

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby



Bakalářská práce

Asfaltové směsi vyztužené vlákny
Fibre-Reinforced Asphalt Mixtures

Autor práce: Daniel Šmíd

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

Rok zpracování: 2023



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šmíd	Jméno: Daniel	Osobní číslo: 484648
Zadávající katedra: K136		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce a dopravní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Asfaltové směsi vyztužené vlákny	
Název bakalářské práce anglicky: Fibre-Reinforced Asphalt Mixtures	
Pokyny pro vypracování: Rešerše problematiky 3D rozptýlené výztuže v asfaltových hutněných směsích. Vyhodnocení výsledků z pokusného úseku, kde byla realizována pokládka asfaltových směsí s 3D výztuží, experimentální stanovení funkčních vlastností asfaltových směsí s/bez výztuže.	
Seznam doporučené literatury: Pokládka hutněných asfaltových směsí - doc. Ing. Václav Hanzík, CSc. Technologie stavby vozovek Ing. Jan Zajíček a kol. Technické předpisy - TP, ČSN, ČSN EN Zahraniční literatura např.: Evaluation of FORTA Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests – Evergreen Drive, Tempe, Arizona.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 21.02.2023	Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.05.2023 <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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21. 2. 2023	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, pouze za pomoci vedoucího práce Ing. Petra Mondscheina Ph.D. Zároveň jsem uvedl veškeré zdroje použitých obrázků, tabulek, literatury a jiných informací.

.....
Šmíd Daniel

V Praze dne:



Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval panu Ing. Mondscheinovi Ph.D., za výběr skvělého tématu, která mě dokázala zaujmout a také pořádně zapřáhnout, poté bych mu rád poděkoval za jeho věcné rady a důležité připomínky v průběhu tvorby celé práce. Dále bych rád poděkoval všem pracovníkům silniční laboratoře, jmenovitě panu Ing. Janu Valentinovi Ph.D., slečně MSc. Majda Belhaj a panu Jaroslavu Kasalickému. Jejich pomoc a trpělivost při práci se mnou byla jedním ze stěžejních pilířů této práce. Děkuji.



Anotace

Bakalářská práce se skládá ze 2 hlavních částí, které se prolínají zájmem o stejnou problematiku – vlákna v asfaltových směsích. První část je experiment, prováděn v silniční laboratoři fakulty stavební ČVUT, který se skládá ze série zkoušek na dvou sadách vzorků, první skupina byla vyrobená ze směsi ACP 16 + 50/70 a druhá skupina z ACP 16 + PMB 25/55–65, do obou směsí byla v průběhu výroby rozptýlena vlákna FORTA-FI. Cílem této části bakalářské práce je porovnat tyto dvě směsi a stanovit, která z nich si povede ve zkouškách lépe. Druhá část je věnována zpracování výsledků, z již provedených zkoušek na úseku komunikace II/201 Hodyně, která se skládá z 6 částí, kdy každá část byla vyztužená jiným druhem 2D a 3D vyztuže. Mým úkolem bylo sestavit multikriteriální posouzení a zjištění obecně nejlepší směs nebo 3D vyztužení.

Klíčová slova:

Asfaltové směsi, PMB, 50/70, FORTA-FI, 3D vyztuž, ACP 16 +, ACP, vlákna, tah, tlak, pevnost, vlastnosti, Hodyně, zkoušky, posouzení, trend, multikriteriální posouzení.



Abstract

The Bachelor thesis consists of 2 main parts interspersed with an interest in the same issue - Fibres in asphalt mixtures. The first part is an experiment, conducted in the CTU School of Construction's road side laboratory, which consists of a series of tests on two sets of samples, the first group was made from ACP 16 + 50/70 mixture and the second group from ACP 16 + PMB 25/55-65, the FORTA-FI fibres were dispersed into both mixtures during production. The aim of this part of the Bachelor thesis is to compare the two mixtures to find out which one does better. The second part is devoted to the processing of the results, from the already performed tests on the section of communication II/201 Hodyně, which consists of 6 parts, where each part was reinforced with a different kind of 2D and 3D reinforcement. My job was to build a multi-criteria assessment and find out the best mixture in general.

Keywords:

Asphalt mixtures, PMB, 50/70, 3D reinforcement , FORTA-FI, fibers, ACP 16 + , ACP, tension, pressure, strenght, properties, tests, assesment, trend, multicriteria assessment.



