuzovány ze dvou hledisek, a to jak z hlediska pevnosti v příčném tahu (suchých a mokrých těles), tak z hlediska poměru, respektive změny těchto hodnot.

### 4.2.1. Pevnost v příčném tahu

V následujícím Grafu 3 je vidět chování vláken ve směsích. Kde u směsi ACO 11 S vyšší pevnost vykazala směs s vlákny FORTA, a to jak u těles suchých, tak i u skupiny, která byla pod vodou. Kdežto u směsi ACL 16 + se u skupiny suchých těles projevila o něco lépe vlákna FORTA, ale u skupiny mokrých vyšly lépe vlákna NAMFLEX. To se velmi projeví následně v hodnotě ITSR.



Graf 3 Graf pevností v příčném tahu směsí s vlákny

Při porovnání s následující Tabulkou 14 lze vidět, že vlákna u směsi ACO zvedla pevnost v příčném tahu oproti referenční směsi, ale pokles u skupiny mokrých byl naopak razantnější. Kdežto u směsi ACL se pevnost u suchých těles liší jen částečně a ovlivnění skupiny mokrých je výrazně menší oproti směsi ACO. Směs s modifikovaným pojivem vyšla u skupiny suchých lépe vůči referenční směsi, ale u skupiny mokrých zde bylo také výrazné snížení.

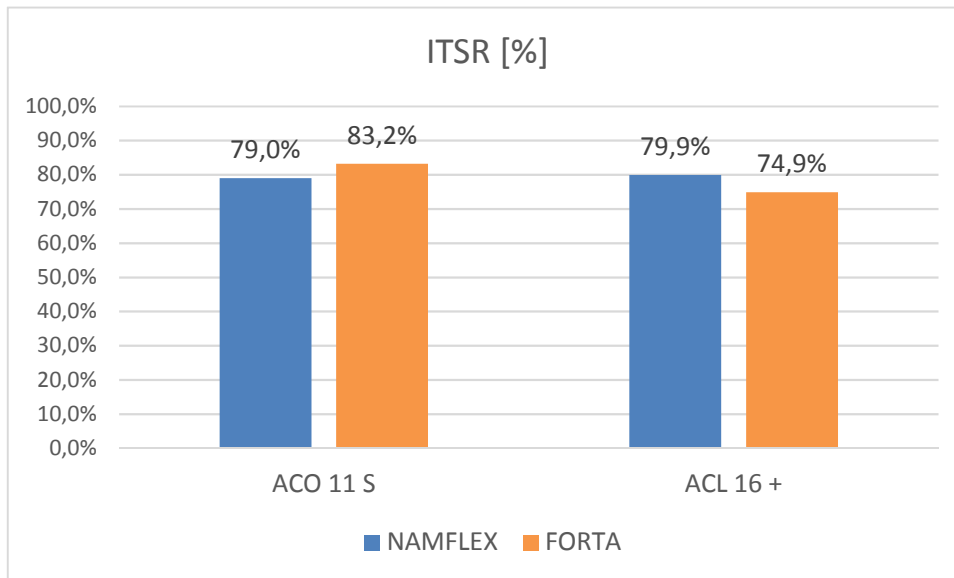
Směs	Pevnost v příčném tahu suchá [MPa]	Pevnost v příčném tahu mokrá [MPa]
ACO 11 S	2,387	2,324
ACL 16+	1,406	1,122
ACO 11 S PMB	2,480	2,127

Tabulka 14 Pevnost v příčném tahu referenčních vzorků a PMB



### 4.2.2. ITSR

Z hlediska ITSR si u směsi ACO 11 S vedly lépe vlákna FORTA a u směsi ACL 16 + tomu bylo naopak. U směsi ACL je vidět, že pokles byl o dost větší (o 25 %) než v opačném případě u vláken NAMFLEX u ACO (o 21 %). To je také ale ovlivněno vyšší pevností v příčném tahu skupiny suchých vzorků.



Graf 4 Hodnoty ITSR směsí s vlákny

Referenční směs ACO 11 S v hledisku ITSR vyšla jako bezkonkurenčně nejlepší. U ACL 16 + se výsledný poměr ITSR rovná poměru pevností vláken NAMFLEX.

Směs	ITSR [%]
ACO 11 S	97,4 %
ACL 16+	79,8 %
ACO 11 S PMB	85,7 %

Tabulka 15 Hodnoty ITSR referenčních směsí a PMB

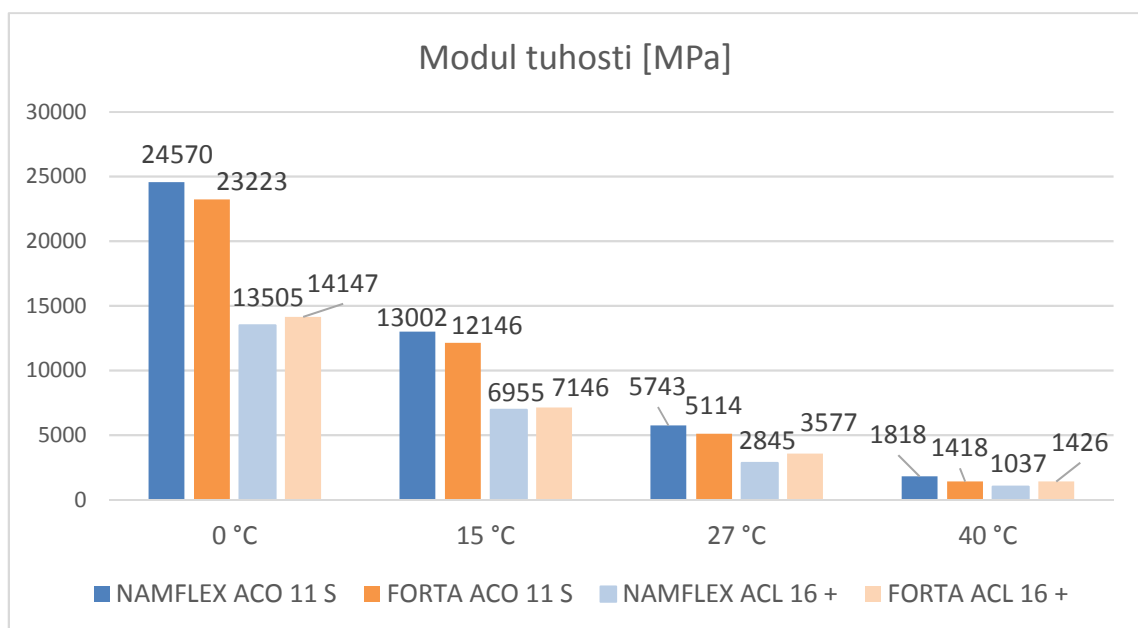
Z výše uvedených výsledků lze říci:

- Vlákna pozitivně ovlivňují pevnost v tahu.
- Vlákna fungují jako vodič vlhkosti do zkušebních těles.
- Z hlediska odolnosti proti vodě nelze určit nějaké vlákno výrazně lepší či horší.



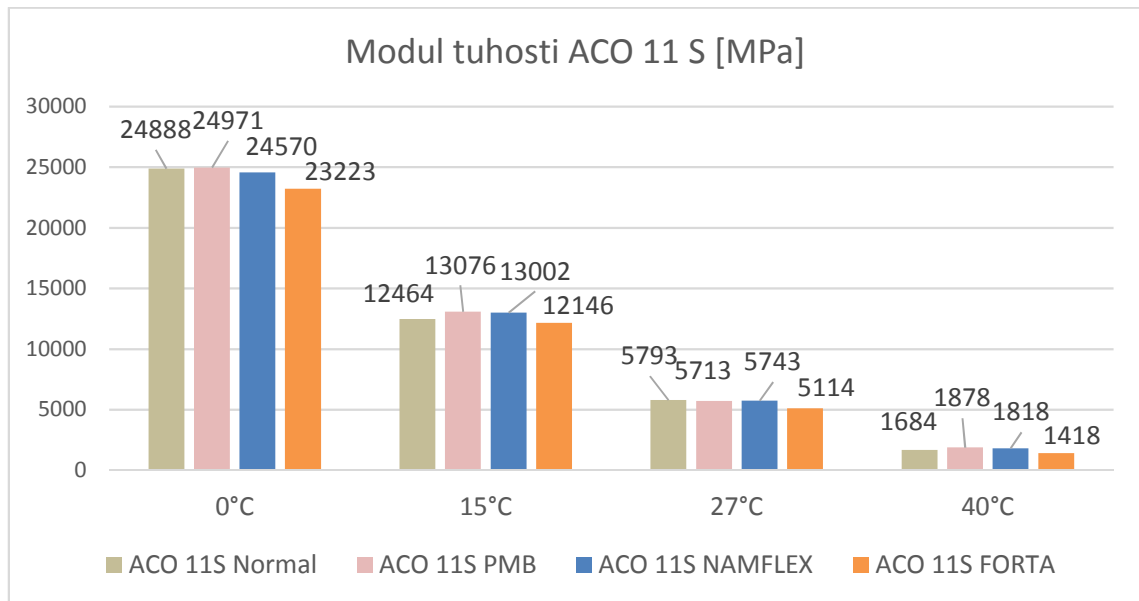
### 4.3. Modul tuhosti

Moduly tuhosti u směsí s vlákny se při teplotě 0 a 15 °C chovaly doslova zrcadlově u směsí ACO a ACL. Respektive ve směsi ACO 11 S vyšel NAMFLEX vždy lépe o přibližně o 6–7 %, kdežto u směsi ACL vyšla při těchto teplotách vždy lépe o nějakých 3–5 % lépe FORTA. Při teplotách 27 a 40 °C tento trend pokračuje nicméně procentuální rozdíly jsou razantnější. Ve směsi ACO si NAMFLEX vede lépe o 12 % při teplotě 27 °C a o 28 % lépe při teplotě 40 °C. Ve směsi ACL při teplotě 27 °C byla FORTA lepší o 26 % a při teplotě 40 °C dokonce o 38 %. Paradoxně v absolutní hodnotě modulu tuhosti se směs ACL 16 + s vlákny FORTA dostala na o trochu lepší nebo minimálně stejnou hodnotu jako směs ACO 11 S s vlákny FORTA.



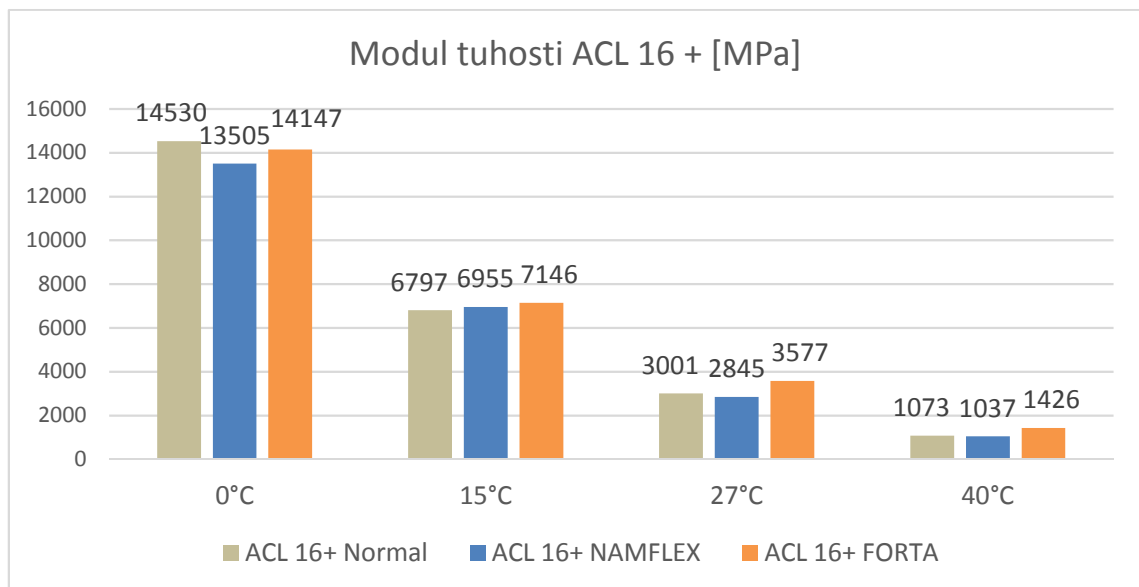
Graf 5 Moduly tuhosti směsí s vlákny

Domnívám se, že tento jev je způsoben tím, že ACL 16 + obsahuje jednak větší zrna a také má větší mezerovitost. To znamená, že při vyšší teplotě asfaltové pojivo měkne a napětí přebírají vlákna. To se více projeví u směsi s větší mezerovitostí. Myslím, že příčina toho, že FORTA vyšla o tolik lépe u ACL než NAMFLEX, může být způsobeno délkou vláken. Respektive vlákna FORTA mají zde délku 19 mm a NAMFLEX 12 mm. Pro představu je zde možný scénář, že u směsi, kde je zrno o velikosti 16 mm, a potká se s vláknem délky 12 mm, vlákno ho není schopné celé obklopit.



**Graf 6** Moduly tuhosti směsi ACO 11 S

Referenční směs zde označena jako ACO 11 S Normal byla sama o sobě extrémně tuhá. Nelze říci, zda-li je žádoucí modul tuhosti u obrusné vrstvy, který je sám o sobě 25 000 MPa dobré nějak zvětšovat a samotné zvětšení považovat za přínos například z hlediska životnosti. Nicméně rozdíly v jednotlivých variantách směsi jsou ve všech teplotách velmi minimální a lze říci, že přidáním vláken se modul tuhosti nezhoršil.



**Graf 7** Moduly tuhosti směsi ACL 16 +

U směsi ACL 16 + se výjimkou teploty 0 °C projevila vždy o něco lépe vlákna FORTA oproti ostatním směsím. Při teplotě 27 °C bylo zlepšení o 19 % vůči referenční směsi a při teplotě 40 °C již o 33 %. Vlákna NAMFLEX se až na teploty 0 °C liší nepatrně a směs zde nijak více neovlivnila.



Teplotní citlivost $\tau$			
	NAMFLEX	FORTA	Referenční směs
ACO 11 S	13,5	16,4	14,8
ACL 16 +	13,0	9,9	13,5

Tabulka 16 Teplotní citlivost

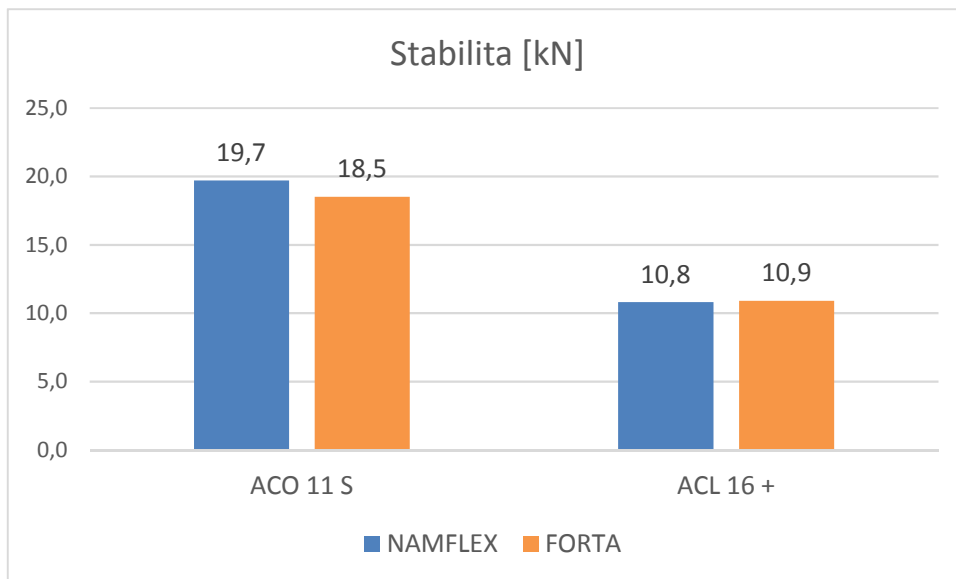
Nejstabilněji se chová směs s vlákny NAMFLEX, kde v obou případech došlo ke změně modulu tuhosti mezi teploty 0 a 40 °C přibližně 13x. Naopak FORTA měla pro každou směs velmi jiný výsledek a ten nelze zprůměrovat. U referenční směsi se modul tuhosti měnil přibližně 14x, což je podobné výsledku směsi s vlákny NAMFLEX a lze říci, že vlákna NAMFLEX pozitivně ovlivnily teplotní citlivost.

Z výše uvedených výsledku lze říci:

- Vlákna neovlivňují negativně modul tuhosti.
- Při teplotách, kdy měkne asfaltové pojivo vlákna začnou být efektivnější a přebírají napětí.
- Přidáním vláken FORTA se u směsi ACL 16 + znatelně zvýšil modul tuhosti při vyšších teplotách.
- Přidáním vláken NAMFLEX se v obou případech pozitivně ovlivnila teplotní citlivost.

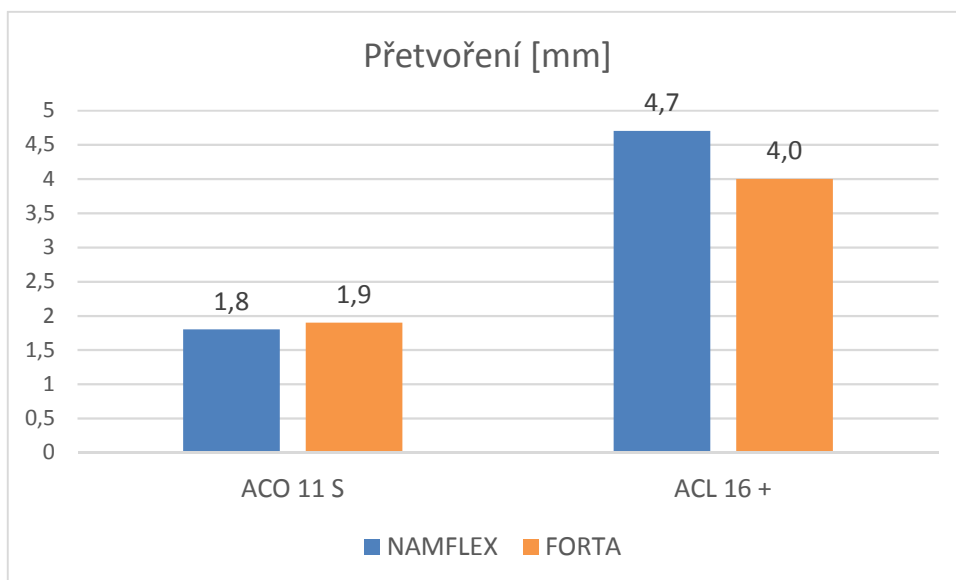


#### 4.4. Marshallova zkouška



Graf 8 Stabilita těles s vlákny

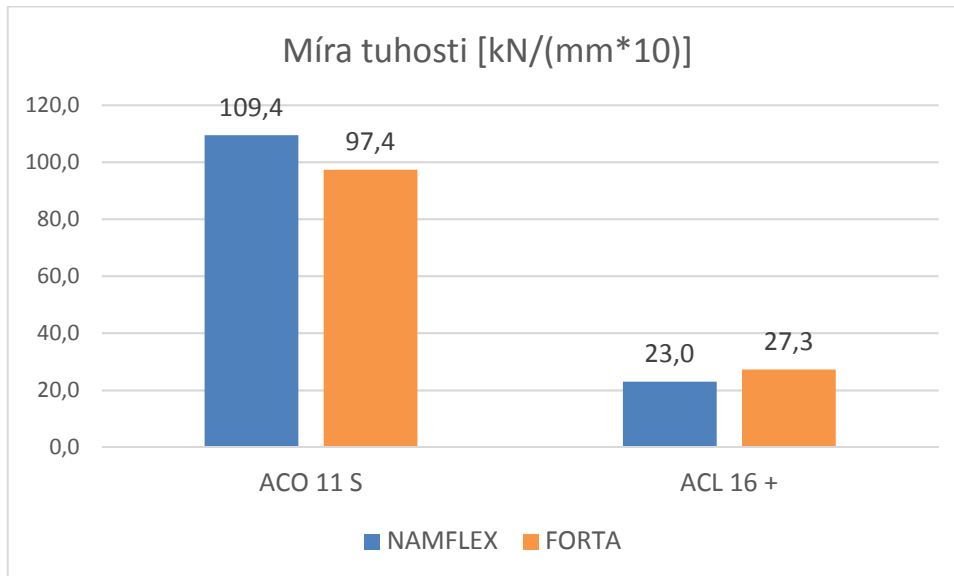
Ve směsi ACO 11 S vykázaly vyšší hodnoty stability vlákna NAMFLEX (o 6 % vůči vláknům FORTA), přetvoření vyšlo v tomto případě stejné u obou vláken. Ve směsi ACL 16 + v kritériu stability na tom byla obě vlákna stejně, ale naopak průměrné přetvoření vláken bylo u vláken NAMFLEX znatelně vyšší. Tento „trend“ bude razantněji ovlivňovat výsledky zkoušky odolnosti vůči šíření trhliny.



Graf 9 Přetvoření těles s vlákny



Následující Graf 10 ukazuje závislost stability a přetvoření vyjádřenou jako míra tuhosti, u směsi ACO 11 S vyšel tužší NAMFLEX (o 12 % oproti vláknům FORTA) a u směsi ACL 16 + FORTA (o 18 % oproti vláknům NAMFLEX).



Graf 10 Míra tuhosti těles s vlákny

Ve srovnání referenční směsi ACO 11 S se směsí s vlákny byl přínos vláken z hlediska stability lehce negativní. Obráceně tomu bylo u směsi ACL 16 +, kde naopak směsi s vlákny vykazovaly lehce vyšší stabilitu. Z hlediska přetvoření byly rozdíly nepatrné, jediný rozdíl nastal u směsi ACL v porovnání s vlákny FORTA, kdy vlákna FORTA znatelně snížila přetvoření. To ovlivnilo velmi míru tuhosti směsi a v absolutní hodnotě vyšla u směsi ACL nejlépe míra tuhosti u vláken FORTA. Vlákna NAMFLEX zde taky pozitivně ovlivnila míru tuhosti oproti referenční směsi. U podkladní vrstvy je zvýšení tuhosti žádoucí, nelze tomu tak říci u vrstvy obrusné. Tam naopak vlákna míru tuhosti snižovala a lze se domnívat, že v návrhovém období vozovky by to pozitivně ovlivnilo životnost. Polymery modifikované pojivo vyšlo u ACO jednoznačně s nejlepší stabilitou.

Směs	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]	Míra tuhosti [kN/(mm*10)]
ACO 11 S	21,7	1,6	135,6
ACL 16 +	10,3	4,7	21,9
ACO 11 S PMB	22,8	1,8	126,7

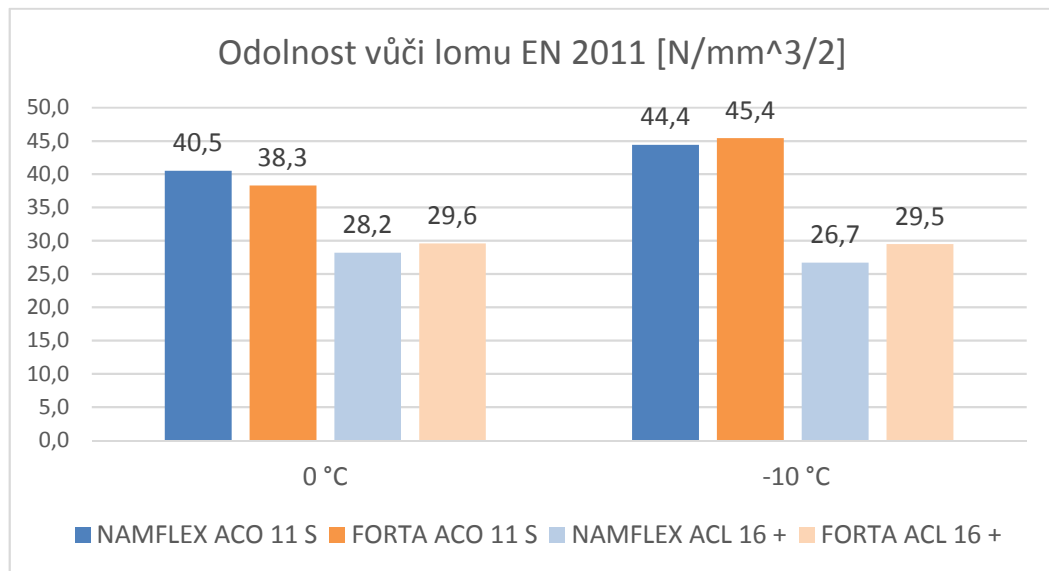
Tabulka 17 Výsledky Marshallovy zkoušky pro referenční směsi a PMB





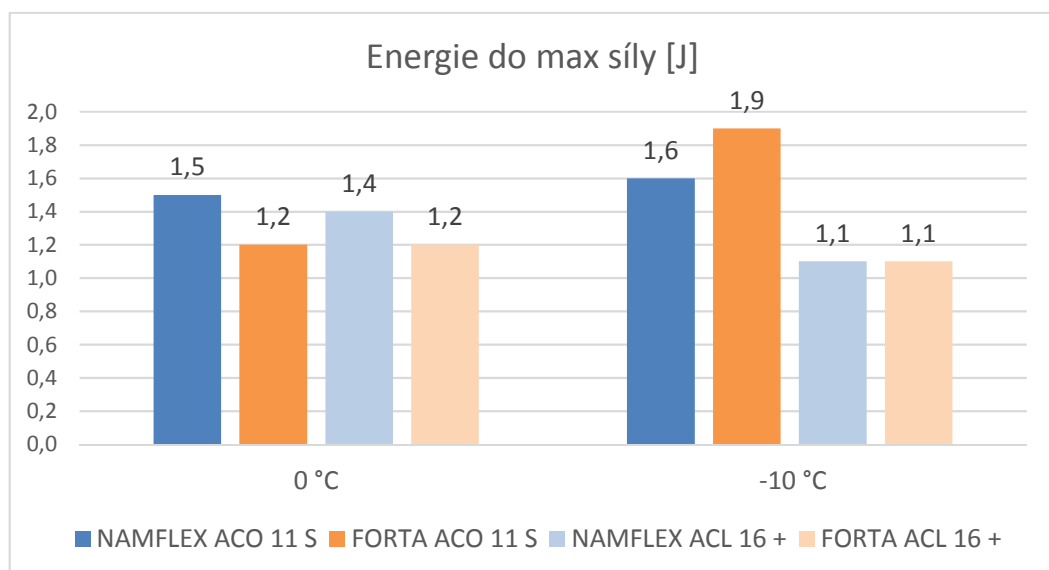
## 4.5. Odolnost proti šíření trhlin

Odolnost proti šíření trhliny zde bude posouzena z hlediska 3 veličin, a to normou stanovenou veličinou odolnosti vůči lomu, energií potřebnou k dosažení maximální síly a dále celkovou potřebnou energií k úplnému prokopírování trhliny. Energie byla vypočtena jako plocha pod grafem průběhu zatěžování viz Obrázek 36, některé grafy z průběhu zatěžování zde budou pro názornost uvedeny.



Graf 11 Odolnost vůči lomu těles s vlákny

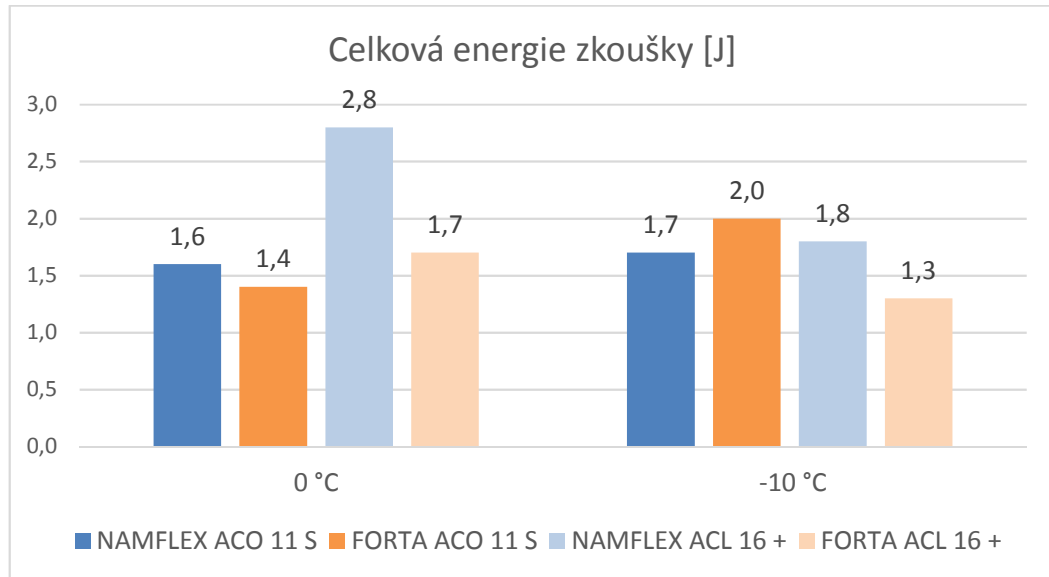
Z hlediska odolnosti vůči lomu při porovnání směsí s vlákny si ve 3 ze 4 případů vedla vždy o něco málo lépe tělesa s vlákny NAMFLEX. To se dá interpretovat tak, že u těles s vlákny FORTA bylo dosaženo většího napětí. Nicméně průběh deformace, respektive protažení při této maximální síle či napětí v této veličině, není obsaženo.



Graf 12 Energie zkoušky k dosažení maximálního napětí u těles s vlákny



Z Grafu 12 vyplývá, že při teplotě 0 °C bylo nutné vynaložit více energie k dosažení maximální síly u těles s vlákny NAMFLEX, respektive její lomová houževnatost byla při této teplotě o něco lepší. Pro teplotu -10 °C vyšla u směsi ACO o něco lépe FORTA a ve směsi ACL to při této teplotě bylo stejné u obou vláken.



Graf 13 Celková energie k úplnému prokopírování trhliny u těles s vlákny

Celková energie znázorňuje potřebnou energii k úplnému rozlomení vzorku. U všech směsí ACO je tato energie téměř beze změny oproti energii potřebné k dosažení maximální síly. Změna je pouze o 0,1 - 0,2 J, tento jev je způsobený extrémní tuhostí směsi ACO 11 S jako takové a většina porušení byla takzvaným křehkým lomem. To bude zřetelné z následujících grafů, kde doslova chybí odtěžovací větve.

Srovnání celkové energie u směsi ACO mezi směsí s vlákny je tedy totožné jako srovnání energie do maximální síly. U směsi ACL je markantní rozdíl mezi tělesy s vlákny. K úplnému prokopírování trhliny u těles s vlákny NAMFLEX bylo potřeba znatelně více energie než u vzorků s vlákny FORTA. Při 0 °C to bylo o 65 % více energie a při -10 °C to bylo o 38 % a více energie. Předpokládám, že tento efekt je zapříčiněný vlastností vláken NAMFLEX se plasticky přetvářet.

Směs	Při 0 °C			Při -10 °C		
	Kritická hodnota EN 2011 [N/mm <sup>3/2</sup> ]	Energie do max síly [J]	Celková energie zkoušky [J]	Kritická hodnota EN 2011 [N/mm <sup>3/2</sup> ]	Energie do max síly [J]	Celková energie zkoušky [J]
ACO 11 S	43,8	2,3	2,6	42,3	1,6	1,9
ACO 11 S PMB	45,4	1,9	2,0	42,3	1,5	1,7
ACO 11 S NAMFLEX	40,5	1,5	1,6	44,4	1,6	1,7
ACO 11 S FORTA	38,3	1,2	1,4	45,4	1,9	2,0

Tabulka 18 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhlin u směsi ACO 11 S



Z Tabulky 18 je patrné, že při 0 °C vyšla s ohledem na všechny kritéria jednoznačně nejlépe směs referenční ACO 11 S. Směsi s vlákny při 0 °C vykazovaly výrazně horší výsledky. Jak již bylo řečeno výše směs ACO díky své velmi vysoké tuhosti praskala křehkým lomem a vlákna zde očividně dle kritéria použité práce (energie) tento lom ještě urychlila.

Jinak tomu bylo při -10 °C, kde asfaltové pojivo již ztrácí na své síle a vlákna se zde začínají chovat doslova jako výztuž. Chování vláken v asfaltu při této teplotě se dá přirovnat k ocelové výztuži v betonu. Směsi s vlákny zde vyšly značně lépe, a to ve všech veličinách. Při teplotě -10 °C lze tedy komentovat vliv vláken i ve velmi tuhé směsi ACO 11 S jako kladný.

Směs	Při 0 °C			Při -10 °C		
	Kritická hodnota EN 2011 [N/mm <sup>3/2</sup> ]	Energie do max síly [J]	Celková energie zkoušky [J]	Kritická hodnota EN 2011 [N/mm <sup>3/2</sup> ]	Energie do max síly [J]	Celková energie zkoušky [J]
ACL 16 +	29,6	1,3	1,7	31,1	1,1	1,3
ACL 16 + FORTA	29,6	1,2	1,7	29,5	1,1	1,3
ACL 16 + NAMFLEX	28,2	1,4	2,8	26,7	1,1	1,8

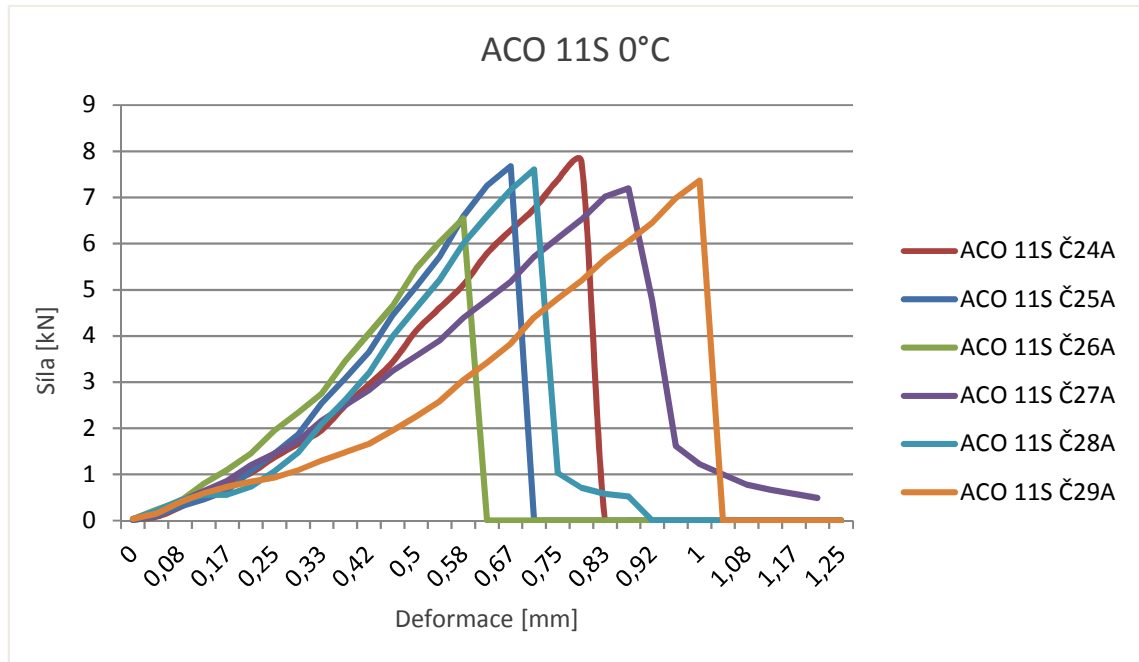
Tabulka 19 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhlin u směsi ACL 16 +

U směsi ACL 16 + při teplotě 0 °C neproběhla žádná změna mezi referenční směsí a směsí s vlákny. Jediný výrazný rozdíl nastal u těles s vlákny NAMFLEX, kde k úplné propagaci trhliny bylo potřeba výrazně více energie.

Při teplotě -10 °C nastalo lehké snížení hodnoty odolnosti vůči lomu u těles s vlákny oproti referenční směsi. Tělesa s vlákny FORTA dosahovala téměř totožných výsledků jako referenční směs. Zajímavé je, že tělesa s vlákny NAMFLEX zde měla výrazně nižší hodnotu maximálního napětí, ale oproti dvěma výše zmíněným směsím měla tělesa NAMFLEX výrazně vyšší deformace. To se nakonec projevilo tak, že energie do maximální síly se srovnala a pro všechny tři varianty směsi vyšla totožná a celková energie nutná k úplné propagaci trhliny byla u těles NAMFLEX opět výrazně vyšší.

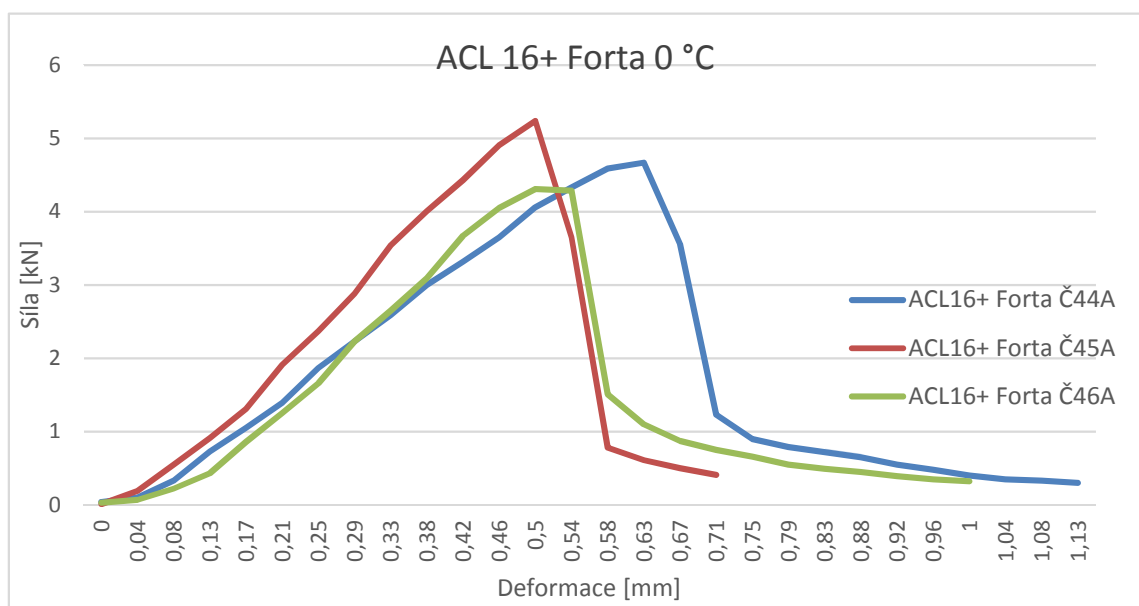


Následující Graf 14 je typický graf (průběh zatěžování) pro všechny varianty směsi ACO 11 S při všech teplotách. Porušení křehkým lomem je z grafu patrné, odtěžovací větve, a to pouze částečná, je vidět u těles Č27A a Č28A a v porovnání se všemi ostatními tělesy ACO 11 S jsou tyto odtěžovací větve spíše výjimka.

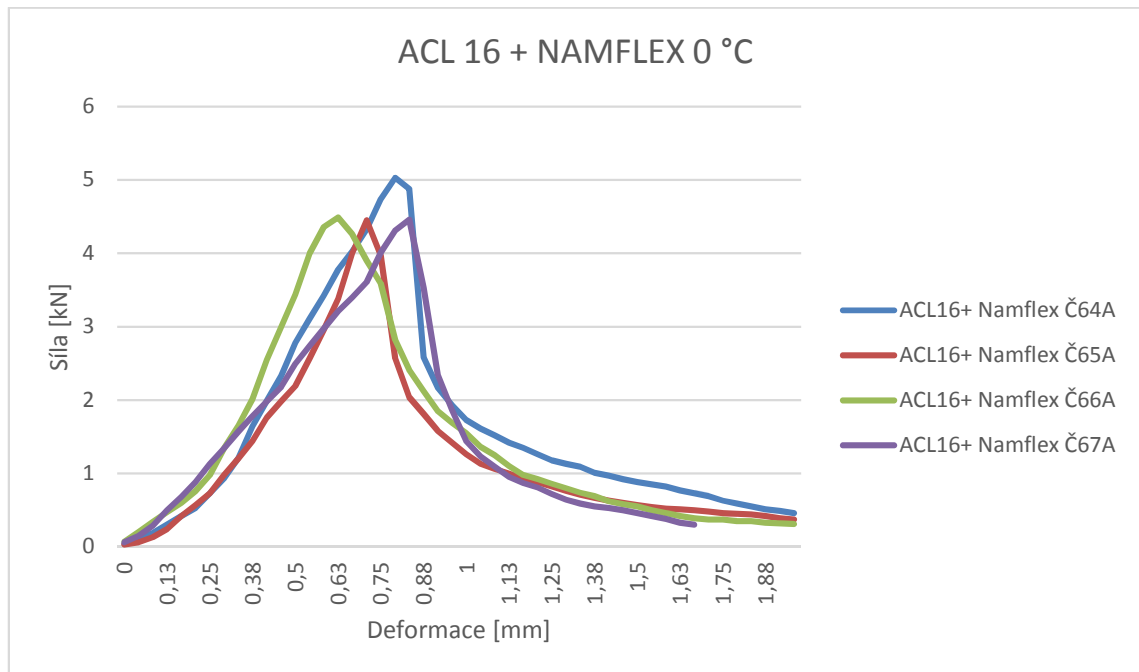


Graf 14 Průběh zatěžování těles referenční směsi ACO 11 S při teplotě 0 °C

Rozdíl mezi Grafem 14 a 15 je patrný. U grafu 15 krom nižšího napětí a nižších deformací je vidět odtěžovací větve.

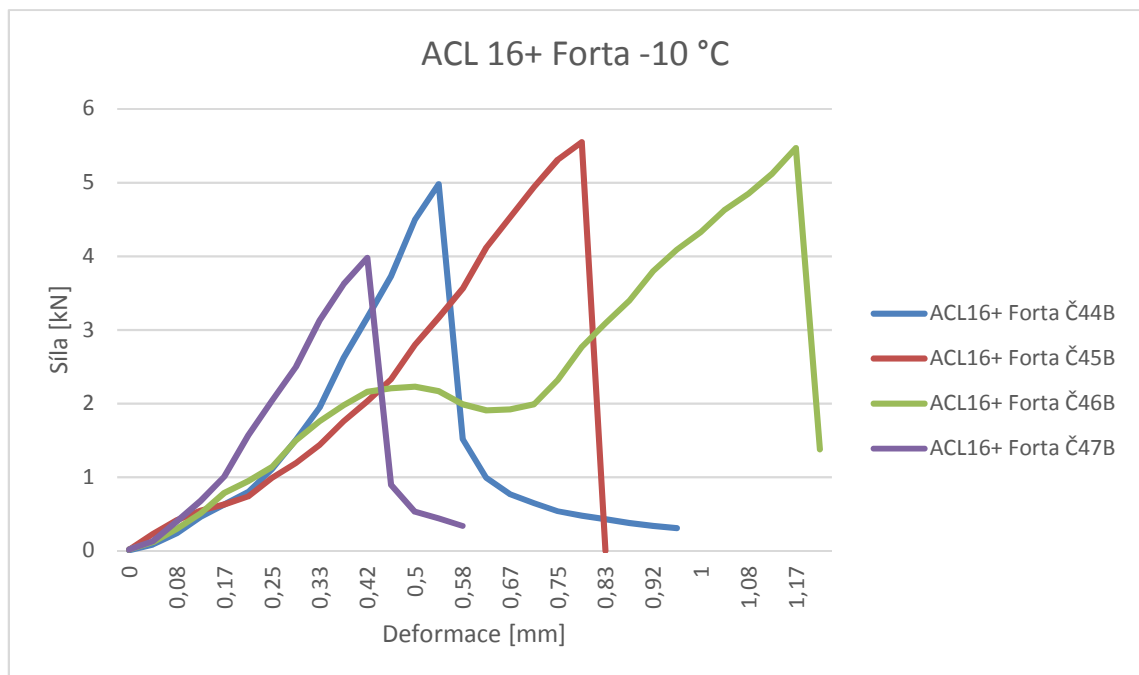


Graf 15 Průběh zatěžování směsi ACL 16 + FORTA při teplotě 0 °C



**Graf 16 Průběh zatěžování směsi ACL 16 + NAMFLEX při teplotě 0 °C**

Při srovnání Grafu 15 a 16 je zřejmé že deformace získané na tělesech s vlákny NAMFLEX byly výrazně vyšší. To se projevilo ve výše uvedených energiích zkoušky. Všechny grafy, které byly použity pro vyhodnocení zkoušky budou uvedeny v přílohách, a to včetně těles, které byly z různých důvodu vyřazeny jako například těleso Č46B v Grafu 17.



**Graf 17 Průběh zatěžování směsi ACL 16 + FORTA při teplotě -10 °C**



## 4.6. Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací

### 4.6.1. Objemová hmotnost, míra zhutnění desek

Pro desky směsi ACL tloušťky 40 mm, které se následně nechaly pojíždět při 60 °C vyšly míry zhutnění následovně:

ACO 11 S		
Deska	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Míra zhutnění [%]
Ref A	2652,0	98,4 %
Ref B	2612,9	96,9 %
NamA	2652,5	98,9 %
NamB	2642,1	98,5 %
ForA	2614,6	98,0 %
ForB	2629,3	98,5 %
PmbA	2579,5	96,0 %
PmbB	2582,9	96,1 %

Tabulka 20 Objemová hmotnost a míra zhutnění desek směsi ACO 11 S

Všechny desky směsi ACO 11 S vyšly lehce nezhutněné. Nejhůře zhutněné byly desky asfaltové směsi s modifikovaným pojivem, které dopadly ve zkoušce nejlépe. Lze tedy konstatovat, že mírné nezhutnění nemělo výrazný vliv na průběh zkoušky, případná odchylka vzhledem k míře zhutnění byla pro všechny desky stejná.

ACL 16 +		
Deska	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Míra zhutnění [%]
Ref A	2335,9	100,7 %
Ref B	2344,2	101,0 %
ForA	2307,2	100,8 %
ForB	2308,0	100,8 %
NamA	2329,6	101,1 %
NamB	2334,6	101,3 %

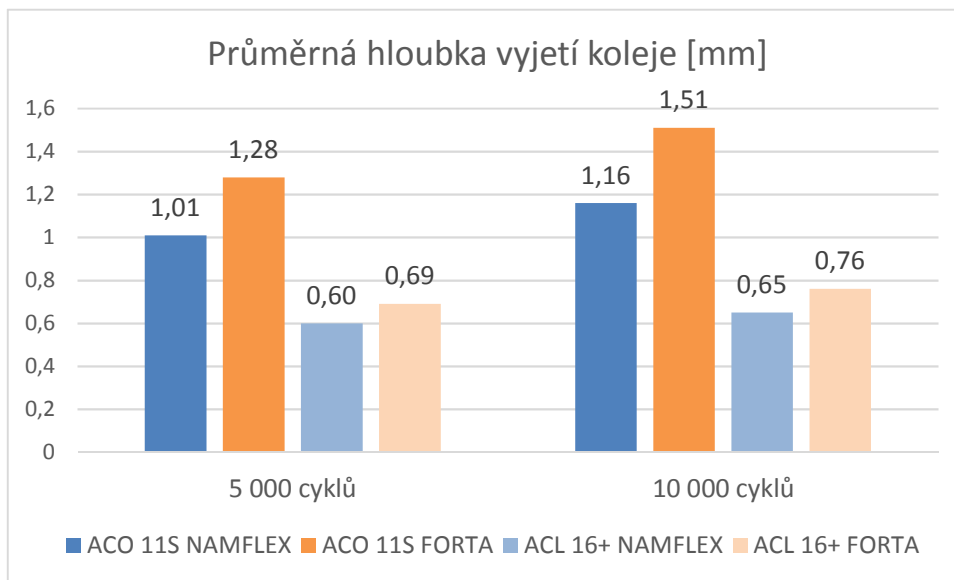
Tabulka 21 Objemová hmotnost a míra zhutnění desek směsi ACL 16 +



Míra zhutnění desek, které byly tloušťky 60 mm a následně se nechaly vyjždět při 50 °C, ACL 16 + vyšla téměř přesně 100 %. Zhutnění desek ACL 16 + lze považovat za velmi přesné.

#### 4.6.2. Hloubka vyjetí kolem

V následujícím Grafu 18 je patrné, že při srovnání hloubky vyjetí koleje v obou směsích si výrazně lépe vede směs s vlákny NAMFLEX. U směsi ACO byl rozdíl po 5000 cyklech o 26 % a po 10 000 cyklech již o 30 %. Z toho plyne, že přírůstek vyjeté koleje se s cykly více zvětšoval u vláken FORTA. U směsi ACL rozdíl v hloubce vyjeté koleje mezi směsí není tak výrazný, ale i zde vyšla lépe směs s vlákny NAMFLEX. Rozdíl mezi přírůstky je zde minimální.



Graf 18 Hloubka vyjetí kolem pro směsi s vlákny

V následující Tabulce 22 jde vidět, že všechny úpravy jako modifikace nebo přidání vláken přinesly velmi příznivé účinky. Rozdíl mezi hloubkou koleje po 10 000 cyklech mezi vlákny NAMFLEX a referenční směsí je v absolutní hodnotě 0,53 mm a poměrově si vlákna NAMFLEX vedla lépe o 46 %.

směs	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech [mm]	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech [mm]	d 10 000 - d 5 000 [mm]	PRD <sub>AIR</sub> [%]	WTS <sub>AIR</sub> [mm]
ACO 11 S	1,36	1,69	0,33	4,1	0,066
ACO 11 S PMB	0,91	1,00	0,09	2,3	0,018
ACO 11 S NAMFLEX	1,01	1,16	0,15	2,7	0,030
ACO 11 S FORTA	1,28	1,51	0,23	3,6	0,046

Tabulka 22 Výsledky zkoušky vyjetí kolem pro směs ACO 11 S



V průměrném přírůstku na 1000 cyklů ( $WTS_{AIR}$ ) si směsi s vlákny vedou velmi dobře oproti referenční směsi, nejlepší hodnotu vykazuje směs s modifikovaným pojivem. Poměrná hloubka koleje ( $PRD_{AIR}$ ) vyšla nejlépe u vláken NAMFLEX a PMB. Vlákna FORTA dosáhla o něco lepších výsledků než referenční směs, ale výrazně horších než NAMFLEX a PMB.

směs	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech [mm]	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech [mm]	d 10 000 - d 5 000 [mm]	$PRD_{AIR}$ [%]	$WTS_{AIR}$ [mm]
ACL 16+	0,50	0,57	0,07	0,9	0,014
ACL 16+ FORTA	0,69	0,76	0,07	1,2	0,014
ACL 16+ NAMFLEX	0,60	0,65	0,05	1,1	0,010

Tabulka 23 Výsledky zkoušky vyjetí kolem pro směs ACL 16 +

U směsi ACL 16 + nejlépe v absolutní hodnotě hloubce vyjeté koleje vyšla referenční směs, nýbrž rozdíly v porovnání se směsi s vlákny jsou velmi malé. Největší nárůst hloubky koleje nastal po 5 000 cyklech, v dalších 5 000 cyklech byl již nárůst minimální a v tomto kritériu si vedla nejlépe směs s vlákny NAMFLEX. Směs s vlákny FORTA vyšla totožná se směsí referenční.

Z výše uvedených výsledků lze říci:

- Vlákna pozitivně ovlivňují vyjždění kolem.
- V obou případech vyšly lépe vlákna NAMFLEX před vlákny FORTA.
- U směsi ACO 11 S vlákna přinesla výrazné zlepšení všech sledovaných vlastností.
- U směsi ACL 16 + vlákna přinesla zlepšení v druhé polovině zatěžovacích cyklů.





## 4.7. Cena

I když testování ekonomických nákladů nebylo součástí laboratorního zkoušení, chtěl bych, aby zde bylo uvedeno aktuální cenové rozpětí všech testovaných směsí. Cenová úspora je kritérium, které zaštituje úplně všechny laboratorní zkoušky, a je to důvod, proč se vůbec vlákna vyrábějí.