Obsah

Úvod.....	4
1. Vlákna v asfaltových směsích	5
1.1 Historie použití vláken	5
1.2 Funkce vláken jako vyztužení asfaltových směsí	6
1.3 Typy vláken.....	7
1.3.1 Celulózová vlákna.....	7
1.3.2 Minerální vlákna.....	8
1.3.3 Syntetická a polymerová vlákna.....	9
1.3.4 Skelná vlákna.....	10
1.3.5 Odpadní a recyklovaná vlákna.....	12
1.4 Vlákna používaná do asfaltových směsí.....	13
1.4.1 FORTA-FI.....	14
1.4.2 Namflex.....	17
1.4.3 Další společnosti.....	18
2. Experimentální část.	20
2.1 Výroba zkoušených těles	21
2.1.1 Výroba směsí	21
2.1.2 Výroba zkušebních těles rázovým zhutňovačem.....	21
2.1.3 Výroba desek lamelovým zhutňovačem	24
2.2 Výpočet objemové hmotnosti	26
2.2.1 Laboratorní pomůcky.....	27
2.2.2 Postup zkoušky	27
2.3 Maximální objemová hmotnost	29
2.3.1 Laboratorní pomůcky.....	29
2.3.2 Postup zkoušky	31
2.4 Mezerovitost	32
2.5 Modul tuhosti – Zkouška v příčném tahu	33
2.5.1 Laboratorní pomůcky	34



2.5.2	Postup zkoušky	34
2.6	Modul tuhosti – Zkouška ohybem.....	37
2.6.1	Laboratorní pomůcky	38
2.6.2	Postup zkoušky.....	39
2.7	Marshallova zkouška.....	40
2.6.1	Laboratorní pomůcky.....	40
2.6.2	Postup zkoušky	41
2.8	Odolnost proti šíření trhlin	42
2.7.1	Laboratorní pomůcky.....	42
2.7.2	Postup zkoušky	42
2.9	Pojíždění kolem.....	45
2.8.1	Laboratorní pomůcky.....	45
2.8.2	Postup zkoušky	45
3.	Vyhodnocení zkoušek	47
3.1	Objemová hmotnost, mezerovitost.....	47
3.1.1	Objemová hmotnost: SSD	48
3.1.2	Mezerovitost	49
3.1.3	Objemová hmotnost: Podle rozměru	47
3.2	Modul tuhosti – Zkouška v příčném tahu: IT-CY	50
3.3	Modul tuhosti – Zkouška ohybem: 2PB-TR	52
3.4	Marshallova zkouška.....	55
3.5	Odolnost proti šíření trhlin	57
3.6	Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací.....	60
3.6.1	Hloubka vyjetí kolem.....	60
	Závěr experimentální části.....	62
4.	Pokusný úsek komunikace u obce Hodyně	64
4.1	Popis úseku.....	64
4.2	Použité materiály.....	65
4.3	Poruchy vozovky.....	65
4.4	Metodika sledování úseku.....	66



4.5	Multikriteriální vyhodnocení zkoušek	67
4.5.1	Princip dílčí funkce užitků.....	68
4.5.2	Metoda odhadu vah – Fullerův trojúhelník	69
4.5.3	Aplikace metod.....	70
4.6	Závěr	73
	Seznam tabulek	74
	Seznam grafů	75
	Seznam obrázků.....	76
	Seznam použité literatury	78
	Seznam příloh	80



Úvod

Asfaltové směsi se stejně jako vše kolem nás musí stále vyvíjet a přizpůsobovat měnícímu se okolí. Měnící se okolí v dopravních stavbách znamená mnoho věcí, každoroční nárůst počtu osobních a nákladních automobilů na našich silnicích, nárůst rychlosti, kterou se vozidla pohybují, nárůst hmotnosti, či naopak úbytek hmotnosti a přechod na elektromobily.

Prostředí se vyvíjí, a proto se musí vyvíjet i asfaltové směsi. Jednou z možností, jak dosáhnout zlepšení vlastností asfaltových směsí, jsou příměsi, jako například 3D rozptýlená vlákna. Právě touto problematikou se bude má bakalářská práce zabývat.

Druhy vláken, které jsou potencionálně přínosné pro asfaltové směsi je nespočetné množství, variace se liší tím, jak dokážou se směsí spolupůsobit a jaké vlastnosti dokáží zlepšit, nebo naopak zhoršit. Přibližme si pro začátek, jak vůbec ona vlákna v asfaltových směsích fungují, jak vznikají anebo která se z toho celkového množství vůbec používají.

V mé práci se pomocí série zkoušek v silniční laboratoři na dvou různých skupinách vzorků, pokusíme zjistit, jestli je tomu opravdu tak a jestli jsou efekty přidaných vláken do asfaltové směsi jen pozitivní a pokud ano, tak jak moc a v jakých ohledech.