### 4.7.1. Přehled cen

Cena balení na 1 t směsi			
Vlákna	Hmotnost [kg]	Cena bez DPH [Kč]	Cena s DPH [Kč]
NAMFLEX 12 mm	2,0	146,70	177,51
FORTA HMA 19 mm	0,5	210,00	254,10
Cena PMB		274,00	331,54

Tabulka 24 Přehled cen možných úprav na 1 t směsi

Cena 1 kg vláken Namflex se pohybuje na Německém trhu okolo 2,7 – 3,0 eur/kg. Pro ČR není stanovena. Uvažováno 2,85 eur/kg, kurz ke dni 7.5.2019 dle ČNB 1 eur = 25,737 Kč. Cena PMB vypočtena jako rozdíl ceny ACO 11 S 50/70 a ACO 11 S PMB 45/80-55 z ceníku Středočeských obaloven pro rok 2019. [35] [36] [37]

Cena za 1 tunu směsi				
Směs	Cena bez DPH [Kč]	Rozdíl [Kč]	Cena s DPH [Kč]	Rozdíl [Kč]
ACO 11 S 50/70	1873,00	-	2266,33	-
ACO 11 S PMB 45/80-55	2147,00	274,00	2597,87	331,54
ACO 11 S 50/70 FORTA HMA 19 mm	2083,00	210,00	2520,43	254,10
ACO 11 S 50/70 NAMFLEX 12 mm	2019,70	146,70	2443,84	177,51
ACL 16 + 50/70	1738,00	-	2102,98	-
ACL 16 + 50/70 FORTA HMA 19 mm	1948,00	210,00	2357,08	254,10
ACL 16 + 50/70 NAMFLEX 12 mm	1884,70	146,70	2280,49	177,51

Tabulka 25 Přehled cen za 1 tunu směsi



## 4.7.2. Modelová situace

Představme si, že investor si vybral směs ACO 11 S, se kterou tato práce pracuje. Je s ní ve všech vlastnostech spokojen, pouze ve výsledcích vyjetí kolem ne. Chce vědět jaký přínos mu může přinést použití vláken či modifikovaného pojiva ke zlepšení této vlastnosti. Investor je laik a zajímá ho pouze celková hloubka vyjetí po 10 000 cyklech. Investor je plátcem daně a směs bude nakupovat s DPH.

směs	Průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech [mm]	Cena s DPH [Kč]	Zlepšení hloubky [%]	Zvýšení ceny [%]
ACO 11 S	1,69	2266,33	-	-
ACO 11 S PMB	1,00	2597,87	40,8 %	14,6 %
ACO 11 S NAMFLEX	1,16	2443,84	31,4 %	7,8 %
ACO 11 S FORTA	1,51	2520,43	10,7 %	11,2 %

Tabulka 26 Vyhodnocení modelové situace

Využitím modifikovaného pojiva získá investor nejlepší výsledky, zlepšení o 40,8 %, ale za to zaplatí o 14,6 % více. Využije-li vlákna NAMFLEX dosáhne o 31,4 % lepších výsledků a zaplatí o 7,8 % více, u vláken FORTA vychází tento poměr zlepšení 10,7 % a zvýšení ceny o 11,2 %.

Tato situace je samozřejmě nereálná, pro posouzení vozovky je mnohem více kritérií a nikdy nemůže být jedna možnost hodnocena lépe dle jednoho kritéria. Vybrání zkoušky, kde zrovna vyšla lépe vlákna NAMFLEX oproti vláknům FORTA je čistě náhodná a nechci, aby to vypadalo, že tato práce vyzdvihuje jeden typ vláken oproti druhým na základě nějaké smyšlené situace. Naopak se zde hodily rozdílné výsledky jednotlivých směsí, jelikož ceny jsou samozřejmě reálné a přínos modifikovaného pojiva v provedených zkouškách je nesporný a ve většině zkoušek u směsi ACO vychází jako nejlepší možnost, ale taky ta nejdražší. To byla nastíněná myšlenka této modelové situace.



## Závěr

Přínos vláken jako vyztužení asfaltových směsí je nesporný, nicméně se tento přínos nedá zobecňovat a je nutné jej vždy posuzovat pro konkrétní směs. V této práci byly posuzovány dvě směsi, a to asfaltový beton pro obrusnou vrstvu v kvalitě S a asfaltový beton pro ložnou vrstvu v kvalitě plus. V každé této vrstvě bylo chování vláken velmi odlišné a systematizované závěry lze vyvozovat jen v určité míře.

Práce se zaměřovala na posuzování vláken mezi sebou a dále na jejich chování vůči referenční směsi. Laboratorní výsledky zkoušek je jedno hledisko a druhé je dosavadní praxe, ve které jak vyplývá z prvních dvou kapitol teoretické části, se vlákna projevují velmi kladně například z hlediska prokopírování trhlin ze starých podkladních vrstev do nově pokládaných krytových vrstev. Otázka tedy zní, zda jsou laboratorní zkoušky tento jev schopny vždy postihnout.

První skupinou zkoušek byly zkoušky volumetrické. Vlákna neovlivnila negativně zhutnění směsi. Po zhutnění vždy byla směs rozdělena na dvě sady těles, a to první sadu zhutněnou 2x75 údery u směsi ACO 11 S a 2x50 údery u směsi ACL 16 + a následně druhou sadu zhutněnou 2x25 údery stejně pro obě směsi.

Na tělesech druhé sady byla odzkoušena odolnost proti vodě ITSR. Kde u směsi ACO 11 S tělesa s vlákny měla vyšší vstupní hodnotu pevnosti v příčném tahu, nicméně pokles pevnosti u referenční směsi u vzorků po vyndání z vody byl minimální, kdežto u těles s vlákny byl značný. U směsi ACO 11 S byla vlákna vyhodnocena jako vodič vlhkosti do těles. U směsi ACL 16 +, která má o dost větší mezerovitost než směs předchozí, tento rozdíl v pevnosti v příčném tahu (jak suchých, tak mokrých těles) a i konečný poměr ITSR byl minimální mezi referenční směsí a směsí s vlákny.

Tělesa první sady byla podrobena měření modulu tuhosti IT-CY. Zde se směs ACO 11 S ukázala jako extrémně tuhá a s výjimkou teploty 40 °C vždy směs s vlákny dosahovala lehce nižších hodnot modulu tuhosti než směs referenční. U této směsi si ve všech teplotách vždy vedla o něco lépe vlákna Namflex. Nejlépe si však zde vedla tělesa s modifikovaným pojivem. U směsi ACL 16 + se projevila lépe vlákna Forta, ty



až na teploty 0 °C dosahovaly vždy lepších hodnot než směs referenční a vlákna Namflex vždy lehce nižších nebo stejných hodnot jako referenční směs.

Dále byla odebrána z první sady 3 tělesa každé varianty směsi a podrobena Marshallově zkoušce. U směsi ACO 11 S vyšly směsi s vlákny s menší stabilitou a větším přetvořením a tím v konečném důsledku s menší mírou tuhosti oproti referenční směsi a směsi s PMB. U směsi ACL 16 + vyšly směsi s vlákny s vyšší stabilitou než referenční směs a v konečném důsledku i s vyšší mírou tuhosti. U směsi ACO vyšel lépe Namflex a u směsi ACL lépe Forta, rozdíly byly velmi podobné a nelze zde hodnotit nějaké vlákno lépe.

Zbytek těles sady byl následně odzkoušen na odolnost proti šíření trhliny. U směsi ACO 11 S vyšla při 0 °C zásadně lépe směs referenční a PMB, nicméně při -10 °C se tento poměr obrátil na stranu těles s vlákny. Ty při nižší teplotě dosáhly mnohem lepších výsledků. Zde se projevila velmi vysoká tuhost směsi a všechna tělesa praskala křehkým lomem. U směsi ACL 16 + při 0 °C nebyl výrazný rozdíl mezi referenční směsí a směsí s vlákny, ale projevila se zde plastičnost vláken Namflex, která velmi ovlivnila celkovou energii zkoušky. Při -10 °C zde vyšla nejlépe směs referenční. Obecně se zde projevila vlákna Forta jako pevnější a vlákna Namflex i přes svou délku o 7 mm kratší jako plastičtější, respektive umožňující větší deformaci.

Poslední zkouškou byla odolnost vůči tvorbě trvalých deformací. U směsi ACO zde došlo k výrazným rozdílům. Nejlépe vyšly desky se směsí s modifikovaným pojivem, dále pak směs s vlákny Namflex a za nimi směs s vlákny Forta. Oproti referenční směsi zde bylo zlepšení výrazné. Výsledný poměr této zkoušky byl využit pro srovnání cen směsí. U směsi ACL byly konečné výsledky velmi podobné mezi všemi třemi testovanými směsi.

Do práce bylo vloženo ještě poslední kritérium, a to cena aktuální k 7. 5. 2019 [35] [36] [37]. Cena zde byla uvedena pro představu o vzrůstu vstupních nákladů při návrhu vozovky s vlákny nebo modifikovaným pojivem.



Přínos vláken je tam, kde selhává pojivo. Respektive tam kde pojivo ztrácí své vaskoelastické vlastnosti. Jedním příkladem jsou nízké teploty  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nižší, kdy se asfalt svým chováním začne podobat betonu a vlákna zde fungují jako výztuž, která přebírá napětí. Druhým příkladem jsou teploty vysoké jako  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vyšší, tam zas asfaltové pojivo měkne a vlákna opět začnou plnit svoji funkci. To se potvrdilo v modulech tuhosti a u vyjíždění kolem při  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Protiargument by zde mohl nastat v souvislosti s Marshallovou zkouškou, kde se vzorky vložily do lázně o teplotě  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  na 40-60 minut, a kde se tato teze potvrzuje pouze u směsi ACL. Jelikož směs ACO měla velmi malou mezerovitost a byla velmi tuhá, vlákna sloužila jako vodič vlhkosti do těles (to se potvrdilo u zkoušky ITSR) a v konečném důsledku tento efekt snížil výslednou stabilitu a směsi s vlákny vyšly „hůře“ oproti referenční směsi. To ale nekorresponduje se skutečností, kdy neexistuje situace, že by se asfalt rozehrál na  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  a zároveň byl plně nasycen vodou. Důležitý je zde i charakter Marshallovy zkoušky, kterou lze okrajově považovat za zkoušku pevnosti v tlaku, u které vlákna nepůsobí.

Nejlepší úpravou asfaltu se zdá být modifikované pojivo, to je ale také nejdražší. Vlákna však svou účinností nejsou o moc horší, nicméně svou cenou jsou výrazně nižší. Z nastudované literatury a dosavadních zkušebních úseků vidím velký přínos například ve výše zmíněném efektu, kde se položila nová ohrusná vrstva na staré vrstvy se sítí trhlin, a i po několika letech používání se trhliny neprokopírovaly. Tento efekt bohužel nelze ověřit dosavadními zkouškami.



## Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled složení jednotlivých zdrojů celulózových vláken [6].....	6
Tabulka 2 Porovnání asfaltového pojiva s pojivem modifikovaným drcenou pryží [5] (Softening point – bod měknutí; Penetration – penetrace; Elastic recovery – pružné zotavení).....	8
Tabulka 3 Přehled výhod a nevýhod jednotlivých vláken.....	9
Tabulka 4 Přehled aplikací geosyntetik.....	13
Tabulka 5 Požadavky na modifikované asfaltové emulze.....	18
Tabulka 6 Požadavky na geomříž.....	19
Tabulka 7 Požadavky na geokompozit s geomříží ze skelných vláken.....	19
Tabulka 8 Požadavky na geokompozit s geomříží na bázi polymeru.....	19
Tabulka 9 Fyzikální vlastnosti vláken FORTA.....	23
Tabulka 10 Přehled jednotlivých úseků [22].....	33
Tabulka 11 Objemová hmotnost dle rozměrů těles referenčních směsí a PMB hutněných 2x25.....	58
Tabulka 12 Objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost a mezerovitost referenčních směsí a PMB hutněných 2x75/50.....	59
Tabulka 13 Objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost a mezerovitost směsí s vláknou hutněných 2x75/50.....	60
Tabulka 14 Pevnost v příčném tahu referenčních vzorků a PMB.....	61
Tabulka 15 Hodnoty ITSR referenčních směsí a PMB.....	62
Tabulka 16 Teplotní citlivost.....	65
Tabulka 17 Výsledky Marshallovy zkoušky pro referenční směsí a PMB.....	67
Tabulka 18 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhlin u směsí ACO 11 S.....	69
Tabulka 19 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhlin u směsí ACL 16 +.....	70
Tabulka 20 Objemová hmotnost a míra zhutnění desek směsí ACO 11 S.....	73
Tabulka 21 Objemová hmotnost a míra zhutnění desek směsí ACL 16 +.....	73
Tabulka 22 Výsledky zkoušky vyjetí kolem pro směs ACO 11 S.....	74
Tabulka 23 Výsledky zkoušky vyjetí kolem pro směs ACL 16 +.....	75
Tabulka 24 Přehled cen možných úprav na 1 t směsí.....	76



Tabulka 25 Přehled cen za 1 tunu směsi.....	76
Tabulka 26 Vyhodnocení modelové situace.....	77

## Seznam grafů

Graf 1 Objemová hmotnost dle rozměrů těles s vlákny hutněných 2x25.....	58
Graf 2 Objemová hmotnost SSD těles s vlákny hutněných 2x75/50.....	59
Graf 3 Graf pevností v příčném tahu směsí s vlákny.....	61
Graf 4 Hodnoty ITSR směsí s vlákny.....	62
Graf 5 Moduly tuhosti směsí s vlákny.....	63
Graf 6 Moduly tuhosti směsi ACO 11 S.....	64
Graf 7 Moduly tuhosti směsi ACL 16 +.....	64
Graf 8 Stabilita těles s vlákny.....	66
Graf 9 Přetvoření těles s vlákny.....	66
Graf 10 Míra tuhosti těles s vlákny.....	67
Graf 11 Odolnost vůči lomu těles s vlákny.....	68
Graf 12 Energie zkoušky k dosažení maximálního napětí u těles s vlákny.....	68
Graf 13 Celková energie k úplnému prokopírování trhliny u těles s vlákny.....	69
Graf 14 Průběh zatěžování těles referenční směsi ACO 11 S při teplotě 0 °C.....	71
Graf 15 Průběh zatěžování směsi ACL 16 + FORTA při teplotě 0 °C.....	71
Graf 16 Průběh zatěžování směsi ACL 16 + NAMFLEX při teplotě 0 °C.....	72
Graf 17 Průběh zatěžování směsi ACL 16 + FORTA při teplotě -10 °C.....	72
Graf 18 Hloubka vyjetí kolem pro směsi s vlákny.....	74

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Chemická struktura celulózy [6].....	6
Obrázek 2 Tkané/netkané/pletené geotextilie [9].....	10
Obrázek 3 Tkaná a pletená geomříž [10].....	11



Obrázek 4 Spojovaná a extrudovaná geomříž [10].....	11
Obrázek 5 Geokompozit polyetylénu a polypropylenové geotextilie [11].....	12
Obrázek 6 Princip prokopírování trhlin a) nevyztužené souvrství b) souvrství vyztužené geosyntetikum (Reflective crack – kopírování trhlin; Pre-existing crack – již existující trhlinka; New asphalt overlay – nová asfaltová vrstva; Cracked pavement – vrstva s trhlinami; Base – podklad; Subgrade – podloží).....	14
Obrázek 7 Princip separace vrstev a) kontaminované souvrství vozovky b) souvrství ochráněné separačním geosyntetikum (Asphalt layer – vrstva sfaltu; base – podkladní vrstvy; Pumped fine-grained soils – vytlačené jemné částí půdy; Intruded coarse-grained aggregates – proniknutí hrubozrnného agregátu; Subgrade – podloží) .....	15
Obrázek 8 Roznos napětí v a) nevyztužené vrstvě s příčným posunem kameniva b) vyztužené vrstvě (Tendency for aggregate to displace laterally – tendence kameniva ujíždět do stran; Asphalt layer – asfaltová vrstva; Base – podkladní vrstvy; Geosynthetic induced lateral restraint – boční zadržetí vyvolané geosyntetikum; Subgrade – podloží, Stress distribution – roznos napětí).....	16
Obrázek 9 Roznos napětí na nezpevněné cestě a) lokální smykové porušení zeminy b) interakce geosyntetika se zeminou (Geosynthetic-induced wheel support – geosyntetikem vyvolaná odezva napětí; Geosynthetic-induced subgrade confinement – geosyntetikem vyvolané přidržení zeminy; Stress distribution zone – zóna rozložení napětí; Base – podkladní vrstvy; Geosynthetic tension – geosyntetické napětí; Punching shear – smykové propadnutí; Subgrade – podloží; General shear – plocha smyku) .....	17
Obrázek 10 a) pokles souvrství způsobený zachycením vlhkosti b) boční odvodnění pomocí geosyntetika (Rainfall – dešťové srážky; Asphalt layer – asfaltové vrstvy; Base – podkladní vrstvy; Moisture infiltration – průnik vlhkosti; Subgrade – podloží; Water capillary rise – kapilární vztlínání vody) .....	18
Obrázek 11 Pokládka geosyntetika [11] .....	21
Obrázek 12 Připevnění geomříže pomocí hřebů a položená geomříž. [11].....	21
Obrázek 13 Roznos zatížení při akceleraci a brždění pod nevyztuženou/vyztuženou směsí [12].....	22
Obrázek 14 Směs vláken HMA [13].....	23
Obrázek 15 Směs vláken WMA [13].....	24
Obrázek 16 Směs vláken PAT [13] .....	24
Obrázek 17 Směs vláken NAMFLEX [14].....	25
Obrázek 18 Vrstvy vozovky [16].....	26





Obrázek 19 Příklad skladby vozovky pro různé typy podloží a) D0-N-1 pro třídu dopr. zat. S b) D1-N-1 pro třídu dopr. zat. III [17] .....	27
Obrázek 20 Obor zrnitosti pro směs ACO 11+ [19].....	28
Obrázek 21 Tělesa směsi SMA a AC [19].....	29
Obrázek 22 Pokládka ranveje 1/19 Jackson Hole Airport [12] .....	30
Obrázek 23 Avenue D před rekonstrukcí [12].....	31
Obrázek 24 Avenue D po rekonstrukce – vlevo směs s vlákny, vpravo bez [12] .....	31
Obrázek 25 Pokládka nové směsi na Letišti Václava Havla [12].....	32
Obrázek 26 Směs s vlákny – Při práci se směsí s vlákny, byla vlákna zřetelně viditelná. ....	38
Obrázek 27 Připravený lamelový zhutňovač .....	40
Obrázek 28 Odvzdušněné plné pyknometry připravené k vážení .....	45
Obrázek 29 Sycení těles v podtlakové komoře.....	47
Obrázek 30 Podtlak vyjádřený výškou rtuťového sloupce .....	48
Obrázek 31 Lis včetně čelistí a měřicího zařízení .....	48
Obrázek 32 Příklad výstupu měření modulu tuhosti pro vzorek Č21 při teplotě 0 °C... 51	51
Obrázek 33 Příklad výstupu měření modulů tuhosti pro vzorek Č21 při teplotě 40 °C. 51	51
Obrázek 34 Graf průběhu zatěžování s označením maximální síly (červená tečkovaná čára) .....	52
Obrázek 35 Těleso v čelistích připravené k měření včetně datalogeru .....	55
Obrázek 36 Zatěžovací diagram s principem určení lomové energie [33] .....	55
Obrázek 37 Desky v měřicím zařízení po 10 000 cyklech .....	57
Obrázek 38 Vyjeté desky směsi ACO 11 S FORTA .....	57



## Seznam použité literatury

- [1] Nitish, Nitin Thakur (2018). A review on quality improvised of bituminous mix by natural fiber. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(4) Dostupné z: [www.IJARIIIT.com](http://www.IJARIIIT.com)
- [2] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2015. *Fiber Additives in Asphalt Mixtures*. Washington, DC: The National Academies Press. Dostupné z: <http://www.trb.org/Main/Blurbs/172256.aspx?fbclid=IwAR0A0KKvEJNRKQ6BDsC0Yi2zLMchuh5Yh4JxZLP6jGRMQUGQQzqdmBYE40w>
- [3] ABTAHI, Sayyed Mahdi, Mohammad SHEIKHZADEH a Sayyed Mahdi HEJAZI. Construction and Building Materials: Fiber-reinforced asphalt-concrete – A review. *ScienceDirect*[online]. 2010, strana 871-877 [cit. 2019]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061809003948>
- [4] S.M. SAPUAN a ET. AL. *Comprehensive Materials Finishing. : 1.8 Natural Fiber-Reinforced Composites: Types, Development, Manufacturing Process, and Measurement* [online]. 2017, s. 203-230 [cit. 2019]. ISBN 9780128032497. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818091839>
- [5] SHARMNA, Vikas a Shweta GOYAL. Comparative study of performance of natural fibres and crumb rubber modified stone matrix asphalt mixtures. *Canadian Journal of Civil Engineering* [online]. 2006, s. 134-139 [cit. 2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/237189034\\_Comparative\\_study\\_of\\_performance\\_of\\_natural\\_fibres\\_and\\_crumb\\_rubber\\_modified\\_stone\\_matrix\\_asphalt\\_mixtures](https://www.researchgate.net/publication/237189034_Comparative_study_of_performance_of_natural_fibres_and_crumb_rubber_modified_stone_matrix_asphalt_mixtures)
- [6] BAYER, J. a et. al. Cellulose polymer composites (WPC). *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* [online]. Woodhead Publishing, 2017, s. 115-139 [cit. 2019]. ISBN 9780081004111. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081004111000054>
- [7] *TP 147: Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2010.
- [8] ZORNBERG, Jorge G. Functions and Applications of Geosynthetics In Roadways. *Procedia Engineering* [online]. 2017, s. 298-306 [cit. 2019]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817321720>
- [9] Jakou geotextilii vybrat? – GEOTEXTILIE. GEOTEXTILIE – Popis výroby, návrhu a použití netkaných, tkaných a pletených geotextilií [online]. Dostupné z: <https://www.geotextilie.cz/druhy-geotextilii-a-jejich-vlastnosti/>
- [10] *TP 97: Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací*. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, 2008.
- [11] GEOMAT – geosyntetika v geotechnice – konzultace | projekty | dodávky. [online]. Copyright © GEOMAT s. r. o., 1998 [cit. 10.04.2019]. Dostupné z: <https://www.geomat.eu/cz/>
- [12] Home – FORTA Corporation. *Home – FORTA Corporation* [online]. Copyright ©2019 [cit. 11.04.2019]. Dostupné z: <http://www.forta-fi.com/>



- [13] PRODLOUŽENÁ ŽIVOTNOST A ÚSPORA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ FORTA – FI [online]. In: [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.emzet.cz/download/produkty/fortafibrochure.pdf>
- [14] *Foukaná, akustická a protipožární izolace, průmyslová vlákna a systémy* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.ciur.cz/>
- [15] BURÁŇ, Ing. František. *Výztužná vlákna NAMFLEX: emailová konverzace*. 2019.
- [16] MONDSCHNEIN, Petr. *Silniční stavby 2: Přednáška č. 1 - Úvod*. Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2016.
- [17] *TP 170: Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Dodatek. Brno: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, 2010.
- [18] MONDSCHNEIN, Petr. *Silniční stavby 2: Přednáška č. 4 – Asfaltové směsi 1/2*. Praha: ČVUT Fakulta stavební, 2016
- [19] *Mário Lenčěš* [online]. Copyright © [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/-%20-%20P%C5%99edm%C4%9Bty%20dle%20semestru%20-%20-/6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%207%20prezentace%20-%20Asfaltov%C3%A9%20sm%C4%9Bsi.pdf>
- [20] JEFFREY, J. Stempihar, Souliman MENA a E. Kaloush KAMIL. *Use of Fiber Reinforced Asphalt Concrete as a Sustainable Paving Material for Airfields* [online]. 2012 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265660018\\_Use\\_of\\_Fiber\\_Reinforced\\_Asp\\_halt\\_Concrete\\_as\\_a\\_Sustainable\\_Paving\\_Material\\_for\\_Airfields](https://www.researchgate.net/publication/265660018_Use_of_Fiber_Reinforced_Asp_halt_Concrete_as_a_Sustainable_Paving_Material_for_Airfields)
- [21] *PROVOZNÍ ZKOUŠKA: Asfaltová směs s vlákny Forta FI* [online]. 2010 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.emzet.cz/download/produkty/testvinarice.pdf>
- [22] ČVUT, Fakulta stavební zkušební laboratoř. *Zpráva č. ZP /136068/2018: II/201 Hodyně – Křižovatka s III/201 29 Ověření nové technologie*. Praha, 2018.
- [23] ČSN EN 12697-30. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [24] ČSN EN 12697-33+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Český normalizační institut, 2007.
- [25] ČSN EN 12697-6. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [26] ČSN EN 12697-5. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [27] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Český normalizační institut, 2004.



- [28] ČSN EN 12697-23. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Český normalizační institut, 2005.
- [29] ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [30] ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost*. Český normalizační institut, 2006.
- [31] ČSN EN 12697-34. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 34: Marshallova zkouška*. Český normalizační institut, 2007.
- [32] ČSN EN 12697-44. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [33] VACKOVÁ, Ing. Pavla. *Odolnost vůči šíření mrazové trhliny úprava*. Praha, Fakulta stavební, 2019. Získané z: emailové konverzace
- [34] ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojiždění kolem*. Český normalizační institut, 2007.
- [35] ZEDNÍČEK, Ing. Jiří., EMZET, emailová konverzace: cena vláken FORTA pro směs HMA dne 6.5.2019
- [36] URBÁNKOVÁ, Tereza., CIUR, emailová konverzace: cena vláken NAMFLEX dne 7.5.2019
- [37] Středočeské Obalovny, Prodejní ceník asfaltových směsí pro rok 2019 [online]. Copyright ©. [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <http://stredoceskeobalovny.cz/cenik.pdf>



## Seznam příloh

Příloha 1 Rozměry zkušebních těles ACO 11 S .....	91
Příloha 2 Objemové hmotnosti zhutněných těles ACO 11 S část A.....	92
Příloha 3 Objemové hmotnosti zhutněných těles ACO 11 S část B.....	93
Příloha 4 Maximální objemová hmotnost ACO 11 S.....	94
Příloha 5 Moduly tuhosti při 0 stupních ACO 11 S.....	95
Příloha 6 Moduly tuhosti při 15 stupních ACO 11 S.....	96
Příloha 7 Moduly tuhosti při 27 stupních ACO 11 S.....	97
Příloha 8 Moduly tuhosti při 40 stupních ACO 11 S.....	98
Příloha 9 Rozměry zkušebních půlkruhových těles ACO 11 S.....	99
Příloha 10 Rozřazení těles na ITSR ACO 11 S .....	100
Příloha 11 Výsledky ITSR ACO 11 S .....	101
Příloha 12 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S referenční směs .....	102
Příloha 13 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11 S referenční směs .....	103
Příloha 14 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S NAMFLEX.....	104
Příloha 15 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11 S NAMFLEX .....	105
Příloha 16 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S PMB.....	106
Příloha 17 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11 S PMB .....	107
Příloha 18 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S FORTA .....	108
Příloha 19 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11 S FORTA.....	109
Příloha 20 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S referenční směs.....	110
Příloha 21 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11 referenční směs .....	111
Příloha 22 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S NAMFLEX.....	112
Příloha 23 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11 NAMFLEX .....	113
Příloha 24 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S PMB.....	114
Příloha 25 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11 PMB .....	115
Příloha 26 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S FORTA.....	116
Příloha 27 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11 FORTA .....	117
Příloha 28 Výsledky Marshallovy zkoušky ACO 11 S .....	118



Příloha 29 Rozměry a objemová hmotnost desek ACO 11 S.....	119
Příloha 30 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S referenční směs.....	120
Příloha 31 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S NAMFLEX.....	121
Příloha 32 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S PMB.....	122
Příloha 33 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S FORTA.....	123
Příloha 34 Rozměry zkušebních těles ACL 16 +.....	124
Příloha 35 Objemové hmotnosti zhutněných těles ACL 16 + část A.....	125
Příloha 36 Objemové hmotnosti zhutněných těles ACL 16 + část B.....	126
Příloha 37 Maximální objemová hmotnost ACL 16 +.....	127
Příloha 38 Moduly tuhosti při 0 stupních ACL 16 +.....	128
Příloha 39 Moduly tuhosti při 15 stupních ACL 16 +.....	129
Příloha 40 Moduly tuhosti při 27 stupních ACL 16 +.....	130
Příloha 41 Moduly tuhosti při 40 stupních ACL 16 +.....	131
Příloha 42 Rozřazení těles na ITSr ACL 16 +.....	132
Příloha 43 Výsledky ITSr ACL 16 +.....	133
Příloha 44 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACL 16 + referenční směs.....	134
Příloha 45 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACL 16 + referenční směs.....	135
Příloha 46 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACL 16 + FORTA.....	136
Příloha 47 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACL 16 + FORTA.....	137
Příloha 48 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACL 16 + NAMFLEX.....	138
Příloha 49 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACL 16 + NAMFLEX.....	139
Příloha 50 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACL 16 + referenční směs.....	140
Příloha 51 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACL 16 + referenční směs.....	141
Příloha 52 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACL 16 + FORTA.....	142
Příloha 53 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACL 16 + FORTA.....	143
Příloha 54 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACL 16 + NAMFLEX.....	144
Příloha 55 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACL 16 + NAMFLEX.....	145
Příloha 56 Výsledky Marshallovy zkoušky ACL 16 +.....	146
Příloha 57 Rozměry a objemová hmotnost desek ACL 16 +.....	147



Příloha 58 Výsledky poježdění kolem ACL 16 + referenční směs .....	148
Příloha 59 Výsledky poježdění kolem ACL 16 + FORTA .....	149
Příloha 60 Výsledky poježdění kolem ACL 16 + NAMFLEX .....	150



**Příloha 1 Rozměry zkušebních těles ACO 11 S**

Rozměry zkušebních těles					Rozměry zkušebních těles				
Vzorek	Výška [mm]	Průměr [mm]	Objem [mm <sup>3</sup> ]	Poznámka	Vzorek	Výška [mm]	Průměr [mm]	Objem [mm <sup>3</sup> ]	Poznámka
ACO 11S normal 2x25 údery					ACO 11S PMB 2x25 údery				
Č11	56,82	101,88	463200	Teplota místnosti 23°C Teplota vody 17,9°C	Č51	57,01	101,89	464841	
Č12	56,55	102,02	462267		Č52	57,21	101,86	466197	
Č13	56,13	102,07	459284		Č53	56,72	102,31	466297	
Č14	56,37	102,24	462785		Č54	57,03	101,86	464730	
Č15	56,99	101,55	461581		Č55	56,96	101,89	464433	
Č16	57,18	101,71	464581		Č56	57,27	101,64	464672	
Č17	56,74	101,85	462276		ACO 11S PMB 2x75 údery				
Č18	56,95	101,52	460985		Č61	53,76	101,81	437653	
ACO 11S normal 2x75 údery					Č62	53,24	101,88	434016	
Č21	53,30	101,99	435444	Hustota vody při zkušební teplotě v Mg/m <sup>3</sup> =  0,9987	Č63	53,13	101,82	432609	
Č22	52,88	101,70	429559		Č64	53,21	102,24	436842	
Č23	53,00	101,84	431720		Č65	53,83	101,94	439343	
Č24	52,93	101,81	430896		Č66	52,11	103,21	435968	
Č25	52,87	102,32	434731		Č67	53,12	101,81	432443	
Č26	53,11	101,86	432786		ACO 11S FORTA 2x25				
Č27	52,99	101,75	430876		Č71	59,82	101,87	487561	
Č28	51,81	103,04	432031		Č72	59,78	101,91	487618	
Č29	52,64	102,26	432332		Č73	59,52	101,80	484449	
ACO 11S NAMFLEX 2x25 údery					Č74	60,24	101,67	489058	
Č31	57,31	101,71	465637	Č75	59,71	102,22	490014		
Č32	57,22	101,90	466644	Č76	58,91	103,17	492477		
Č33	56,75	101,73	461269	Č77	60,01	101,81	488534		
Č34	57,38	101,83	467307	Č78	59,98	101,97	489825		
Č35	58,01	101,78	471974	ACO 11S FORTA 2x25					
Č36	57,45	102,17	471006	Č81	54,51	103,12	455252		
Č37	57,12	102,31	469585	Č82	55,99	101,79	455628		
Č38	57,68	102,24	473540	Č83	55,31	102,28	454438		
ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery					Č84	55,69	101,84	453632	
Č41	52,33	103,16	437384	Č85	55,44	101,73	450621		
Č42	53,57	101,81	436106	Č86	55,94	101,84	455669		
Č43	53,76	101,73	436966	Č87	55,82	101,79	454245		
Č44	53,50	101,86	435964	Č88	58,63	101,82	477393		
Č45	53,23	101,89	434020						
Č46	53,12	101,88	433038						





**Příloha 2 Objemové hmotnosti zhutněných těles ACO 11 S část A**

Objemová hmotnost zhutněných vzorků								
Vzorek	M na suchu [g]	M ve vodě [g]	M po vyndání [g]	$\rho/\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost V <sub>m</sub> [%]	Objemová hmotnost průměrná [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost průměrná [%]	Poznámka
ACO 11S normal 2x25 údery								
Č11	1143,3	X	X	2468,3	X	2471,4	X	Teplota místnosti 23°C Teplota vody 17,9°C
Č12	1140,8	X	X	2467,8	X			
Č13	1143,8	X	X	2490,4	X			
Č14	1146,8	X	X	2478,0	X			
Č15	1141,6	X	X	2473,2	X			
Č16	1137,5	X	X	2448,4	X			
Č17	1147,0	X	X	2481,2	X			
Č18	1135,8	X	X	2463,9	X			
ACO 11S normal 2x75 údery								
Č21	1144,1	721,4	1145,5	2694,2	2,3%	2695,4	2,3%	Hustota vody při zkušební teplotě v Mg/m <sup>3</sup> =
Č22	1136,1	716,8	1137,3	2698,2	2,2%			
Č23	1136,0	715,3	1137,4	2687,8	2,5%			
Č24	1142,1	720,3	1142,7	2700,3	2,1%			
Č25	1149,1	724,5	1150,1	2696,4	2,2%			
Č26	1148,5	724,4	1149,4	2698,8	2,1%			
Č27	1141,7	719,9	1142,6	2697,4	2,2%			
Č28	1140,2	717,6	1141,0	2689,4	2,5%			
Č29	1140,8	718,8	1141,4	2695,9	2,2%			
ACO 11S NAMFLEX 2x25 údery								
Č31	1142,8	X	X	2454,3	X	2446,0	X	
Č32	1144,8	X	X	2453,3	X			
Č33	1137,6	X	X	2466,2	X			
Č34	1142,5	X	X	2444,9	X			
Č35	1150,6	X	X	2437,8	X			
Č36	1159,8	X	X	2462,4	X			
Č37	1146,4	X	X	2441,3	X			
Č38	1140,2	X	X	2407,8	X			
ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery								
Č41	1143,2	718,1	1145,2	2673,1	2,7%	2681,54	2,4%	
Č42	1142,1	718,1	1143,6	2680,6	2,5%			
Č43	1148,8	722,0	1150,4	2678,1	2,6%			
Č44	1149,3	723,8	1150,3	2691,2	2,1%			
Č45	1136,8	715,0	1137,9	2684,6	2,3%			
Č46	1133,7	712,9	1135,1	2681,7	2,4%			



**Příloha 3 Objemové hmotnosti zhutněných těles ACO 11 S část B**

Objemová hmotnost zhutněných vzorků								
Vzorek	M na suchu [g]	M ve vodě [g]	M po vyndání [g]	$\rho/\rho_{\text{bssd}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost $V_m$ [%]	Objemová hmotnost průměrná [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost průměrná [%]	Poznámka
ACO 11S PMB 2x25 údery								
Č51	1138,3	X	X	2448,8	X	2454,7	X	
Č52	1143,4	X	X	2452,6	X			
Č53	1140,6	X	X	2446,1	X			
Č54	1142,8	X	X	2459,1	X			
Č55	1142,1	X	X	2459,1	X			
Č56	1144,4	X	X	2462,8	X			
ACO 11S PMB 2x75 údery								
Č61	1151,6	725,8	1152,7	2694,0	3,1%	2687,6	3,3%	
Č62	1145,0	720,7	1146,3	2686,8	3,4%			
Č63	1142,0	719,6	1144,0	2687,3	3,4%			
Č64	1151,4	724,9	1153,1	2685,4	3,4%			
Č65	1151,4	724,3	1153,0	2682,3	3,5%			
Č66	1145,3	721,7	1147,3	2687,5	3,4%			
Č67	1141,2	719,3	1143,0	2689,9	3,3%			
ACO 11S FORTA 2x25								
Č71	1196,2	X	X	2453,4	X	2448,1	X	
Č72	1197,5	X	X	2455,8	X			
Č73	1189,1	X	X	2454,5	X			
Č74	1196,0	X	X	2445,5	X			
Č75	1200,5	X	X	2449,9	X			
Č76	1199,4	X	X	2435,4	X			
Č77	1196,8	X	X	2449,8	X			
Č78	1195,3	X	X	2440,3	X			
ACO 11S FORTA 2x25								
Č81	1192,1	747,4	1193,9	2666,4	2,4%	2668,0	2,4%	
Č82	1186,4	742,6	1188,4	2657,8	2,8%			
Č83	1196,3	751,0	1198,1	2672,2	2,2%			
Č84	1191,4	747,3	1192,5	2672,6	2,2%			
Č85	1187,6	745,6	1189,1	2674,3	2,2%			
Č86	1193,2	748,9	1195,3	2669,4	2,3%			
Č87	1193,6	747,6	1195,2	2663,2	2,6%			



**Příloha 4 Maximální objemová hmotnost ACO 11 S**

<b>Maximální objemová hmotnost</b>						
<b>ACO 11S</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001316	707,5	1686,5	2645,2	20,4	0,9981	2757,6
<b>ACO 11S NAMFLEX</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001315	699,8	1715,5	2659,3	20,8	0,9980	2748,5
<b>ACO 11S PMB</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001311	702,2	1674,2	2633,9	20,8	0,9980	2780,7
<b>ACO 11S FORTA</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001321	707,7	1688,3	2649,1	20,6	0,9981	2733,2



**Příloha 5 Moduly tuhosti při 0 stupních ACO 11 S**

Vzorek	Modul 0°C [MPa]	Modul 0°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odchylka	Poznámka
ACO 11S normal 2x75 údery						
Č21	25633	25275	25454	24888	2%	Dovolená odchylka od průměru +10% a -20%
Č22	26185	25082	25634		3%	
Č23	23171	22678	22925		-8%	
Č24	25367	24123	24745		-1%	
Č26	25572	25198	25385		2%	Vzorky Č25, Č27 byly vyřazeny.
Č28	24821	26391	25606		3%	
Č29	24735	24195	24465		-2%	
ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery						
Č41	25094	25920	25507	24570	4%	
Č42	24334	23302	23818		-3%	
Č43	23640	25391	24516		0%	
Č44	25826	24584	25205		3%	
Č45	24923	25363	25143		2%	
Č46	23467	22991	23229		-5%	
ACO 11S PMB 2x75 údery						
Č61	25281	25411	25346	24971	2%	
Č62	24978	24736	24857		0%	
Č63	26552	25738	26145		5%	
Č64	25070	25198	25134		1%	
Č65	24938	24175	24557		-2%	
Č66	23819	24627	24223		-3%	
Č67	24232	24839	24536		-2%	
ACO 11S FORTA 2x75						
Č81	23916	23423	23670	23223	2%	
Č82	21256	26140	23698		2%	
Č83	23415	22772	23094		-1%	
Č84	25717	22148	23933		3%	
Č85	22122	22324	22223		-4%	
Č86	23221	21997	22609		-3%	
Č87	24468	22201	23335		0%	



**Příloha 6 Moduly tuhosti při 15 stupních ACO 11 S**

Vzorek	Modul15°C [MPa]	Modul 15°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odchylka	Poznámka
ACO 11S normal 2x75 údery						
Č21	12961	12995	12978	12464	4%	
Č22	13016	12625	12821		3%	
Č23	12494	11874	12184		-2%	
Č24	12093	12303	12198		-2%	
Č26	12460	12386	12423		0%	
Č28	12170	12563	12367		-1%	
Č29	12810	11744	12277		-1%	
ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery						
Č41	13536	14186	13861	13002	7%	
Č42	12345	12862	12604		-3%	
Č43	13654	14968	14311		10%	
Č44	13064	13705	13385		3%	
Č45	12475	12057	12266		-6%	
Č46	11899	11277	11588		-11%	
ACO 11S PMB 2x75 údery						
Č61	12885	13711	13298	13076	2%	
Č62	14102	13163	13633		4%	
Č63	14195	13845	14020		7%	
Č64	12948	12947	12948		-1%	
Č65	12969	14190	13580		4%	
Č66	12153	12416	12285		-6%	
Č67	11741	11805	11773		-10%	
ACO 11S FORTA 2x75						
Č81	11890	12070	11980	12146	-1%	
Č82	12302	12544	12423		2%	
Č83	12464	12286	12375		2%	
Č84	12704	11975	12340		2%	
Č85	11925	11925	11925		-2%	
Č86	12188	12222	12205		0%	
Č87	12490	11058	11774		-3%	



**Příloha 7 Moduly tuhosti při 27 stupních ACO 11 S**

Vzorek	Modul 27°C [MPa]	Modul 27°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odchylka	Poznámka
ACO 11S normal 2x75 údery						
Č21	6346	6057	6202	5793	7%	
Č22	6670	5878	6274		8%	
Č23	5608	5269	5439		-6%	
Č24	5753	5575	5664		-2%	
Č26	5764	5333	5549		-4%	
Č28	5682	5586	5634		-3%	
Č29	5979	5604	5792		0%	
ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery						
Č41	6154	6096	6125	5743	7%	
Č42	5444	5287	5366		-7%	
Č43	5991	5796	5894		3%	
Č44	6121	6116	6119		7%	
Č45	5726	5496	5611		-2%	
Č46	5405	5289	5347		-7%	
ACO 11S PMB 2x75 údery						
Č61	5441	5355	5398	5713	-6%	
Č62	5955	5365	5660		-1%	
Č63	6007	5910	5959		4%	
Č64	5728	6140	5934		4%	
Č65	6017	5960	5989		5%	
Č66	6009	5621	5815		2%	
Č67	5395	5077	5236		-8%	
ACO 11S FORTA 2x75						
Č81	4710	4844	4777	5114	-7%	
Č82	5045	4843	4944		-3%	
Č83	5358	5106	5232		2%	
Č84	5201	5397	5299		4%	
Č85	5176	5509	5343		4%	
Č86	5134	5151	5143		1%	
Č87	4815	5310	5063		-1%	



**Příloha 8 Moduly tuhosti při 40 stupních ACO 11 S**

Vzorek	Modul 40°C [MPa]	Modul 40°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odchylka	Poznámka
ACO 11S normal 2x75 údery						
Č21	1782	1750	1766	1684	5%	
Č22	1838	1798	1818		8%	
Č23	1457	1485	1471		-13%	
Č24	1761	1559	1660		-1%	
Č26	1812	1505	1659		-2%	
Č28	1833	1702	1768		5%	
Č29	1567	1726	1647		-2%	
ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery						
Č41	1815	1922	1869	1818	3%	
Č42	1646	1653	1650		-9%	
Č43	1907	1865	1886		4%	
Č44	1893	2000	1947		7%	
Č45	1813	1654	1734		-5%	
Č46	1658	1988	1823		0%	
ACO 11S PMB 2x75 údery						
Č61	1932	1783	1858	1878	-1%	
Č62	1855	1754	1805		-4%	
Č63	1911	1832	1872		0%	
Č64	2153	1925	2039		9%	
Č65	1932	1856	1894		1%	
Č66	1708	2080	1894		1%	
Č67	2061	1516	1789		-5%	
ACO 11S FORTA 2x75						
Č81	1324	1413	1369	1418	-3%	
Č82	1524	1423	1474		4%	
Č83	1516	1438	1477		4%	
Č84	1528	1449	1489		5%	
Č85	1256	1447	1352		-5%	
Č86	1478	1484	1481		4%	
Č87	1230	1341	1286		-9%	



**Příloha 9 Rozměry zkušebních půlkruhových těles ACO 11 S**

Rozměry vzorků na trhliny				
Vzorek	Výška [mm]	Šířka [mm]	Tloušťka [mm]	Poznámka
<b>ACO 11S normal 2x75 údery</b>				
Č24a	50,80	102,00	51,20	
Č24b	47,50	101,40	50,90	
Č25a	51,10	102,30	51,20	
Č25b	47,70	101,80	51,20	
Č26a	51,10	101,90	51,50	
Č26b	47,20	101,30	51,10	
Č27a	48,90	101,60	51,30	
Č27b	49,47	101,80	51,40	
Č28a	50,80	103,20	50,50	
Č28b	48,80	102,80	50,40	
Č29a	49,80	102,30	51,20	
Č29b	48,60	102,10	51,10	
<b>ACO 11S NAMFLEX 2x75 údery</b>				
Č44a	47,00	101,30	50,80	
Č44b	50,80	101,90	50,40	
Č45a	50,60	101,90	50,60	
Č45b	47,70	101,50	50,90	
Č46a	51,40	102,00	51,20	
Č46b	47,30	101,60	51,20	
<b>ACO 11S PMB 2x75 údery</b>				
Č64a	51,20	102,20	50,70	
Č64b	47,60	101,80	50,60	
Č65a	50,60	101,90	49,40	
Č65b	47,60	101,30	49,50	
Č66a	51,80	103,20	50,30	
Č66b	47,90	102,70	49,40	
Č67a	51,10	101,50	50,50	
Č67b	47,30	101,20	50,20	
<b>ACO 11S FORTA 2x25</b>				
Č84a	47,40	101,40	49,10	
Č84b	50,70	101,90	49,10	
Č85a	50,80	101,80	47,80	
Č85b	47,20	101,60	47,90	
Č86a	46,90	101,40	48,90	
Č86b	51,20	101,80	49,30	
Č87a	50,90	101,90	49,50	
Č87b	47,20	101,60	49,30	





**Příloha 10 Rozřazení těles na ITSR ACO 11 S**

Vzorek	M na suchu [t]	$\rho/\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Skupina	Vzorek	$\rho/\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Odychlka [kg/m <sup>3</sup> ]				
Objemová hmotnost zhuštěných vzorků												
ACO 11S normal 2x25 úderů												
Č11	1143,3	2468,3	2471,4	A	Č13	2490,4	2470,2	1,2				
Č12	1140,8	2467,8			Č14	2478,0						
Č13	1143,8	2490,4			Č16	2448,4						
Č14	1146,8	2478,0			Č18	2463,9						
Č15	1141,6	2473,2	B	B	Č11	2468,3	2472,6	-1,2				
Č16	1137,5	2448,4			Č12	2467,8						
Č17	1147,0	2481,2			Č15	2473,2						
Č18	1135,8	2463,9			Č17	2481,2						
ACO 11S NAMFLEX 2x25 úderů												
Č31	1142,8	2454,3	2446,0	A	Č31	2454,3	2447,7	-1,7				
Č32	1144,8	2453,3			Č33	2466,2						
Č33	1137,6	2466,2			Č36	2462,4						
Č34	1142,5	2444,9			Č38	2407,8						
Č35	1150,6	2437,8	B	B	Č32	2453,3	2444,3	1,7				
Č36	1159,8	2462,4			Č34	2444,9						
Č37	1146,4	2441,3			Č35	2437,8						
Č38	1140,2	2407,8			Č37	2441,3						
ACO 11S PMB 2x25 úderů												
Č51	1138,3	2448,8	2454,7	A	Č52	2452,6	2453,8	0,9				
Č52	1143,4	2452,6			Č53	2446,1						
Č53	1140,6	2446,1			Č56	2462,8						
Č54	1142,8	2459,1			Č51	2448,8						
Č55	1142,1	2459,1	B	B	Č54	2459,1	2455,7	-0,9				
Č56	1144,4	2462,8			Č55	2459,1						
ACO 11S FORTA 2x25												
Č71	1196,2	2453,4			2448,1	A			Č72	2455,8	2446,7	1,4
Č72	1197,5	2455,8	Č74	2445,5								
Č73	1189,1	2454,5	Č75	2449,9								
Č74	1196,0	2445,5	Č76	2435,4								
Č75	1200,5	2449,9	B	B	Č71	2453,4	2449,5	-1,4				
Č76	1199,4	2435,4			Č73	2454,5						
Č77	1196,8	2449,8			Č77	2449,8						
Č78	1195,3	2440,3			Č78	2440,3						



**Příloha 11 Výsledky ITSR ACO 11 S**

Vzorek	Síla [kN]	Deformace [mm]	Průměr [mm]	Výška [mm]	Pevnost v příčném tahu ITS [MPa]	Průměrná pevnost v příčném tahu [MPa]	ITSR [%]	Poznámka
ACO 11S normal 2x25 úderý								
Č13	21,59	2,70	102,07	56,13	2,399	2,324	97,4%	Č18 vyřazeno z měření síla F přilís mlžká oproti průměru
Č14	20,46	2,67	102,24	56,37	2,260			
Č16	21,12	2,58	101,71	57,18	2,312			
Č18	14,80	3,04	101,52	56,95	1,630			
Č11	22,03	2,83	101,88	56,82	2,423	2,387	97,4%	
Č12	19,89	2,91	102,02	56,55	2,195			
Č15	21,53	3,09	101,55	56,99	2,368			
Č17	23,25	2,56	101,85	56,74	2,561			
ACO 11S NAMFLEX 2x25 úderý								
Č31	17,09	2,35	101,71	57,31	1,867	1,916	79,0%	
Č33	18,51	2,44	101,73	56,75	2,041			
Č36	18,66	2,69	102,17	57,45	2,024			
Č38	16,05	2,82	102,24	57,68	1,733	2,426	85,7%	
Č32	23,49	2,39	101,90	57,22	2,565			
Č34	21,60	2,91	101,83	57,38	2,353			
Č35	23,04	2,46	101,78	58,01	2,484			
Č37	21,11	2,98	102,31	57,12	2,300			
ACO 11S PMB 2x25 úderý								
Č52	20,89	3,01	101,86	57,21	2,282	2,127	85,7%	
Č53	17,87	2,96	102,31	56,72	1,960			
Č56	19,54	3,13	101,64	57,27	2,137	2,480	83,2%	
Č51	22,43	2,94	101,89	57,01	2,458			
Č54	22,50	2,78	101,86	57,03	2,466			
Č55	22,94	2,47	101,89	56,96	2,516			
ACO 11S FORTA 2x25								
Č72	20,27	2,92	101,91	59,78	2,118	2,053	83,2%	
Č74	20,36	2,58	101,67	60,24	2,116			
Č75	19,39	2,57	102,22	59,71	2,022			
Č76	18,67	2,63	103,17	58,91	1,956	2,468	83,2%	
Č71	23,74	3,02	101,87	59,82	2,480			
Č73	24,86	2,62	101,80	59,52	2,612			
Č77	22,51	2,32	101,81	60,01	2,346			
Č78	23,39	2,44	101,97	59,98	2,435			

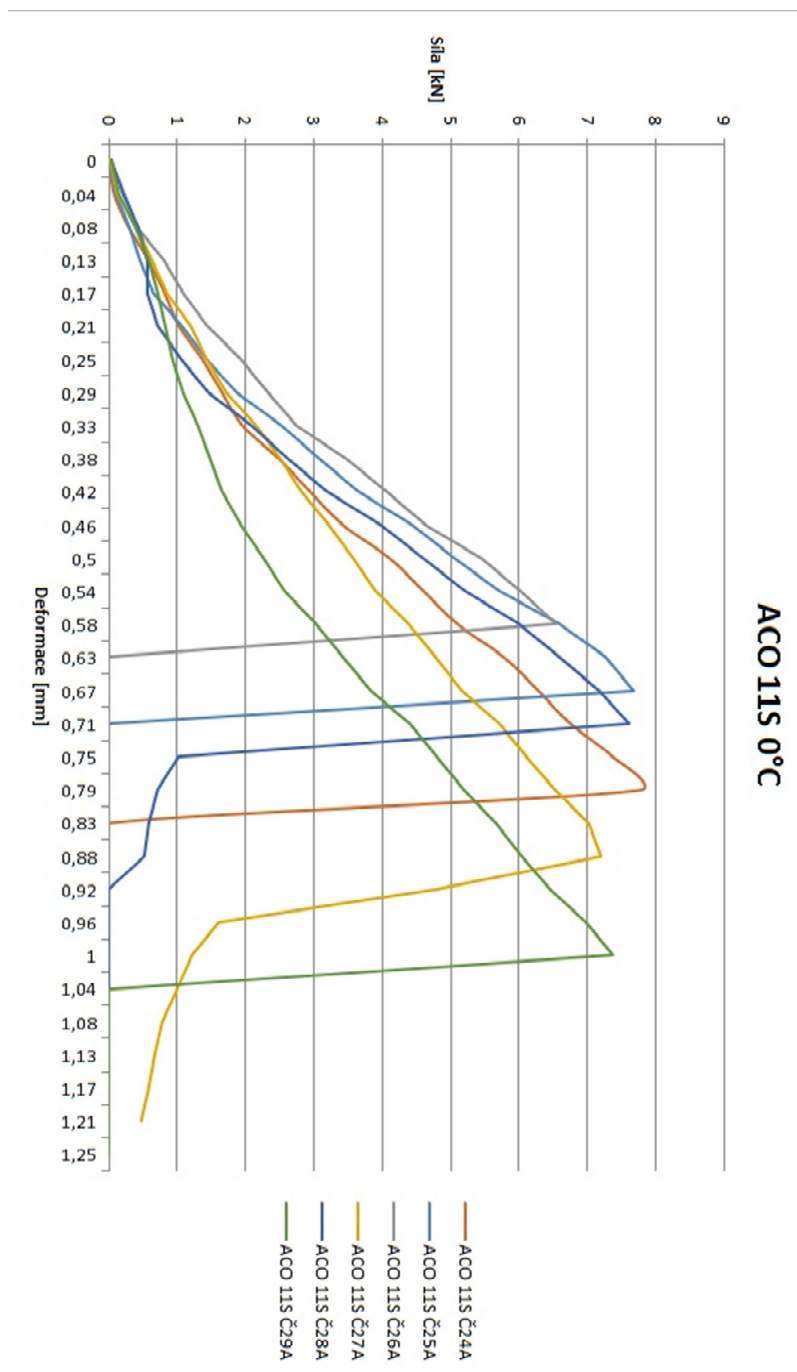


**Příloha 12 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S referenční směs**

Těleso	Rychlost zat.: (mm/min)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deformace (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Převročení (%)	Napětí při porušení (MPa)	
ACO 11S Č24A	2,37	0 °C	51,20	102,00	50,80	0,78	7,65	10	1,54%	6,24	
ACO 11S Č25A	2,36	0 °C	51,20	102,30	51,10	0,64	7,54	10	1,25%	6,14	
ACO 11S Č26A	2,36	0 °C	51,50	101,90	51,10	0,60	6,63	10	1,17%	5,39	
ACO 11S Č27A	2,17	0 °C	51,30	101,60	48,90	0,87	7,14	10	1,78%	5,84	
ACO 11S Č28A	2,44	0 °C	50,50	103,20	50,80	0,72	7,50	10	1,42%	6,13	
ACO 11S Č29A	2,45	0 °C	51,20	102,20	49,80	1,02	7,47	10	2,05%	6,09	
<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2011)</b>	<b>SMODCH,P</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2016)</b>	<b>SMODCH,P</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Energie do max hodnoty [J]</b>	<b>SMODCH,P</b>	<b>Celková energie zkoušky [J]</b>	<b>SMODCH,P</b>
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,316	45,7		-4%	1,231	43,1		-5%	2,6		2,9	
7,295	44,8		-2%	1,231	42,4		-3%	2,0		2,1	
7,295	39,3	43,8	10%	1,231	37,2	2,0	10%	1,5	2,3	1,6	2,6
7,446	43,5	2,1	1%	1,230	40,3		2%	2,6		3,4	
7,316	44,9		-2%	1,231	42,3		-3%	2,1		2,3	
7,384	44,9		-2%	1,231	42,0		-2%	2,9		3,1	



Příloha 13 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11 S referenční směs



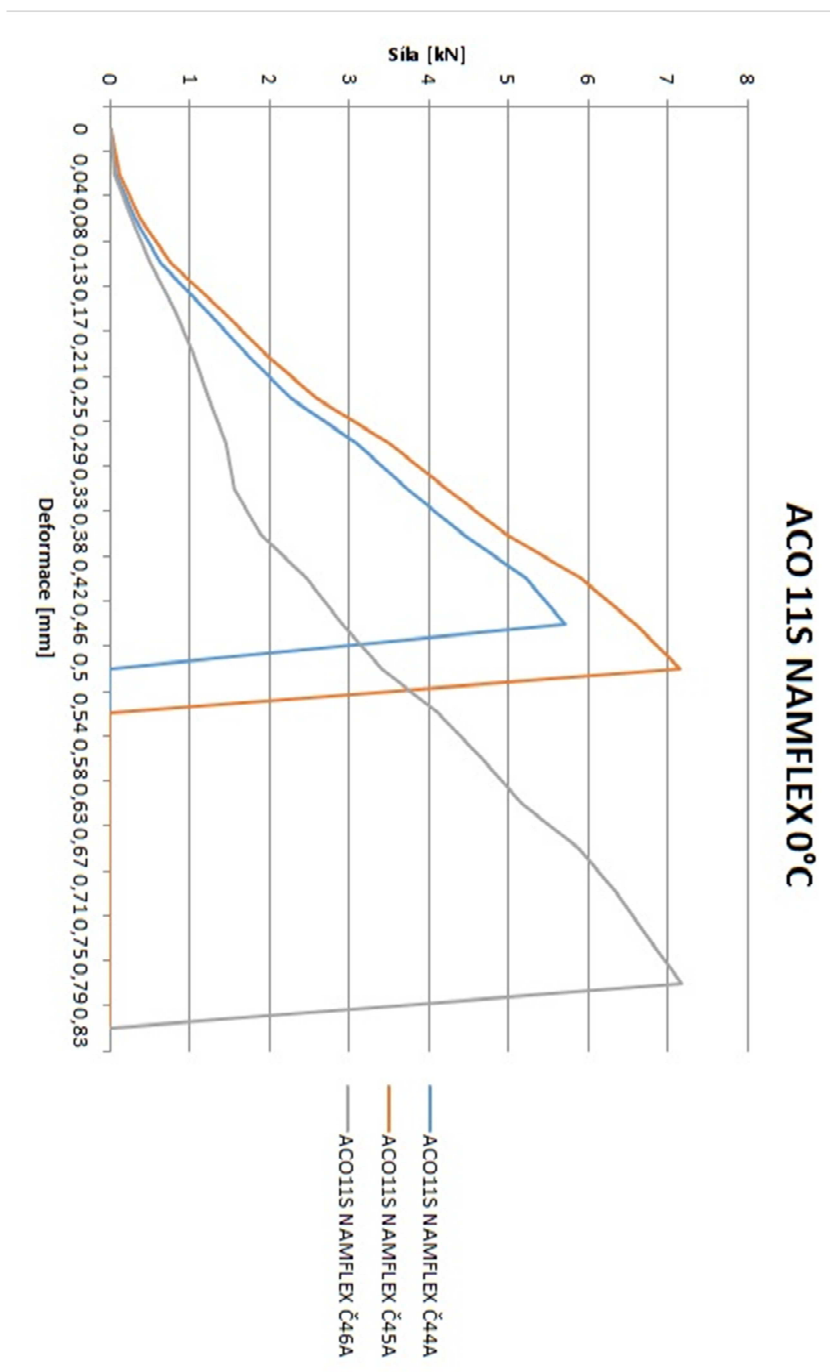


Příloha 14 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S NAMFLEX

Těleso	Rychlost zat.	Teplota zkoušení	Tloušťka	Průměr	Výška	Deformace	Síla	Hloubka drážky	Přetvoření	Napětí při porušení
	(mm/mín)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(%)	(MPa)
ACOI1S NAMFLEX Č44A	2,24	0 °C	50,80	101,30	47,00	0,44	5,68	10	0,94%	4,71
ACOI1S NAMFLEX Č45A	2,05	0 °C	50,60	101,90	50,60	0,48	7,16	10	0,95%	5,92
ACOI1S NAMFLEX Č46A	2,02	0 °C	51,20	102,00	51,40	0,77	7,14	10	1,50%	5,83
PRÁZDNOVÝ RÁDEK	#####	0 °C	0,00	0,00	0,00	-	-	10		5,48
<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2011)</b>	<b>SMODCH</b>	<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2016)</b>	<b>SMODCH</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Energie do max. hodnoty [J]</b>	<b>SMODCH</b>	<b>Celková energie zkoušky [J]</b>	<b>SMODCH</b>
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )	<b>p</b>	(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )	<b>p</b>		(J)	<b>p</b>	(J)	<b>p</b>
7,581	35,7		1,227	32,4		14%	1,0		1,1	
7,329	43,4	12%	1,231	40,9	3,9	-8%	1,4	0,4	1,4	0,5
7,275	42,4	-7%	1,231	40,2	3,9	-6%	2,0	0,4	2,2	0,5
		-5%								
	<b>40,5</b>			<b>37,8</b>			<b>1,5</b>		<b>1,6</b>	



Příloha 15 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11S NAMFLEX



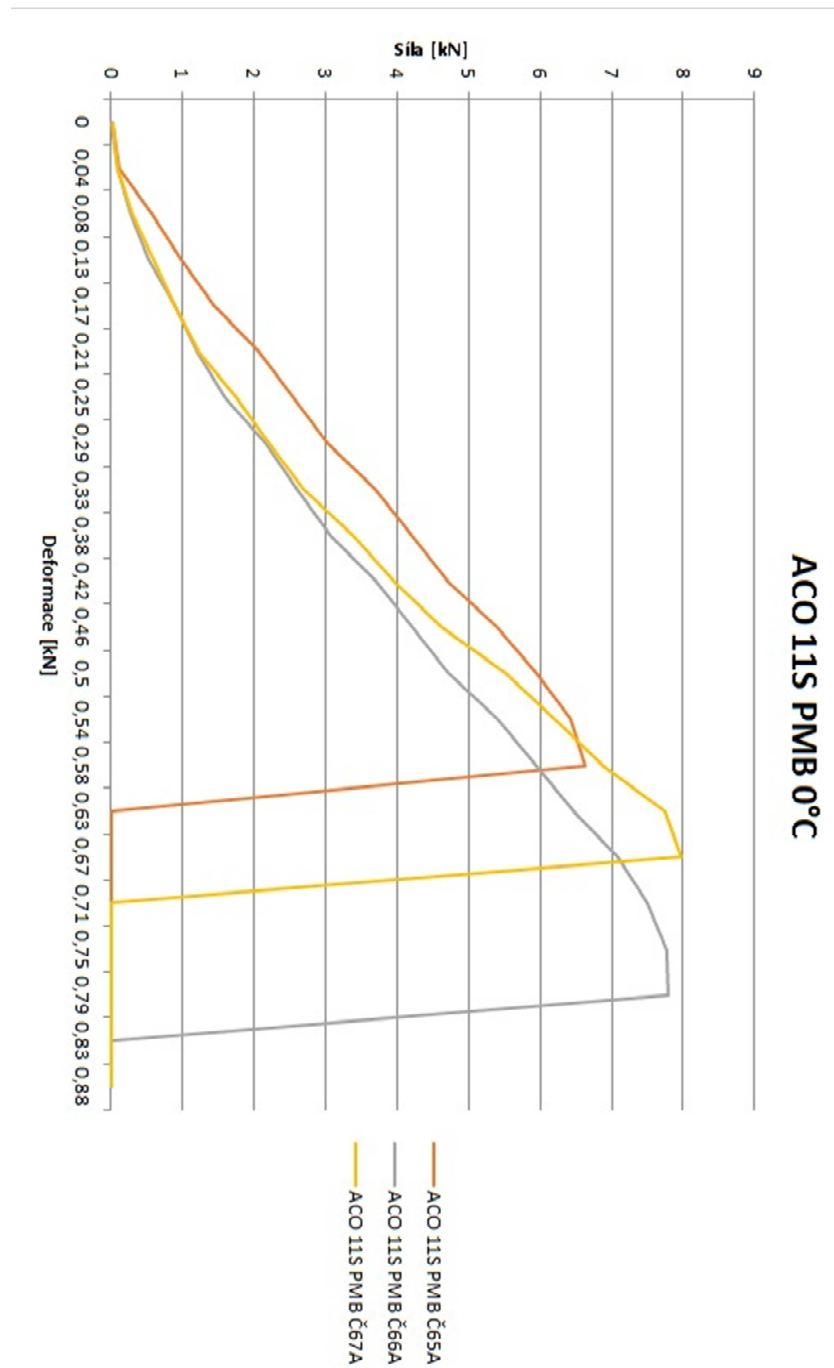


**Příloha 16 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S PMB**

Těleso	Rychlost zat.: (mm/mi n)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deforma ce (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Převročení (%)	Napětí při porušení (MPa)	
ACO 11S PMB Č64A	2,36	0 °C	50,70	102,20	51,20	-	-	10			
ACO 11S PMB Č65A	1,98	0 °C	49,40	101,90	50,60	0,56	6,68	10	1,11%	5,66	
ACO 11S PMB Č66A	2,07	0 °C	50,30	103,20	51,80	0,75	7,81	10	1,45%	6,41	
ACO 11S PMB Č67A	1,92	0 °C	50,50	101,50	51,10	0,63	7,95	10	1,23%	6,61	
<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2011)</b>	<b>SMODCH .P</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2016)</b>	<b>SMODCH.P</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Energie do max. hodnoty [J]</b>	<b>SMODCH .P</b>	<b>Celková energie zkoušky [J]</b>	<b>SMODCH .P</b>
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,329	41,5	2,9	9%	1,231	39,0	2,8	9%	1,4	0,4	1,5	0,5
7,248	46,5		-2%	1,232	44,3		-3%	2,4		2,6	
7,295	48,2		-6%	1,231	45,6		-6%	1,8		1,9	
	<b>45,4</b>				<b>43,0</b>			<b>1,9</b>		<b>2,0</b>	



Příloha 17 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11S PMB





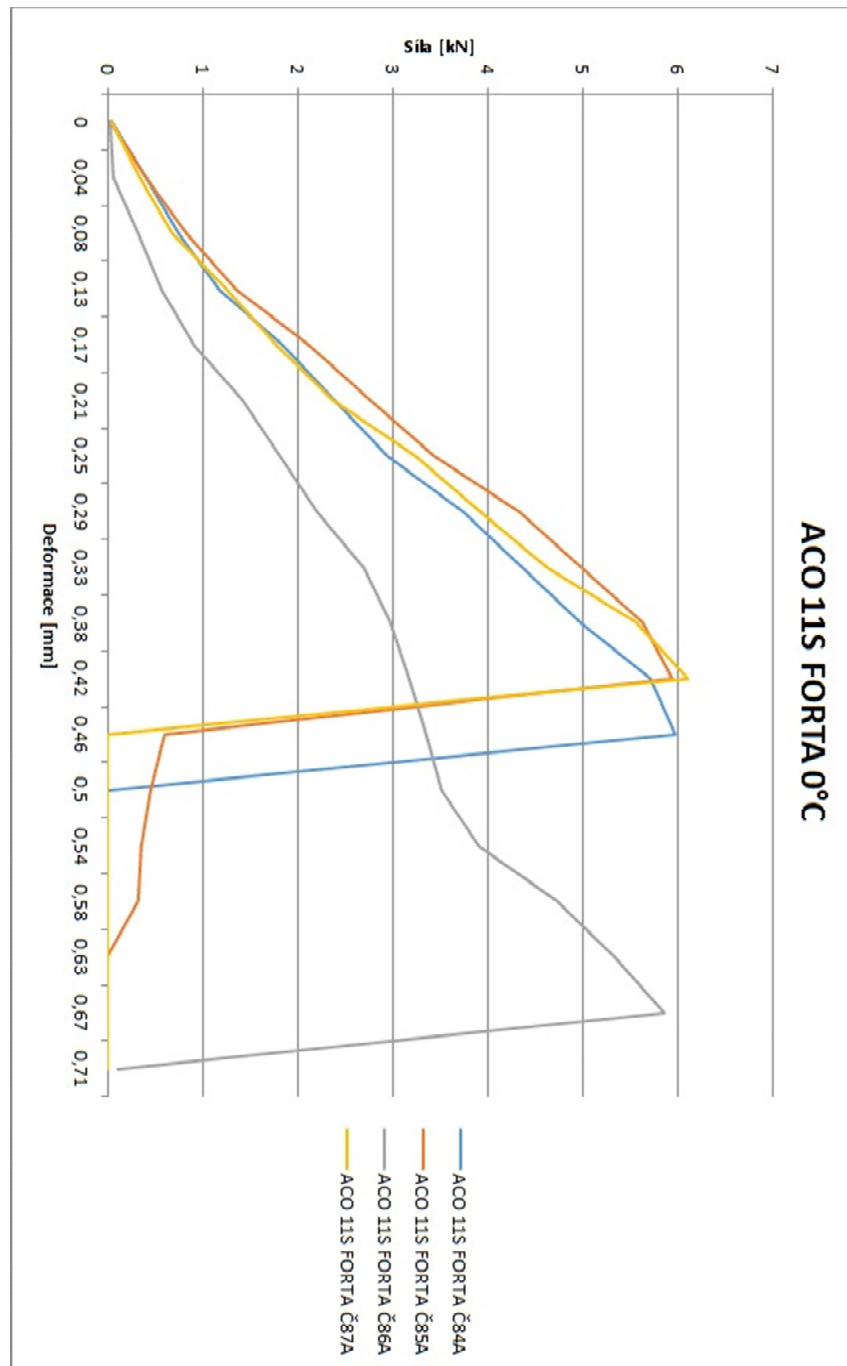


**Příloha 18 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACO 11 S FORTA**

Těleso	Rychlost zat.:	Teplota zkoušení	Tloušťka	Průměr	Výška	Deformace	Síla	Hloubka drážky	Přetvoření	Napětí při porušení
	(mm/mi n)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(%)	(MPa)
ACO 11S FORTA Č84A	1,96	0 °C	49,10	101,40	47,40	0,47	5,93	10	0,99%	5,08
ACO 11S FORTA Č85A	2,33	0 °C	47,80	101,80	50,80	0,42	6,00	10	0,83%	5,26
ACO 11S FORTA Č86A	2,33	0 °C	48,90	101,40	46,90	0,65	5,91	10	1,39%	5,08
ACO 11S FORTA Č87A	2,34	0 °C	49,50	101,90	50,90	0,44	6,13	10	0,86%	5,18
<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2011)</b>	<b>SMODCH</b>	<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2016)</b>	<b>SMODCH</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Energie do max hodnoty [J]</b>	<b>SMODCH</b>	<b>Celková energie zkoušky [J]</b>	<b>SMODCH</b>
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )	<b>p</b>	(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )	<b>p</b>	(-)	(J)	<b>p</b>	(J)	<b>p</b>
7,552	38,3	0,3	1,228	34,9	0,6	2%	1,1	0,2	1,2	1,2
7,316	38,5		1,231	36,3		-2%	1,0		1,2	1,3
7,588	38,6		1,227	34,9		2%	1,6		1,2	1,9
7,309	37,9		1,231	35,8		-1%	1,1		1,2	1,4



Příloha 19 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACO 11S FORTA



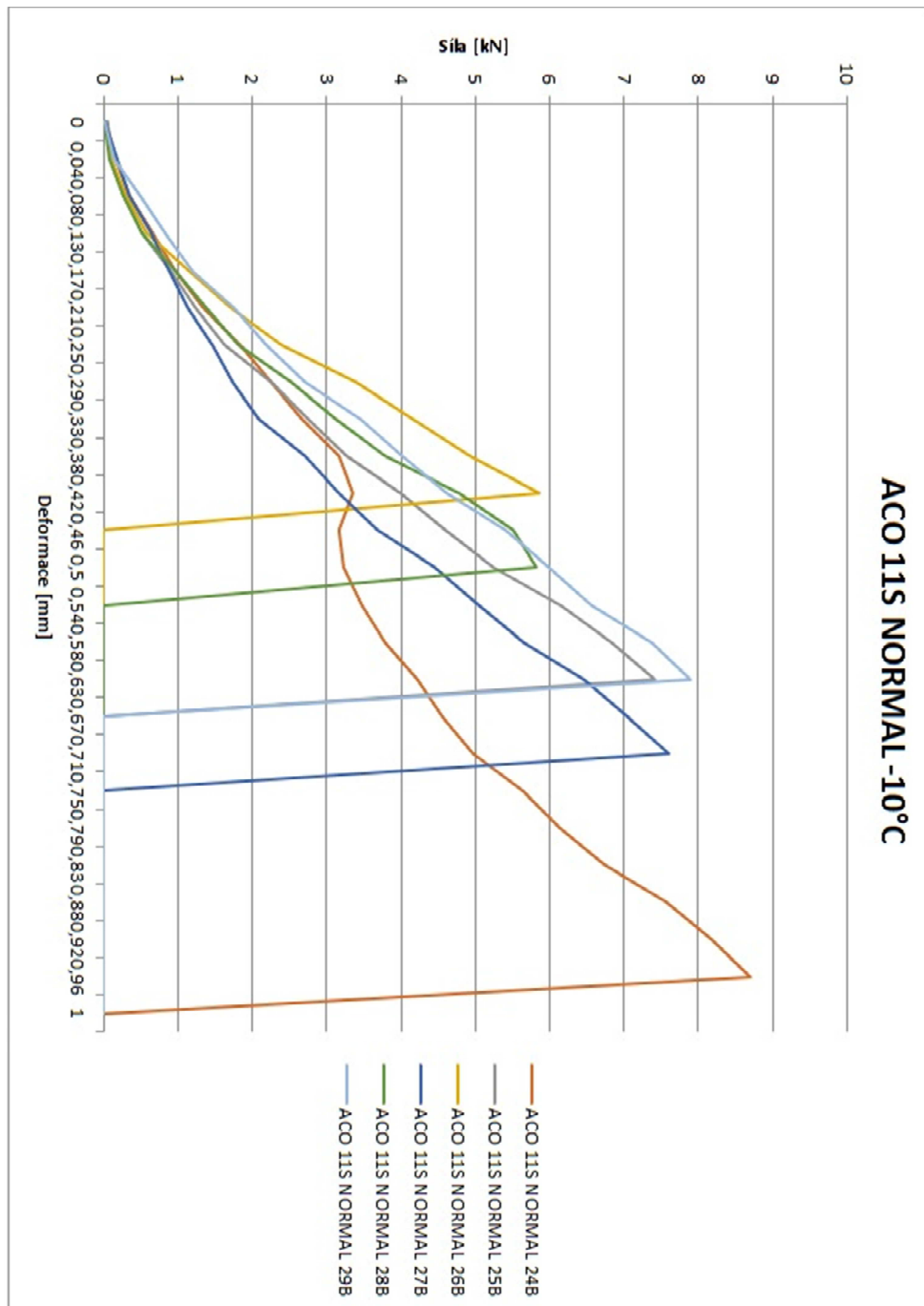


Příloha 20 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S referenční směs

Těleso	Rychlost zat.: (mm/min)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deformace (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	Kritická hodnota (EN 2011)		Kritická hodnota (EN 2016)		Energie do max. hodnoty [J]		Celková energie zkoušky [J]		
											SMODCH <sub>P</sub>	Rozdíl od průměru	Faktor f	SMODCH <sub>P</sub>	Rozdíl od průměru	SMODCH <sub>P</sub>	SMODCH <sub>P</sub>		
ACO 11S NORMAL 24B	2,56	0 °C	50,90	101,40	47,50	0,95	8,57	10	2,00%	7,08	-	-	-	-	-	-	-	-	
ACO 11S NORMAL 25B	2,32	0 °C	51,20	101,80	47,70	0,59	7,30	10	1,24%	5,97	-	-	-	-	-	-	-	-	
ACO 11S NORMAL 26B	2,22	0 °C	51,10	101,30	47,20	0,40	5,91	10	0,85%	4,87	-	-	-	-	-	-	-	-	
ACO 11S NORMAL 27B	2,75	0 °C	51,40	101,80	49,50	0,73	7,62	10	1,47%	6,21	-	-	-	-	-	-	-	-	
ACO 11S NORMAL 28B	2,40	0 °C	50,40	102,80	48,80	0,45	5,78	10	0,92%	4,76	-	-	-	-	-	-	-	-	
ACO 11S NORMAL 29B	1,92	0 °C	51,10	102,10	48,60	0,64	7,93	10	1,32%	6,48	-	-	-	-	-	-	-	-	
(-)	42,3	5,2	#####	(-)	1,228	-	39,0	4,9	#####	(-)	1,6	0,6	1,9	0,7	1,228	41,1	1,8	2,0	
															-6%	1,228	33,5	0,9	0,9
															13%	1,228	42,8	2,5	2,5
															-9%	1,230	32,8	1,0	1,3
															16%	1,230	44,7	1,8	2,6
															-14%	1,230			



Příloha 21 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11S referenční směs



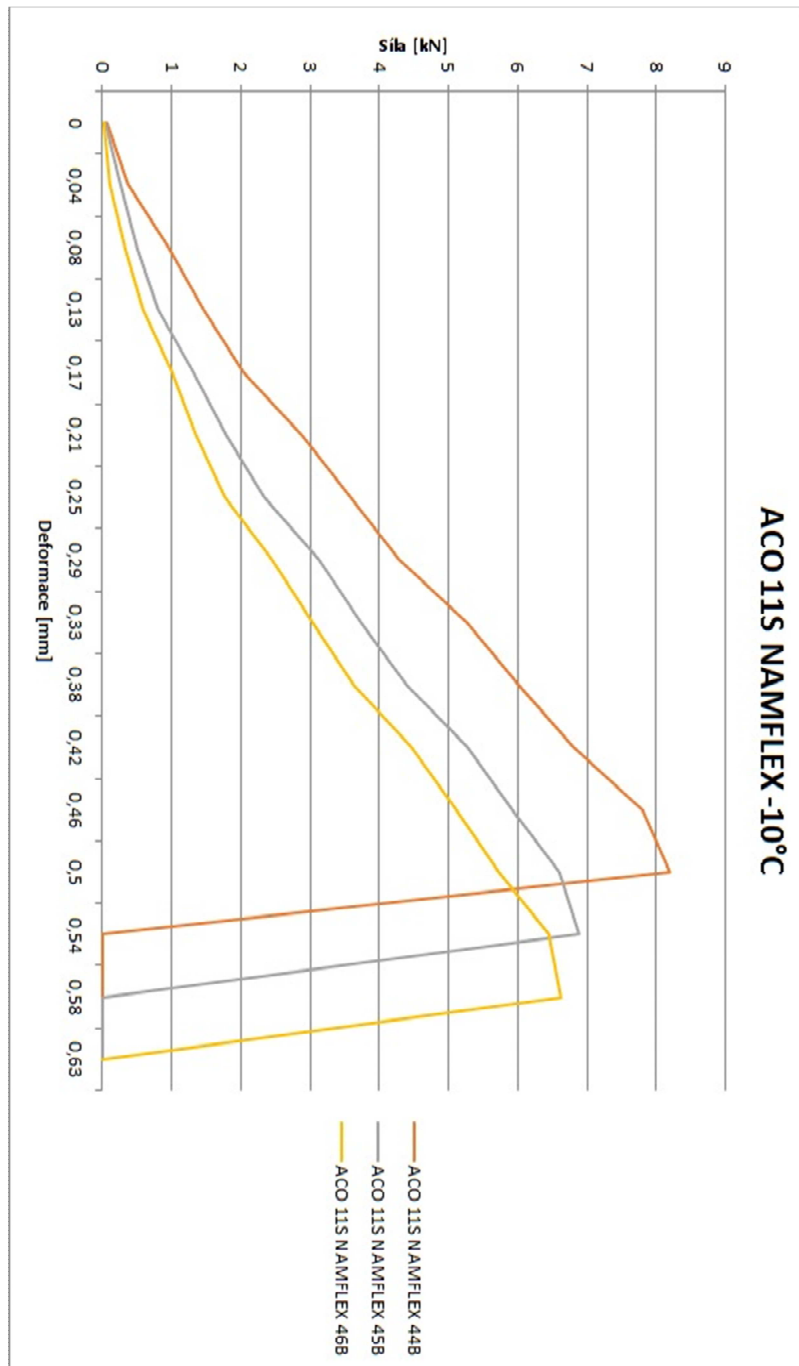


Příloha 22 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S NAMFLEX

Těleso	Rychlost zat.:	Teplota zkoušení	Tloušťka	Průměr	Výška	Deformace	Síla	Hloubka drážky	Přetvoření	Napětí při porušení
	(mm/min)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(%)	(MPa)
ACO 11S NAMFLEX 44B	2,56	-10°C	50,40	101,90	50,80	0,50	8,15	10	0,98%	6,77
ACO 11S NAMFLEX 45B	2,45	-10°C	50,60	101,50	47,70	0,54	6,95	10	1,13%	5,77
ACO 11S NAMFLEX 46B	2,54	-10°C	51,20	101,60	47,30	0,55	6,51	10	1,16%	5,33
0	#####	-10°C	0,00	0,00	0,00	-	-	10		
<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2011)</b>	<b>SMODCH p</b>	<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2016)</b>	<b>SMODCH p</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Energie do max. hodnoty [J]</b>	<b>SMODCH p</b>	<b>Celková energie zkoušky [J]</b>	<b>SMODCH p</b>
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )		(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,316	49,5		1,231	46,7		-14%	1,8		2,0	
7,531	43,4		1,228	39,7		3%	1,4		1,5	
7,560	40,3	3,8	1,228	36,7	4,2	11%	1,6	0,2	1,7	0,2
	<b>44,4</b>			<b>41,0</b>						



Příloha 23 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11S NAMFLEX



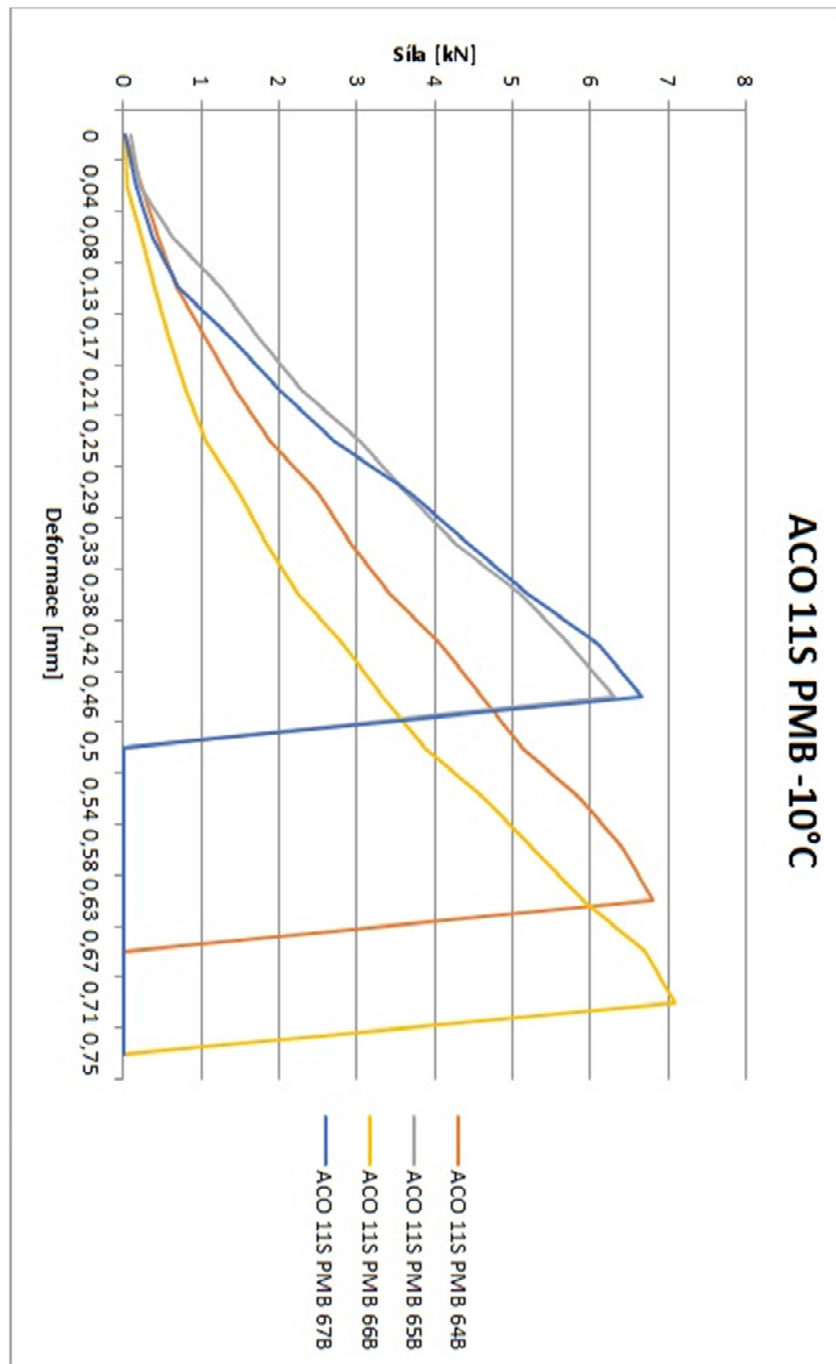


**Příloha 24 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S PMB**

Těleso	Rychlost zat.: (mm/min)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deformace (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	Kritická hodnota (EN 2011)		SMODDCH		Rozdíl od průměru		Kritická hodnota (EN 2016)		SMODDCH		Rozdíl od průměru		Energie do max. hodnoty [J]		SMODDCH		Celková energie zkoušky [J]		SMODDCH						
											Faktor f	p	Faktor f	p	Faktor f	p	Faktor f	p	Faktor f	p	Faktor f	p	Faktor f	p	Faktor f	p									
ACO 11S PMB 64B	2,36	-10°C	50,60	101,80	47,60	0,62	6,70	10	1,30%	5,54	(-)	0,9	1%	1,9	0,3	2,1	1,7	0,3	5,50	5,54	1,2	2%	1,2	1,5	1,6	1,7	0,3								
ACO 11S PMB 65B	2,29	-10°C	49,50	101,30	47,60	0,42	6,55	10	0,88%	5,57	(-)	0,9	1%	1,3	0,3	1,4	1,7	0,3	5,84	5,57	1,8	-4%	1,8	1,5	1,8	1,7	0,3								
ACO 11S PMB 66B	2,36	-10°C	49,40	102,70	47,90	0,66	6,95	10	1,38%	5,84	(-)	0,9	1%	1,8	0,3	1,8	1,7	0,3	5,50	5,84	1,2	-4%	1,8	1,5	1,8	1,7	0,3								
ACO 11S PMB 67B	2,24	-10°C	50,20	101,20	47,30	0,46	6,55	10	0,97%	5,50	(-)	0,9	1%	1,9	0,3	2,1	1,7	0,3	5,50	5,50	1,2	2%	1,2	1,5	1,6	1,7	0,3								
Faktor f																																			
(-)																																			
7,538	41,8																																		
7,538	42,0																																		
7,517	43,9																																		
7,560	41,5																																		



Příloha 25 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11S PMB





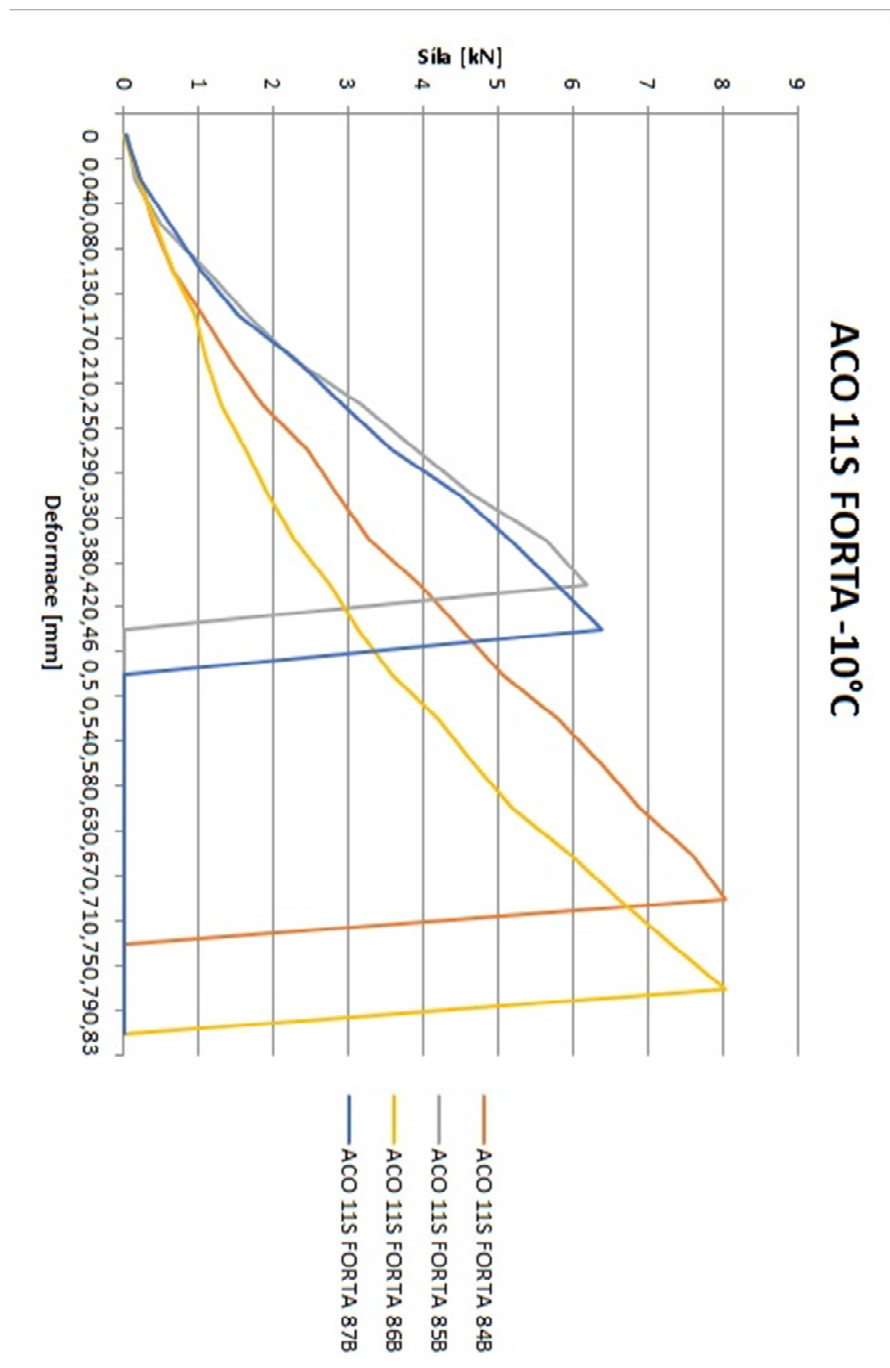


**Příloha 26 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACO 11 S FORTA**

Těleso	Rychlost zat.:	Teplota zkoušení	Tloušťka	Průměr	Výška	Deformace	Síla	Hloubka drážky	Přetvoření	Napětí při porušení
	(mm/mi n)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(%)	(MPa)
ACO 11S FORTA 84B	2,61	-10°C	49,10	101,90	50,70	0,72	7,93	10	1,42%	6,76
ACO 11S FORTA 85B	2,28	-10°C	47,90	101,60	47,20	0,41	6,11	10	0,87%	5,35
ACO 11S FORTA 86B	2,34	-10°C	49,30	101,80	51,20	0,79	7,92	10	1,54%	6,73
ACO 11S FORTA 87B	2,13	-10°C	49,30	101,60	47,20	0,48	6,63	10	1,02%	5,64
<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2011)</b>	<b>SMODDCH</b>	<b>Faktor f</b>	<b>Kritická hodnota (EN 2016)</b>	<b>SMODDCH</b>	<b>Rozdíl od průměru</b>	<b>Energie do max hodnoty [J]</b>	<b>SMODDCH</b>	<b>Celková energie zkoušky [J]</b>	<b>SMODDCH</b>
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )	<b>P</b>	(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )	<b>P</b>	(-)	(J)	<b>P</b>	(J)	<b>P</b>
		Rozdíl od průměru			Rozdíl od průměru					
7,322	49,5	-9%	1,231	46,6	-11%	2,7	2,7	2,7	2,7	0,7
7,567	40,5	11%	1,228	36,8	13%	1,1	1,1	1,2	1,2	
7,289	49,0	-8%	1,231	46,4	-10%	2,6	1,9	2,6	2,0	
7,567	42,7	6%	1,228	38,8	8%	1,1	1,1	1,5	2,0	



Příloha 27 Graf průběhu zatěžování při -10 stupních ACO 11S FORTA





**Příloha 28 Výsledky Marshallovy zkoušky ACO 11 S**

Marshallova zkouška			
Směs	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]	Míra tuhosti [kN/(mm*10)]
ACO 11 S	21,7	1,6	135,6
ACO 11 S PMB	22,8	1,8	126,7
ACO 11 S NAMFLEX	19,7	1,8	109,4
ACO 11 S FORTA	18,5	1,9	97,4

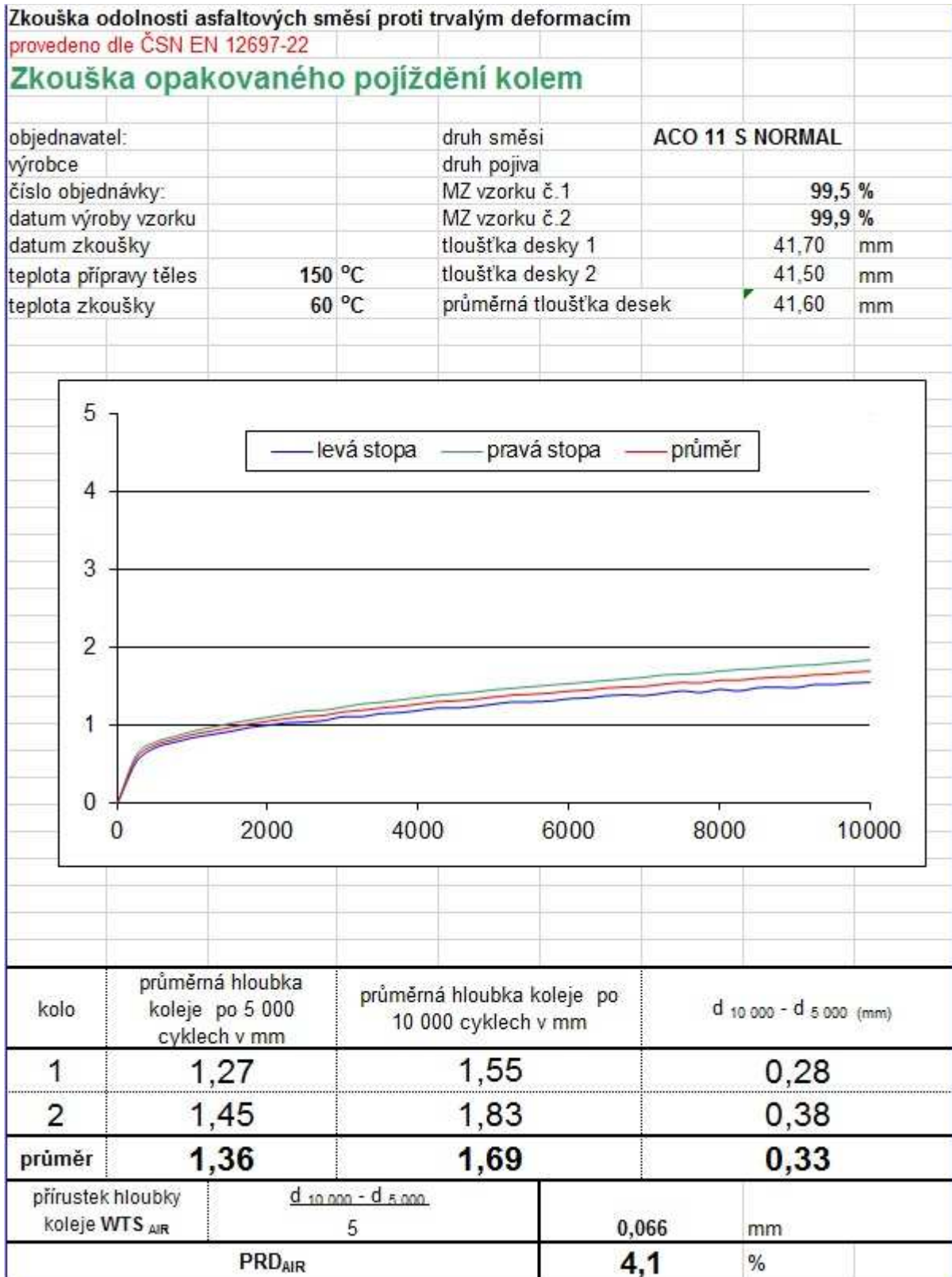


**Příloha 29 Rozměry a objemová hmotnost desek ACO 11 S**

Deska	Tloušťka [mm]							průměr	Hmotnost na suchu [g]	Hmotnost ve vodě [g]	Hmotnost po vyndání [g]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Míra zhuštění [%]
	t1	t2	t3	t4	t5	t6							
Ref A	44,2	44,0	40,8	41,9	41,2	42,0	42,4	8958,2	5617,0	8989,4	2652,0	98,4%	
Ref B	43,7	42,7	44,0	44,6	42,5	41,9	43,2	8956,1	5583,9	9006,0	2612,9	96,9%	
NamA	42,3	42,6	41,6	43,9	41,8	40,8	42,2	8925,1	5600,5	8959,8	2652,5	98,9%	
NamB	43,6	43,4	41,4	44,1	41,4	41,1	42,5	8925,5	5588,0	8960,7	2642,1	98,5%	
ForA	43,2	42,6	40,5	41,5	40,7	42,5	41,8	8829,6	5499,1	8870,6	2614,6	98,0%	
ForB	41,8	41,7	42,9	42,4	41,3	41,1	41,9	8877,4	5543,3	8914,2	2629,3	98,5%	
pmBA	44,9	43,0	41,5	43,2	44,3	42,4	43,2	8944,9	5565,6	9027,7	2579,5	96,0%	
pmBB	45,5	41,7	41,9	44,8	43,3	45,1	43,7	8938,2	5571,7	9026,6	2582,9	96,1%	



**Příloha 30 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S referenční směs**





**Příloha 31 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S NAMFLEX**

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím			
provedeno dle ČSN EN 12697-22			
Zkouška opakovaného poježdění kolem			
objednavatel:		druh směsi	ACO 11 S NAMFLEX
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	42,20 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	42,50 mm
teplota zkoušky	60 °C	průměrná tloušťka desek	42,35 mm

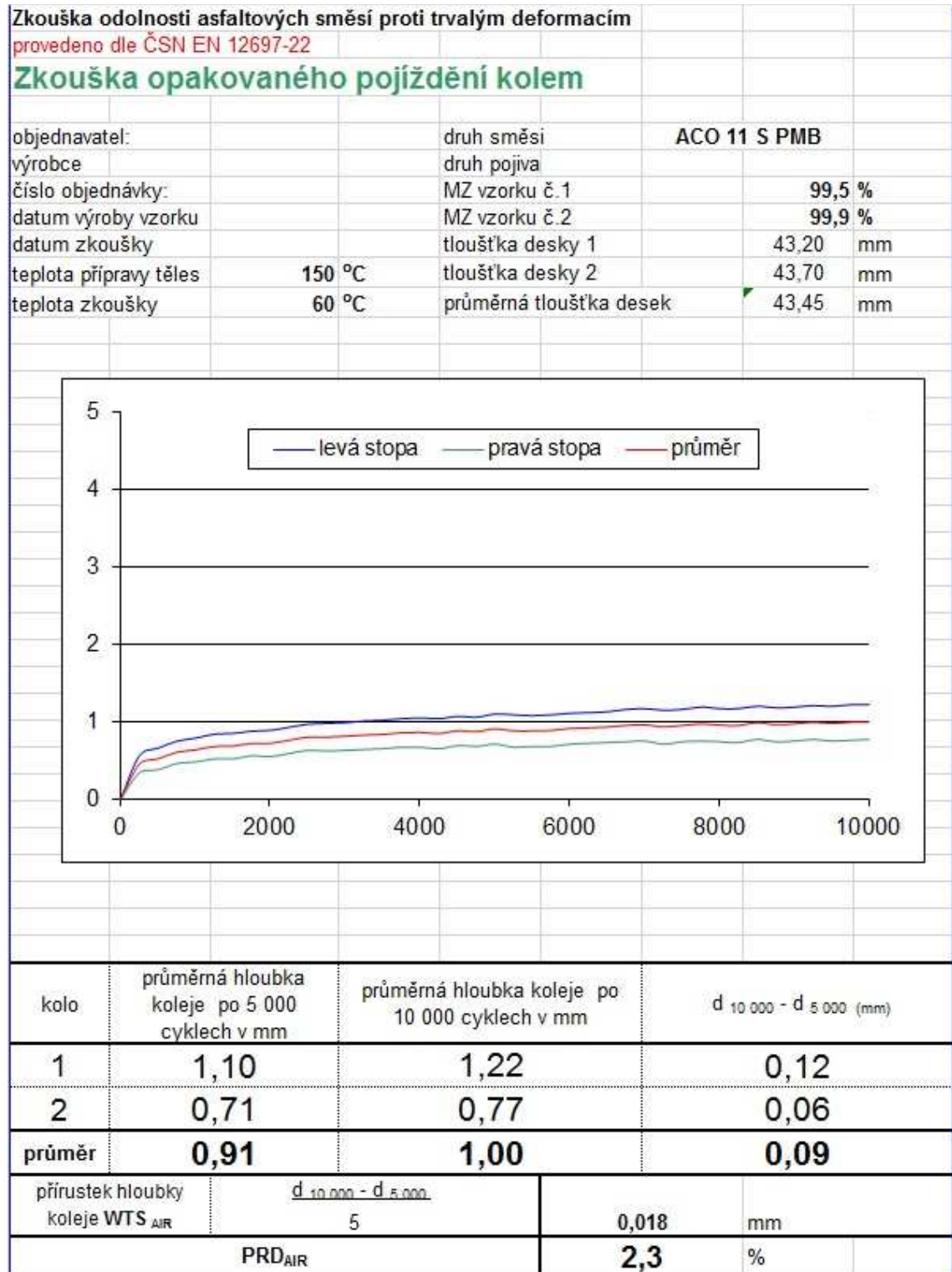
  

kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,03	1,18	0,15
2	0,98	1,13	0,15
<b>průměr</b>	<b>1,01</b>	<b>1,16</b>	<b>0,15</b>

přírůstek hloubky koleje WTS <sub>AIR</sub>	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$	0,03	mm
<b>PRD<sub>AIR</sub></b>		<b>2,7</b>	<b>%</b>

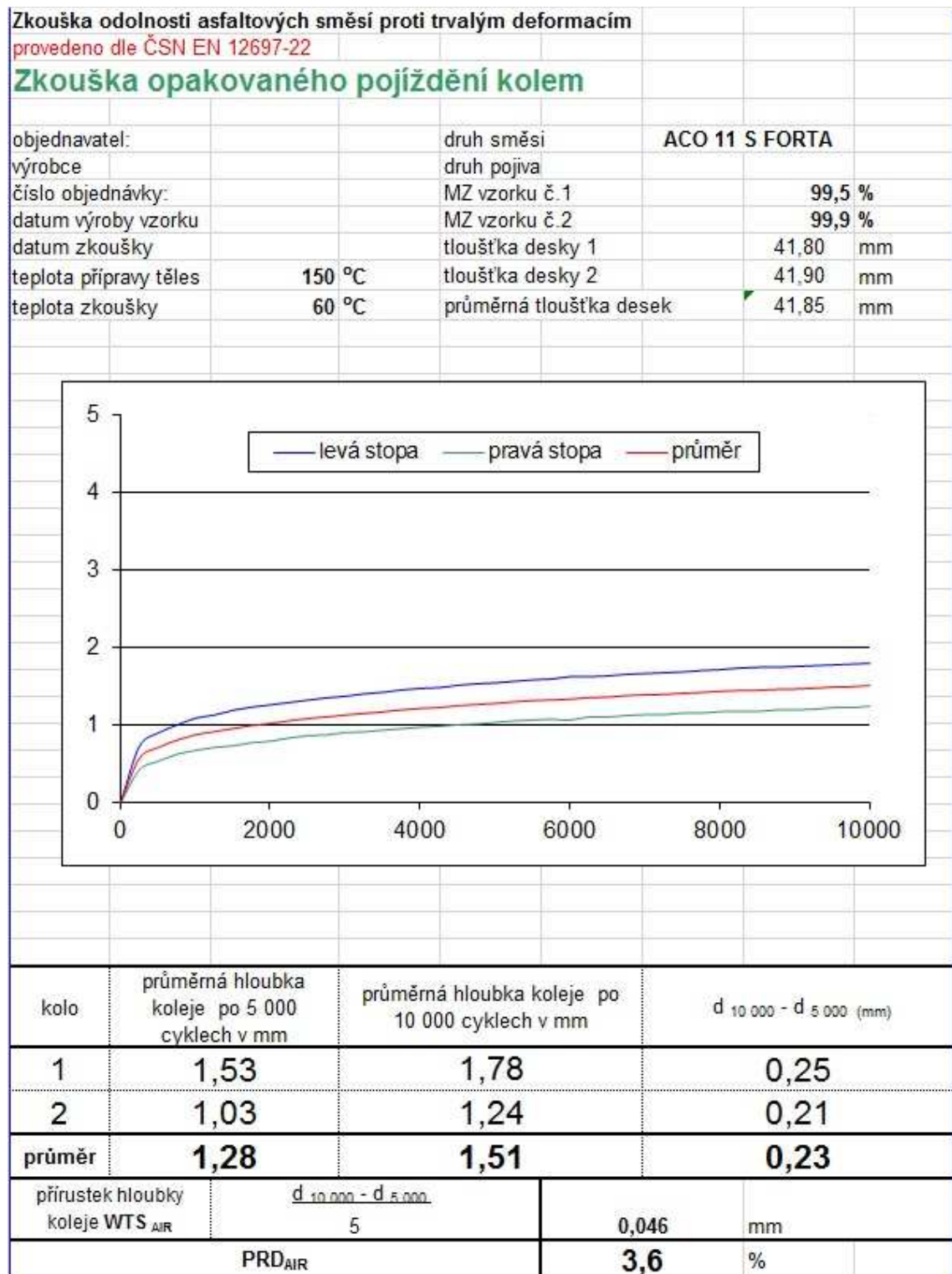


**Příloha 32 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S PMB**





**Příloha 33 Výsledky poježdění kolem ACO 11 S FORTA**







**Příloha 34 Rozměry zkušebních těles ACL 16 +**

Rozměry					
Vzorek	Výška [mm]	Průměr [mm]	Objem [mm <sup>3</sup> ]	Poznámka	
ACL 16+ normal 2x25 úderý					
Č11	70,30	101,80	572191	Teplota místnosti 22,2°C Teplota vody 18,8°C	
Č12	70,70	101,80	575446		
Č13	71,10	101,70	577566		
Č14	69,80	101,70	567005		
Č15	69,90	101,60	566702		
Č16	69,30	101,50	560732		
Č17	70,20	101,80	571377		
Č18	68,40	102,10	560012		
ACL 16+ normal 2x50 úderý					
Č21	66,70	102,10	546094	Hustota vody při zkušební teplotě v Mg/m <sup>3</sup> = 0,9985	
Č22	65,40	103,10	545990		
Č23	66,50	101,90	542325		
Č24	65,80	101,60	533462		
Č25	67,30	101,70	546697		
Č26	65,10	103,20	544541		
Č27	67,20	101,90	548034		
ACL 16+ FORTA 2x25 úderý					
Č31	70,50	102,10	577206		
Č32	70,90	101,70	575941		
Č33	70,70	102,10	578843		
Č34	69,90	101,90	570053		
Č35	70,80	101,90	577393		
Č36	71,10	101,70	577566		
Č37	71,30	101,70	579190		
Č38	71,00	101,90	579024		
ACL 16+ FORTA 2x50 úderý					
Č41	67,50	101,90	550481		
Č42	66,80	103,00	556597		
Č43	68,00	102,00	555647		
Č44	68,40	101,90	557820		
Č45	66,90	103,00	557430		
Č46	67,20	102,20	551266		
Č47	69,70	101,70	566193		
ACL 16+ NAMFLEX 2x25 úderý					
Č51	69,70	101,90	568422		
Č52	69,90	102,00	571173		
Č53	69,30	102,20	568493		
Č54	69,80	101,50	564778		
Č55	69,90	101,80	568935		
Č56	70,20	101,90	572500		
Č57	66,50	103,20	556251		
Č58	71,70	101,60	581295		
ACL 16+ NAMFLEX 2x50 úderý					
Č61	67,70	101,80	551029		
Č62	65,70	103,10	548495		
Č63	66,90	102,30	549879		
Č64	66,60	101,90	543141		
Č65	67,50	101,70	548322		
Č66	66,70	102,20	547164		
Č67	67,50	102,10	552644		



**Příloha 35 Objemové hmotnosti ztuhnutých těles ACL 16 + část A**

Objemová hmotnost ztuhnutých vzorků									
Vzorek	M <sub>na suchu</sub> [g]	M <sub>ve vodě</sub> [g]	M <sub>po vyzdání</sub> [g]	ρ/p <sub>psd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost V <sub>m</sub> [%]	Objemová hmotnost průměrná [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost průměrná [%]	Poznámka	
ACL 16+ normal 2x25 úderů									
Č11	1192,7	X	X	2084,4	X	2100,9	X	Teplota místnosti 22,2°C Teplota vody 18,8°C	
Č12	1199,7	X	X	2084,8	X				
Č13	1192,1	X	X	2064,0	X				
Č14	1195,3	X	X	2108,1	X				
Č15	1196,6	X	X	2111,5	X				
Č16	1196,0	X	X	2132,9	X				
Č17	1190,3	X	X	2083,2	X				
Č18	1197,4	X	X	2138,2	X				
ACL 16+ normal 2x50 úderů									
Č21	1197,6	702,2	1217,1	2322,4	9,3%	2320,5	9,4%	Hustota vody při zkoušební teplotě v M/g/m <sup>3</sup> = 0,9985	
Č22	1196,8	698,7	1211,7	2329,5	9,0%				
Č23	1191,5	696,0	1208,5	2321,4	9,3%				
Č24	1190,5	695,3	1206,9	2323,6	9,2%				
Č25	1193,7	696,6	1211,4	2315,3	9,6%				
Č26	1200,4	701,0	1216,5	2325,2	9,2%				
Č27	1200,9	696,9	1216,9	2306,0	9,9%				
ACL 16+ FORTA 2x25 úderů									
Č31	1199,5	X	X	2078,1	X	2076,2	X		
Č32	1198,3	X	X	2080,6	X				
Č33	1193,0	X	X	2061,0	X				
Č34	1194,1	X	X	2094,7	X				
Č35	1198,3	X	X	2075,4	X				
Č36	1201,9	X	X	2081,0	X				
Č37	1200,7	X	X	2073,1	X				
Č38	1196,3	X	X	2066,1	X				



**Příloha 36 Objemové hmotnosti ztuhněných těles ACL 16 + část B**

Objemová hmotnost ztuhněných vzorků									
Vzorek	M <sub>na suchu</sub> [g]	M <sub>ve vodě</sub> [g]	M <sub>po vyndání</sub> [g]	ρ [pbssd [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost V <sub>m</sub> [%]	Objemová hmotnost průměrná [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost průměrná [%]	Poznámka	
ACL 16+ FORTA 2x50 úderů									
Č41	1198,8	702,1	1221,4	2305,1	9,6%	2289,15	10,2%		
Č42	1190,2	694,4	1216,8	2274,9	10,8%				
Č43	1198,2	704,0	1225,2	2295,5	10,0%				
Č44	1193,1	701,0	1219,2	2299,0	9,8%				
Č45	1195,7	700,3	1222,6	2285,9	10,3%				
Č46	1197,3	698,2	1220,6	2288,5	10,2%				
Č47	1197,6	701,3	1226,9	2275,2	10,8%				
ACL 16+ NAMFLEX 2x25 úderů									
Č51	1198,6	X	X	2108,6	X	2102,3	X	Č57 vyřazeno, bylo ztuhněno navíc 25 úderů	
Č52	1198,1	X	X	2097,6	X				
Č53	1201,0	X	X	2112,6	X				
Č54	1196,4	X	X	2118,4	X				
Č55	1202,8	X	X	2114,1	X				
Č56	1202,3	X	X	2100,1	X				
Č58	1200,0	X	X	2064,4	X				
ACL 16+ NAMFLEX 2x50 úderů									
Č61	1200,7	703,2	1221,6	2312,7	9,9%	2304,9	10,2%		
Č62	1201,0	702,8	1221,7	2311,1	10,0%				
Č63	1200,7	702,5	1224,3	2297,7	10,5%				
Č64	1195,4	699,4	1216,0	2310,5	10,0%				
Č65	1195,2	699,3	1219,4	2294,6	10,6%				
Č66	1200,0	705,1	1226,0	2300,3	10,4%				
Č67	1204,7	705,8	1227,1	2307,5	10,1%				



**Příloha 37 Maximální objemová hmotnost ACL 16 +**

<b>Maximální objemová hmotnost</b>						
<b>ACL 16 +</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001321	701,9	1699,1	2628,3	24,9	0,9971	2560,2
<b>ACL 16 + FORTA</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001316	707,4	1708,9	2628,9	24,9	0,9971	2549,5
<b>ACL 16 + NAMFLEX</b>						
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	$m_p$ [g]	$m_{ps}$ [g]	$m_{psv}$ [g]	T [°C]	$\rho_{vody}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0,001315	699,8	1693,1	2618,8	24,9	0,9971	2568,0



**Příloha 38 Moduly tuhosti při 0 stupních ACL 16 +**

Vzorek	Modul 0°C [MPa]	Modul 0°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odhylka	Poznámka
ACL 16+ normal 2x50 údery						
Č21	15686	15655	15671	14530	8%	Dovolená odchylka od průměru +10% a -20%
Č22	15273	14232	14753		2%	
Č23	14795	14493	14644		1%	
Č24	13891	14411	14151		-3%	
Č25	14107	14749	14428		-1%	
Č26	14711	15025	14868		2%	
Č27	13305	13080	13193		-9%	
ACL 16+ FORTA 2x50 údery						
Č41	14290	14344	14317	14147	1%	
Č42	13516	14301	13909		-2%	
Č43	14995	14672	14834		5%	
Č44	15632	13473	14553		3%	
Č45	15123	14445	14784		5%	
Č46	14652	14040	14346		1%	
Č47	12738	11831	12285		-13%	
ACL 16+ NAMFLEX 2x50 údery						
Č61	13384	12898	13141	13505	-3%	
Č62	14172	14292	14232		5%	
Č63	14352	13727	14040		4%	
Č64	13670	12853	13262		-2%	
Č65	13869	12828	13349		-1%	
Č66	13873	12607	13240		-2%	
Č67	13157	13384	13271		-2%	



**Příloha 39 Moduly tuhosti při 15 stupních ACL 16 +**

Vzorek	Modul15°C [MPa]	Modul 15°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odchylka	Poznámka
ACL 16+ normal 2x50 údery						
Č21	6619	7273	6946	6797	2%	
Č22	6853	6619	6736		-1%	
Č23	7385	6573	6979		3%	
Č24	6486	6719	6603		-3%	
Č25	6717	7005	6861		1%	
Č26	7118	6962	7040		4%	
Č27	6289	6533	6411		-6%	
ACL 16+ FORTA 2x50 údery						
Č41	6623	7341	6982	7146	-2%	
Č42	7286	7452	7369		3%	
Č43	7575	7397	7486		5%	
Č44	6854	6917	6886		-4%	
Č45	7062	7127	7095		-1%	
Č46	7336	7770	7553		6%	
Č47	6327	6983	6655		-7%	
ACL 16+ NAMFLEX 2x50 údery						
Č61	6849	6889	6869	6955	-1%	
Č62	7429	7521	7475		7%	
Č63	7162	7007	7085		2%	
Č64	6634	7124	6879		-1%	
Č65	6850	6502	6676		-4%	
Č66	7143	7118	7131		3%	
Č67	6729	6410	6570		-6%	



**Příloha 40 Moduly tuhosti při 27 stupních ACL 16 +**

Vzorek	Modul 27°C [MPa]	Modul 27°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odchylka	Poznámka
ACL 16+ normal 2x50 údery						
Č21	3108	2796	2952	3001	-2%	
Č22	3185	3240	3213		7%	
Č23	3368	3010	3189		6%	
Č24	2809	3021	2915		-3%	
Č25	2993	2714	2854		-5%	
Č26	3051	3191	3121		4%	
Č27	2796	2738	2767		-8%	
ACL 16+ FORTA 2x50 údery						
Č41	3700	3444	3572	3577	0%	
Č42	3368	3556	3462		-3%	
Č43	3947	3674	3811		7%	
Č44	3639	3668	3654		2%	
Č45	3491	3407	3449		-4%	
Č46	3666	3428	3547		-1%	
Č47	3816	3267	3542		-1%	
ACL 16+ NAMFLEX 2x50 údery						
Č61	2826	2607	2717	2845	-5%	
Č62	2936	2776	2856		0%	
Č63	3068	2788	2928		3%	
Č64	2782	2752	2767		-3%	
Č65	2632	2867	2750		-3%	
Č66	3030	3029	3030		6%	
Č67	2928	2806	2867		1%	



**Příloha 41 Moduly tuhosti při 40 stupních ACL 16 +**

Vzorek	Modul 40°C [MPa]	Modul 40°C [MPa]	Průměr	Tuhost	Odhylka	Poznámka
ACL 16+ normal 2x50 údery						
Č21	928	1061	995	1073	-7%	
Č22	1087	986	1037		-3%	
Č23	1065	1062	1064		-1%	
Č24	1004	1066	1035		-4%	
Č25	1143	1112	1128		5%	
Č26	1146	1026	1086		1%	
Č27	1217	1118	1168		9%	
ACL 16+ FORTA 2x50 údery						
Č41	1322	1287	1305	1426	-9%	
Č42	1204	1279	1242		-13%	
Č43	1374	1525	1450		2%	
Č44	1665	1402	1534		8%	
Č45	1387	1378	1383		-3%	
Č46	1664	1577	1621		13,6%	
Č47	1389	1512	1451		2%	
ACL 16+ NAMFLEX 2x50 údery						
Č61	987	973	980	1037	-5%	
Č62	1123	980	1052		1%	
Č63	1016	1041	1029		-1%	
Č64	1096	1054	1075		4%	
Č65	931	952	942		-9%	
Č66	1212	1098	1155		11%	
Č67	1083	967	1025		-1%	





Příloha 42 Rozřazení těles na ITSR ACL 16 +

Objemová hmotnost zhutněných vzorků										
Vzorek	$\rho/p_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Skupina	Vzorek	$\rho/p_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Odhychka [kg/m <sup>3</sup> ]			
ACL 16+ normal 2x25 úderů										
Č11	2084,4	2100,9	A	Č11	2084,4	2098,7	2,2			
Č12	2084,8			Č13	2064,0					
Č13	2064,0			Č14	2108,1					
Č14	2108,1			Č18	2138,2					
Č15	2111,5		Č12	2084,8						
Č16	2132,9		Č15	2111,5						
Č17	2083,2		Č16	2132,9						
Č18	2138,2		Č17	2083,2						
ACL 16+ FORTA 2x25 úderů										
Č31	2078,1	2076,2	A	Č31	2078,1	2076,7	-0,5			
Č32	2080,6			Č33	2061,0					
Č33	2061,0			Č34	2094,7					
Č34	2094,7			Č37	2073,1					
Č35	2075,4		Č32	2080,6						
Č36	2081,0		Č35	2075,4						
Č37	2073,1		Č36	2081,0						
Č38	2066,1		Č38	2066,1						
ACL 16+ NAMFLEX 2x25 úderů										
Č51	2108,6		2102,3	A	Č51			2108,6	2113,7	-11,5
Č52	2097,6	Č54			2118,4					
Č53	2112,6	Č55			2114,1					
Č54	2118,4	Č58			2064,4					
Č55	2114,1	Č52		2097,6						
Č56	2100,1	Č53		2112,6						
Č58	2064,4	Č56		2100,1						
ACL 16+ NAMFLEX 2x25 úderů										
Č51	2108,6	2103,4	B	Č51	2108,6	2103,4	-1,2			
Č52	2097,6			Č54	2118,4					
Č53	2112,6			Č55	2114,1					
Č54	2118,4			Č58	2064,4					
Č55	2114,1		Č52	2097,6						
Č56	2100,1		Č53	2112,6						
Č58	2064,4		Č56	2100,1						



Příloha 43 Výsledky ITRR ACL 16 +

Vzorek	Síla [kN]	Deformace [mm]	průměr [mm]	Výška [mm]	Pevnost v příčném tahu [MPa]	Průměrná pevnost v příčném tahu [MPa]	ITSR [%]	poznámka
ACL 16+ normal 2x25 údery								
Č11	11,34	3,34	101,80	70,13	1,011	1,122	79,8%	
Č13	11,94	3,64	101,70	71,10	1,051			
Č14	13,58	3,06	101,70	69,80	1,218			
Č18	13,25	2,43	102,10	68,40	1,208	1,406	79,8%	
Č12	14,23	2,51	101,80	70,70	1,259			
Č15	16,75	2,35	101,60	69,90	1,501			
Č16	17,16	2,68	101,50	69,30	1,553	1,310		
Č17	14,70	2,41	101,80	70,20	1,310			
ACL 16+ FORTA 2x25 údery								
Č31	11,20	2,56	102,10	70,50	0,991	1,038	74,9%	
Č33	11,75	3,85	102,10	70,70	1,036			
Č34	12,22	2,60	101,90	69,90	1,092			
Č37	11,78	2,44	101,70	71,30	1,034	1,387	74,9%	
Č32	16,89	1,92	101,70	70,90	1,491			
Č35	16,17	2,06	101,90	70,80	1,427			
Č36	15,73	2,10	101,70	71,10	1,385	1,243		
Č38	14,13	2,02	101,90	71,00	1,243			
ACL 16+ NAMFLEX 2x25 údery								
Č51	12,52	2,98	101,90	69,70	1,122	1,048	79,9%	
Č54	10,83	2,71	101,50	69,80	0,973			
Č55	12,76	2,98	101,80	69,90	1,142			
Č58	10,93	3,24	101,60	71,70	0,955	1,312	79,9%	
Č52	15,39	3,06	102,00	69,90	1,374			
Č53	14,37	3,08	102,20	69,30	1,292			
Č56	14,27	1,91	101,90	70,20	1,270			

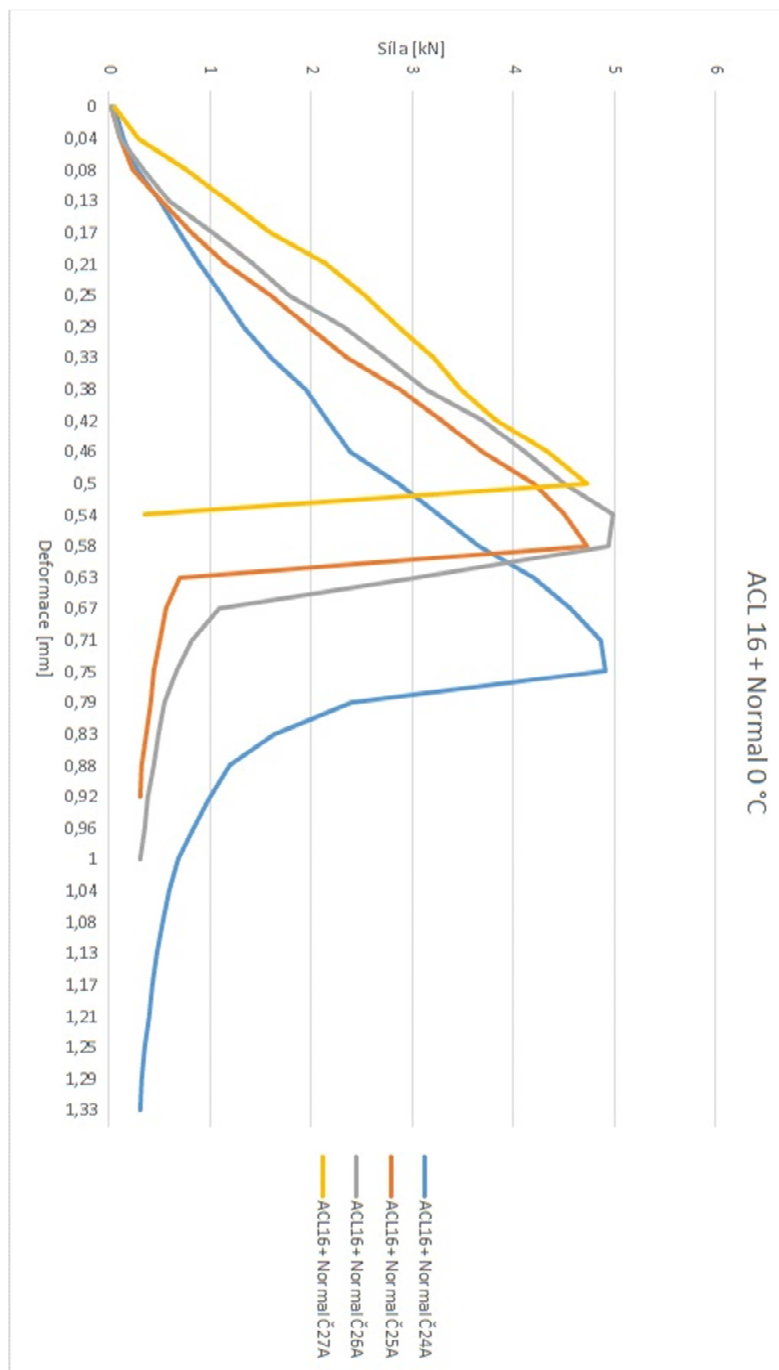


Příloha 44 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACL 16 + referenční směs

Těleso	Rychlost zat.: (mm/mi n)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deforma ce (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	
ACL16+ Normal Č24A	2,51	0 °C	50,80	101,80	49,40	0,72	4,94	10	1,46%	4,07	
ACL16+ Normal Č25A	2,36	0 °C	50,70	101,30	48,70	0,57	4,69	10	1,17%	3,89	
ACL16+ Normal Č26A	2,22	0 °C	51,10	102,70	48,60	0,53	4,95	10	1,09%	4,02	
ACL16+ Normal Č27A	2,65	0 °C	50,90	101,80	49,10	0,52	4,79	10	1,06%	3,94	
Faktor f	Kritická hodnota (EN 2011)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Faktor f	Kritická hodnota (EN 2016)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Energie do max. hodnoty [J]	SMODCH .P	Celková energie zkoušky [J]	SMODCH .P
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,411	30,2		-2%	1,230	28,1		-2%	1,5		2,1	
7,460	29,0	0,5	2%	1,230	26,8	0,5	2%	1,1	0,2	1,5	1,7
7,467	30,0		-1%	1,230	27,7		-1%	1,1		1,8	
7,432	29,3		1%	1,230	27,2		1%	1,4		1,5	0,3



Příloha 45 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACL 16 + referenční směs



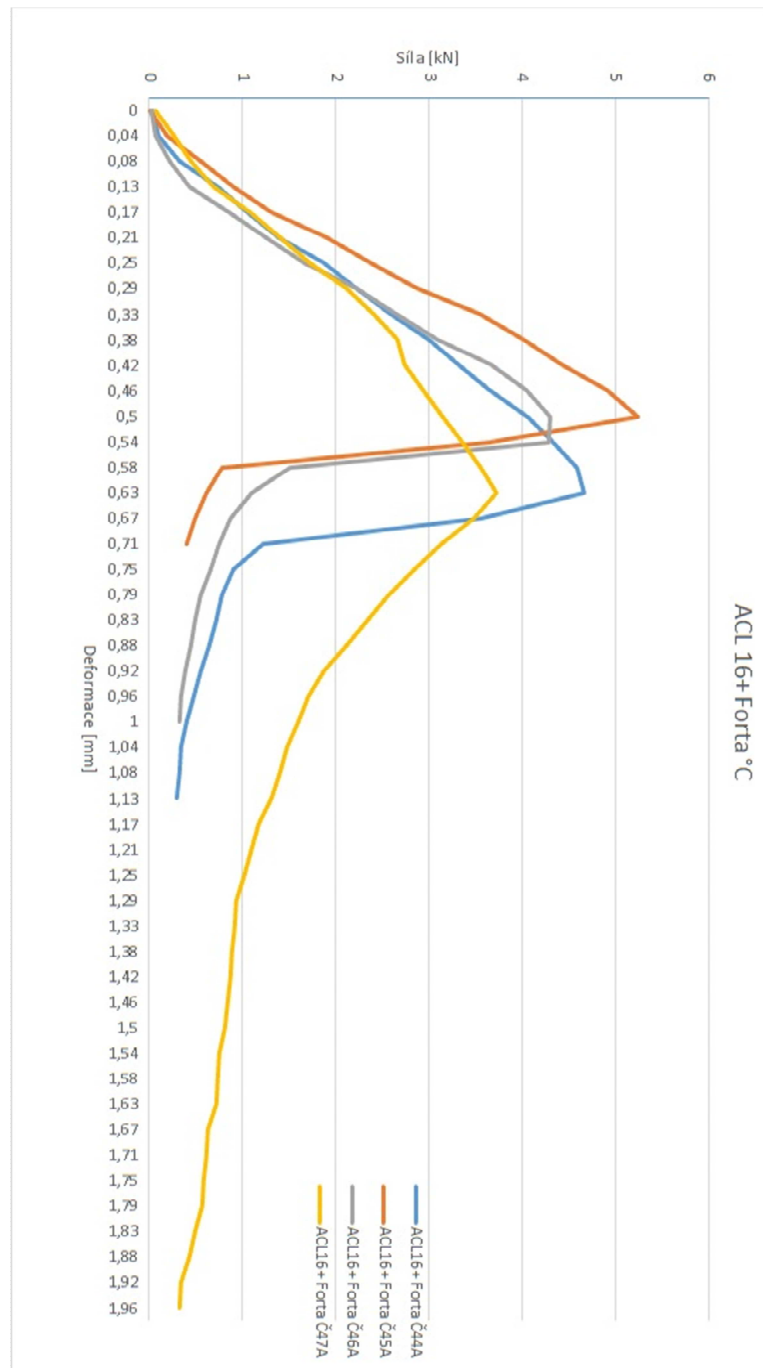


Příloha 46 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACL 16 + FORTA

Těleso	Rychlost zat.: (mm/mi n)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deforma ce (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	
ACL16+ Forta Č44A	2,44	0 °C	50,90	101,30	48,20	0,60	4,67	10	1,24%	3,86	
ACL16+ Forta Č45A	2,40	0 °C	49,90	102,20	48,80	0,53	5,28	10	1,09%	4,41	
ACL16+ Forta Č46A	2,40	0 °C	50,70	101,90	48,90	0,51	4,39	10	1,04%	3,62	
ACL16+ Forta Č47A	2,32	0 °C	50,60	101,00	49,70	0,65	3,71	10	1,31%	3,09	
Faktor f	Kritická hodnota (EN 2013)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Faktor f	Kritická hodnota (EN 2016)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Energie do max hodnoty [J]	SMODCH .P	Celková energie zkoušky [J]	SMODCH .P
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,495	28,9		2%	1,229	26,6		3%	1,4		1,9	
7,453	32,9		-11%	1,230	30,4		-11%	1,2		1,6	
7,446	27,0	29,6	9%	1,230	25,0	27,3	9%	1,0	1,2	1,6	1,7
7,391	-	2,5	#####	1,231	-	2,3	#####	-	0,2	-	0,2



**Příloha 47 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACL 16 + FORTA**



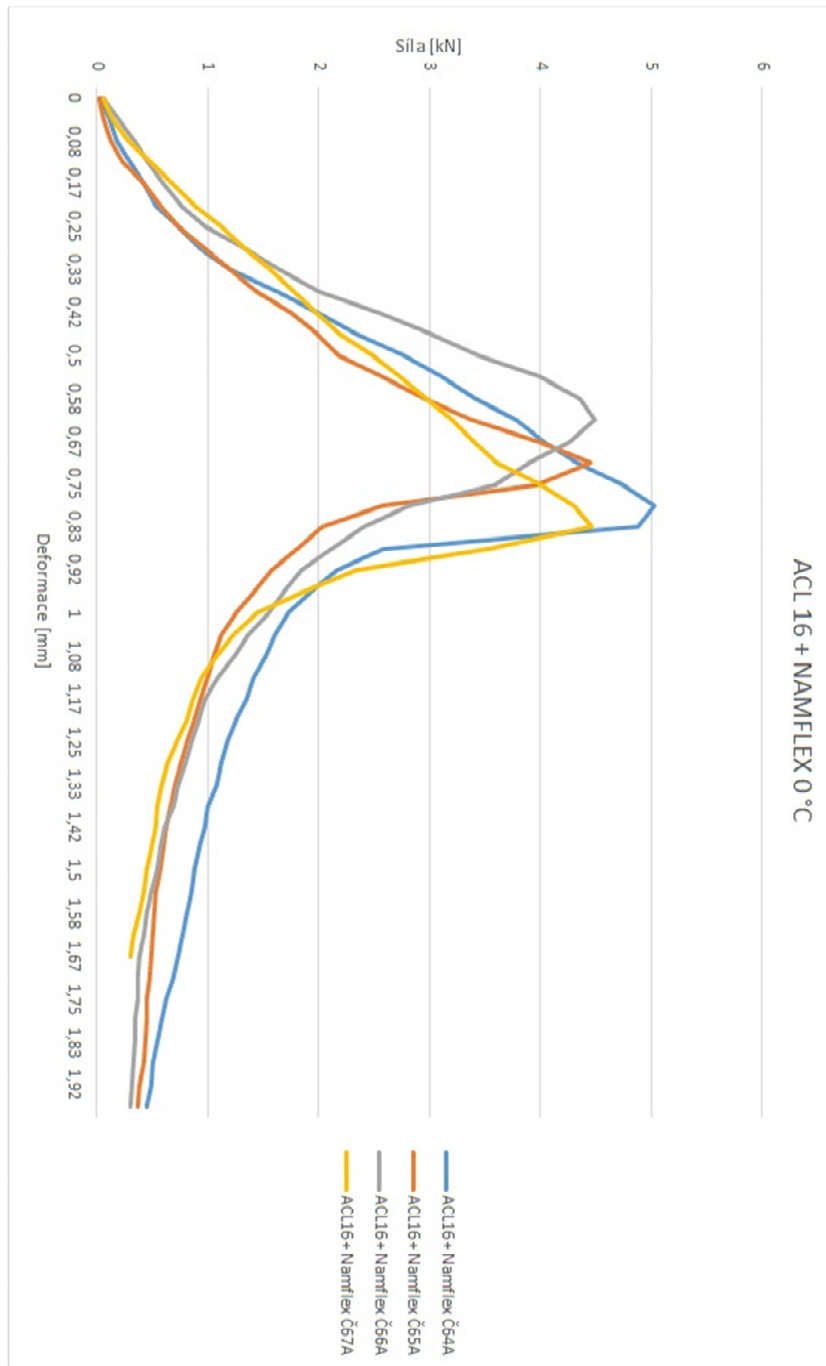


**Příloha 48 Výsledky šíření trhlin při 0 stupních ACL 16 + NAMFLEX**

Těleso	Rychlost zat.: (mm/mi n)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deforma ce (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	
ACL16+ Namflex Č64A	2,34	0 °C	50,50	101,70	50,10	0,82	5,10	10	1,64%	4,23	
ACL16+ Namflex Č65A	2,40	0 °C	50,30	101,80	50,10	0,70	4,47	10	1,40%	3,72	
ACL16+ Namflex Č66A	2,40	0 °C	50,70	102,30	50,10	0,62	4,46	10	1,24%	3,67	
ACL16+ Namflex Č67A	2,37	0 °C	50,20	101,80	49,90	0,82	4,42	10	1,64%	3,69	
Faktor f	Kritická hodnota (EN 2011)	SMODCH P	Rozdíl od průměru	Faktor f	Kritická hodnota (EN 2016)	SMODCH P	Rozdíl od průměru	Energie do max. hodnoty [J]	SMODCH P	Celková energie zkušky [J]	SMODCH P
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,363	31,2		-11%	1,231	29,2		-11%	1,6		3,2	
7,363	27,4		3%	1,231	25,7		3%	1,1		2,4	
7,363	27,0	28,2	4%	1,231	25,3	1,6	4%	1,2	1,4	2,9	2,8
7,377	27,2	1,7	4%	1,231	25,4	1,6	4%	1,7	0,3	2,7	0,3



**Příloha 49 Graf průběhu zatěžování při 0 stupních ACL 16 + NAMFLEX**





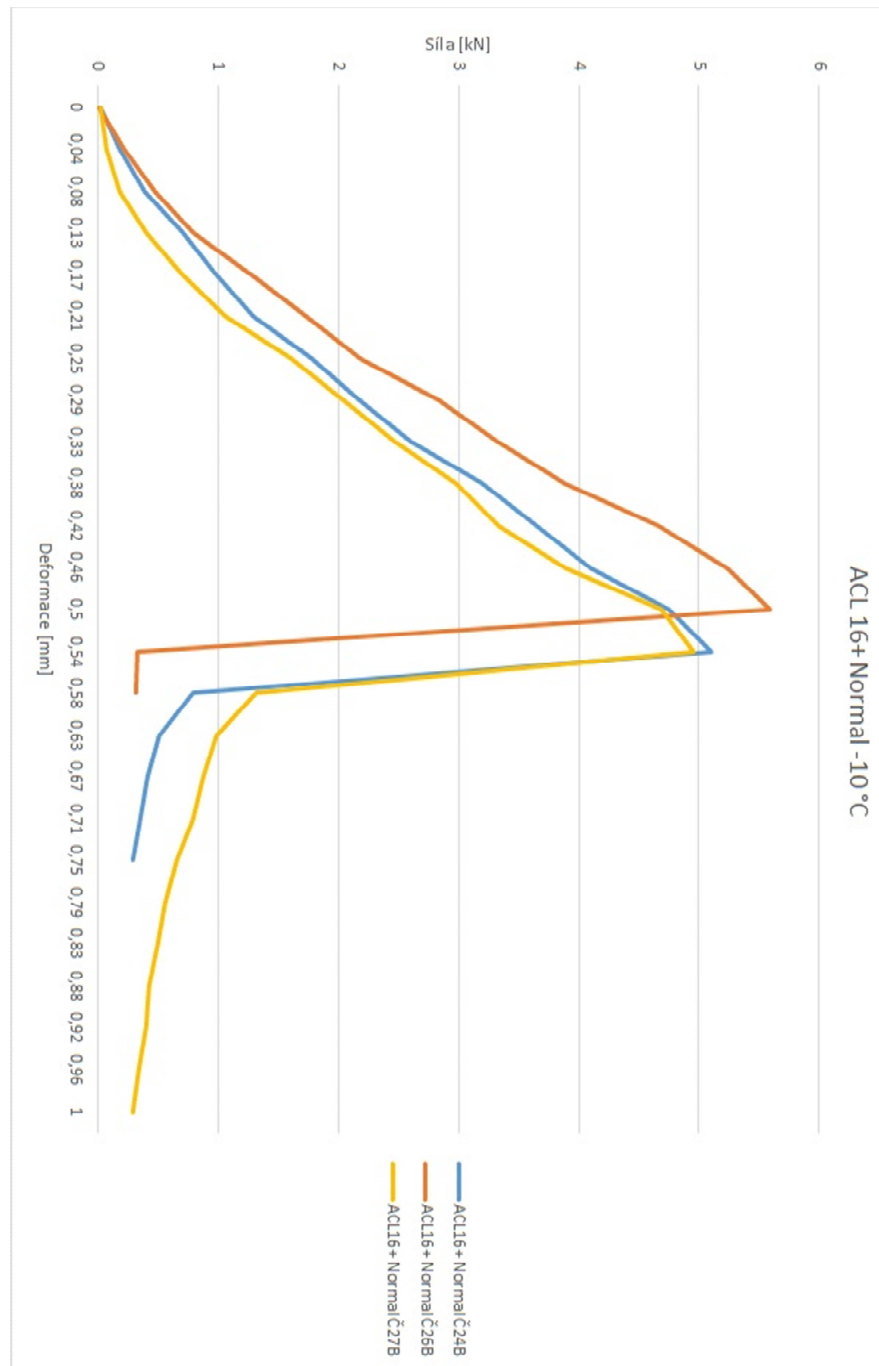


Příloha 50 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACL 16 + referenční směs

Těleso	Rychlost zat.:	Teplota zkoušení	Tloušťka	Průměr	Výška	Deformace	Síla	Hloubka drážky	Přetvoření	Napětí při porušení
	(mm/min)	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(mm)	(%)	(MPa)
ACL16+ Normal Č24B	2,31	0 °C	50,50	101,70	48,80	0,55	5,02	10	1,13%	4,17
ACL16+ Normal Č25B	2,44	0 °C	51,10	101,70	50,20	-	-	10	1,04%	4,43
ACL16+ Normal Č26B	2,15	0 °C	51,20	103,10	51,00	0,49	5,49	10	0,96%	4,21
ACL16+ Normal Č27B	2,22	0 °C	50,80	101,70	49,30	0,51	4,90	10	1,03%	4,04
Faktor f	Kritická hodnota (EN 2011)	SMODCH .P	Faktor f	Kritická hodnota (EN 2016)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Energie do max. hodnoty [J]	SMODCH .P	Celková energie zkoušky [J]	SMODCH .P
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )		(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,453	31,1	1,0	1,230	28,7	1,1	1%	1,1	0,0	1,4	0,1
7,302	32,4		1,231	30,6	1,1	-5%	1,1		1,2	
7,418	30,0		1,230	27,9	1,1	4%	1,0		1,5	



Příloha 51 Graf průběhu zatěžování při-10 stupních ACL 16 + referenční směs



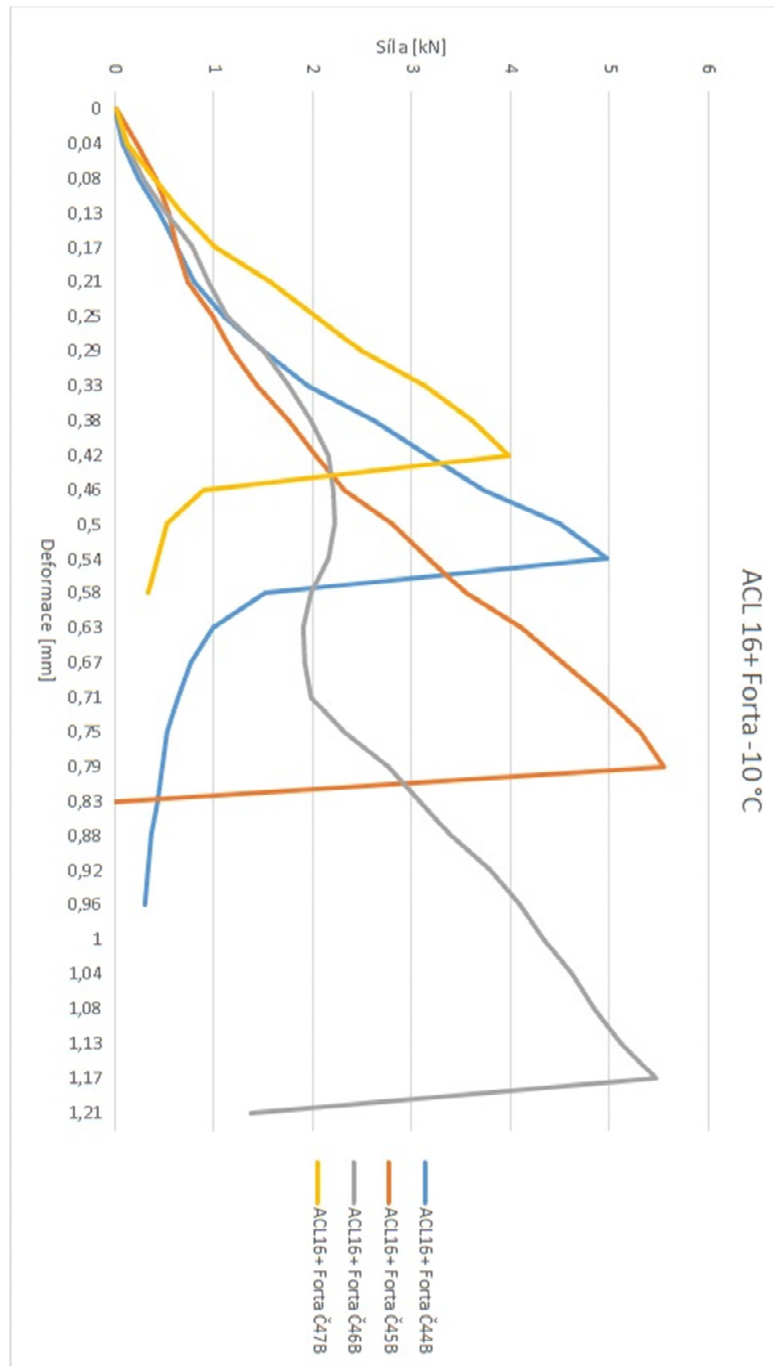


Příloha 52 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACL 16 + FORTA

Těleso	Rychlost zat.: (mm/mi n)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deformace (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	Kritická hodnota (EN 2011)		SMODCH		Rozdíl od průměru		Kritická hodnota (EN 2016)		SMODCH		Rozdíl od průměru		Energie do max hodnoty [J]		SMODCH		Celková energie zkoušky [J]		SMODCH	
											Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P	Faktor f	P		
ACL16+ Forta ČA4B	2,40	0 °C	51,10	101,90	50,00	0,53	4,98	10	1,06%	4,08	(-)	30,0	3,7	-2%	1,231	28,1	10	1,06%	4,08	3,7	-2%	1,231	28,1	1,0	1,3	1,3	0,4			
ACL16+ Forta ČA5B	2,43	0 °C	50,30	102,80	50,80	0,77	5,59	10	1,52%	4,61	(-)	33,7	3,7	-14%	1,231	31,8	10	1,52%	4,61	3,7	-14%	1,231	31,8	1,7	1,8	1,3	0,4			
ACL16+ Forta ČA6B	2,34	0 °C	50,90	102,10	49,60	1,18	5,47	10	2,38%	4,49	(-)	-	3,7	#####	-	27,6	10	2,38%	4,49	3,7	#####	-	1,1	-	1,3	0,4				
ACL16+ Forta ČA7B	2,22	0 °C	50,70	101,10	48,70	0,42	3,98	10	0,86%	3,31	(-)	24,7	3,7	16%	1,230	22,8	10	0,86%	3,31	3,7	17%	0,6	0,9	1,3	0,4					



**Příloha 53 Graf průběhu zatěžování při-10 stupních ACL 16 + FORTA**



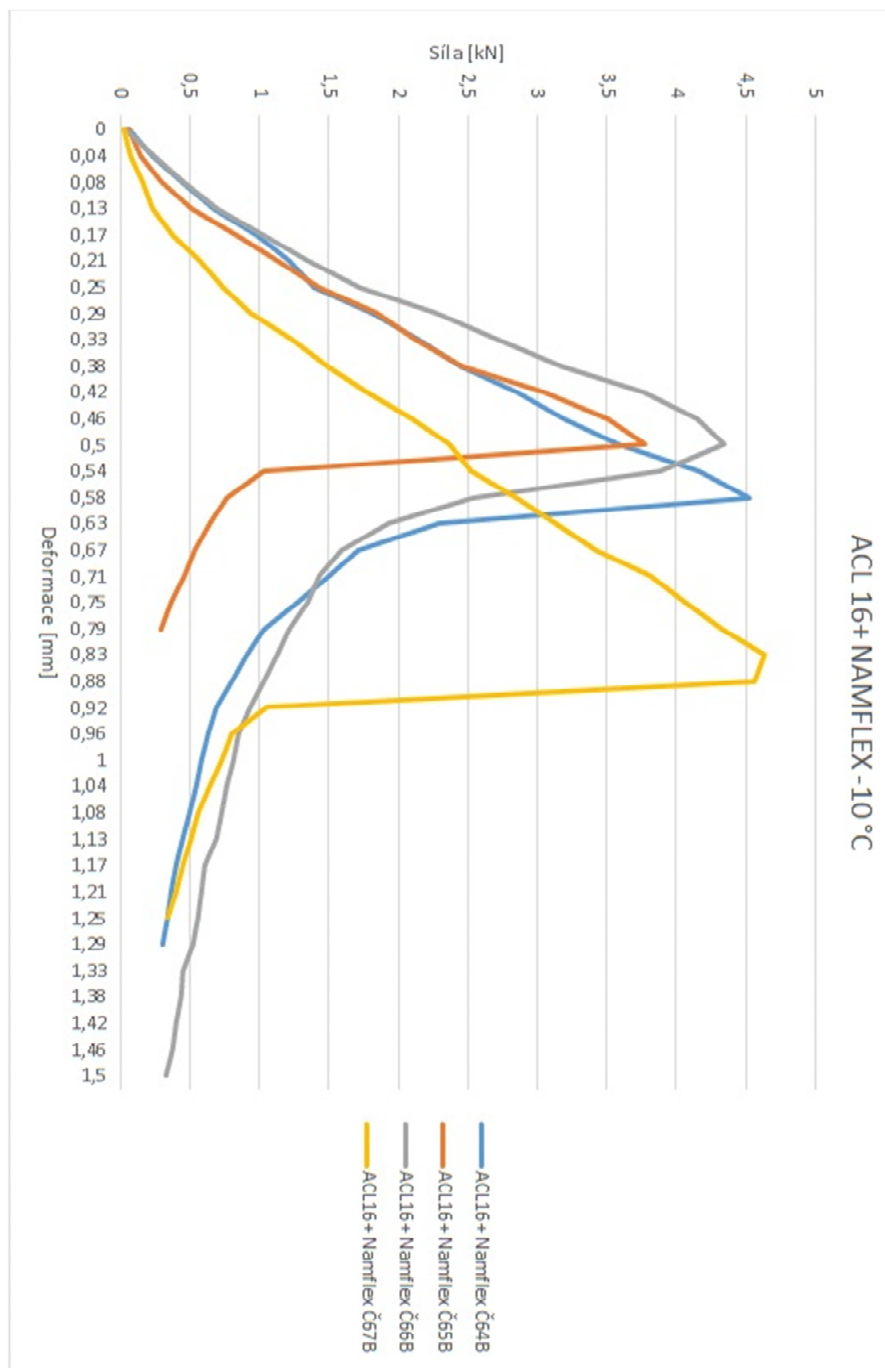


Příloha 54 Výsledky šíření trhlin při -10 stupních ACL 16 + NAMFLEX

Těleso	Rychlost zat.: (mm/mi n)	Teplota zkoušení (°C)	Tloušťka (mm)	Průměr (mm)	Výška (mm)	Deforma ce (mm)	Síla (kN)	Hloubka drážky (mm)	Přetvoření (%)	Napětí při porušení (MPa)	
ACL16+ Namflex Č64B	2,53	0 °C	50,20	101,70	48,40	0,60	4,49	10	1,24%	3,75	
ACL16+ Namflex Č65B	2,15	0 °C	50,20	101,40	49,40	0,50	3,68	10	1,01%	3,08	
ACL16+ Namflex Č66B	2,45	0 °C	50,60	101,70	49,40	0,52	4,28	10	1,05%	3,55	
ACL16+ Namflex Č67B	2,61	0 °C	50,10	101,50	48,70	0,86	4,73	10	1,77%	3,97	
Faktor f	Kritická hodnota (EN 2011)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Faktor f	Kritická hodnota (EN 2016)	SMODCH .P	Rozdíl od průměru	Energie do max hodnoty [J]	SMODCH .P	Celková energie zkušky [J]	SMODCH .P
(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(-)	(N/mm <sup>3/2</sup> )			(J)		(J)	
7,481	28,0		-5%	1,229	25,8		-5%	1,1		1,8	
7,411	22,8		14%	1,230	21,3		14%	0,7		1,0	
7,411	26,3	26,7	2%	1,230	24,5	2,2	1%	1,0	1,1	2,2	1,8
7,460	29,6		-11%	1,230	27,3		-11%	1,7		2,2	0,5



**Příloha 55 Graf průběhu zatěžování při-10 stupních ACL 16 + NAMFLEX**





**Příloha 56 Výsledky Marshallovy zkoušky ACL 16 +**

Marshallova zkouška			
Směs	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]	Míra tuhosti [kN/(mm*10)]
ACL 16 + Normal	10,3	4,7	21,9
ACL 16 + FORTA	10,9	4,0	27,3
ACL 16 + NAMFLEX	10,8	4,7	23,0



**Příloha 57 Rozměry a objemová hmotnost desek ACL 16 +**

Deska	Tloušťka [mm]							Hmotnost na suchu [g]	Hmotnost ve vodě [g]	Hmotnost po vyzrání [g]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Míra zhutnění [%]
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	průměr					
RefA	62,2	62,4	62,3	62,0	60,2	59,7	61,5	11581,9	6805,7	11755,0	2335,9	100,7%
RefB	61,4	60,1	64,0	61,7	60,5	62,6	61,7	11585,6	6838,8	11772,2	2344,2	101,0%
ForA	62,6	62,1	63,9	62,5	60,7	59,7	61,9	11426,8	6706,5	11650,3	2307,2	100,8%
ForB	60,3	60,5	62,2	65,5	63,5	62,8	62,5	11416,5	6702,6	11640,1	2308,0	100,8%
NamA	61,1	62,2	61,3	63,9	60,4	59,9	61,5	11496,1	6776,2	11702,1	2329,6	101,1%
NamB	61,2	60,2	64,4	61,8	62,9	60,9	61,9	11471,1	6774,3	11679,0	2334,6	101,3%





**Příloha 58 Výsledky poježdění kolem ACL 16 + referenční směs**

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím			
provedeno dle ČSN EN 12697-22			
Zkouška opakovaného poježdění kolem			
objednavatel:		druh směsi	ACL 16 + NORMAL
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	61,50 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	61,70 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	61,60 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	0,50	0,57	0,07
2	0,50	0,57	0,07
<b>průměr</b>	<b>0,50</b>	<b>0,57</b>	<b>0,07</b>

přírůstek hloubky koleje WTS <sub>AIR</sub>	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$	0,014	mm
<b>PRD<sub>AIR</sub></b>		<b>0,9</b>	%



**Příloha 59 Výsledky poježdění kolem ACL 16 + FORTA**

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím			
provedeno dle ČSN EN 12697-22			
Zkouška opakovaného poježdění kolem			
objednavatel:		druh směsi	ACL 16 + FORTA
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	61,90 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	62,50 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	62,20 mm

kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	d <sub>10 000</sub> - d <sub>5 000</sub> (mm)
1	0,76	0,83	0,07
2	0,61	0,68	0,07
<b>průměr</b>	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>	<b>0,07</b>

přírůstek hloubky koleje WTS <sub>AIR</sub>	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$	0,014	mm
<b>PRD<sub>AIR</sub></b>		<b>1,2</b>	<b>%</b>



**Příloha 60 Výsledky poježdění kolem ACL 16 + NAMFLEX**

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím			
provedeno dle ČSN EN 12697-22			
Zkouška opakovaného poježdění kolem			
objednavatel:		druh směsi	ACL 16 + NAMFLEX
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	61,50 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	61,90 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	61,70 mm

kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	d <sub>10 000</sub> - d <sub>5 000</sub> (mm)
1	0,61	0,67	0,06
2	0,59	0,63	0,04
<b>průměr</b>	<b>0,60</b>	<b>0,65</b>	<b>0,05</b>
přírůstek hloubky koleje WTS <sub>AIR</sub>	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,01 mm
<b>PRD<sub>AIR</sub></b>			<b>1,1</b> %