Vzorky, která budou předmětem mé bakalářské práce jsou 1. ACP 16 + 50/70 a 2. ACP 16 + PMB 25/55-65 oba s přidanými vlákny FORTA-FI.



1. Vlákna v asfaltových směsích

1.1 Historie použití vláken

Historie různých druhů vláken se datuje daleko do minulosti. Když se podíváme na úplně prvotní zmínky o vláknech tak se pohybujeme o kolo roku 2 000 př.n.l. – Nalezení první bavlněné tkaniny, když se přesuneme o kousek dál, tak dle článku Glass Fibers (2012) se kolem roku 1 800 př.n.l. datují zmínky o prvních skleněných vláknech, a to v Egyptě. Ovšem tyto zmínky nemůžeme brát jako začátek používání vláken pro účely vyztužování materiálu, jak ho známe my. Jako první vyztužování stavebních materiálu by se dalo považovat vyztužování klasického betonu pomocí drátků, která začala v roce 1874 ve Spojených Státech Amerických. Do této doby se prováděly pouze studie a do reálného použití a testování se ještě žádná firma nechtěla a není se čemu divit, prováděné studie a experimenty v laboratořích v dané době nebyly zdaleka prioritami firem, nýbrž jen možností investice do budoucna. Významný posun se konal až na začátku roku 1963 na základě studie od Romuldiho, který vlévá světlo na možnost použití vláken pro omezení vzniku trhlin v betonu. [1]

První vlákna, která se používala jako 3D vyztužení asfaltových směsích, byla vlákna azbestová, která se široce používala v USA od roku 1920 hlavně pro své vlastnosti, jako je vysoká pevnost a odolnost vůči otěru až do 60. let, kdy se zjistily jejich škodlivé účinky pro zdraví člověka. Další posun v používání vláken nastal mezi 50. a 60. lety, a to aplikací skleněných vláken, která se stala rychle oblíbená pro svou vysokou pevnost a odolnost vůči vodě, korozi a teplotě. V 70. letech se do asfaltových směsí začaly poprvé přidávat vlákna polypropylenová, která disponovala podobnými vlastnostmi jako vlákna skleněná, ovšem jejich výhodou byla nižší výrobní cena. Dostáváme se do už ne zas tak dávné minulosti a to do 90. let 20. století, kdy se začaly používat i další typy syntetických vláken, jako například polyetylenová nebo polyesterová vlákna, jejich hlavním tahákem byla opět dostupnost a nízký poměr cena/kvalita vůči ostatním druhům vláken. [3]

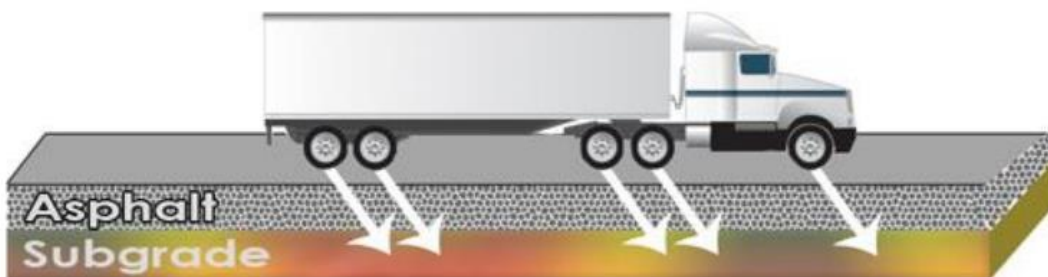
V současné době se vlákna stále vyvíjejí a nacházejí se nové a nové nejen druhy, ale i možnosti, jak daná vlákna v asfaltových směsích využít a jak co nejvíce prodloužit životnost a zlepšit vlastnosti dané směsi.[3]



1.2 Funkce vláken jako vyztužení asfaltových směsí

Cílem vmíchání vláken do asfaltových směsí je zlepšení jejich vlastností. Je obecně známé, že asfalt je velice citlivý na změny teploty, jelikož vzhledem k teplotě dochází k výrazným změnám jeho tuhosti a deformačních charakteristik. Přimícháním vláken do směsi tuto vlastnost moc neovlivníme, a proto se zaměříme spíše na další známou věc kterou dokážeme ovlivnit, že asfalt je poměrně silný v tlaku a slabší v tahu. Dodáním vláken, která mají vysokou pevnost právě v tahu by mělo dojít k posílení asfaltové směsi. Aby došlo ke správnému spojení asfaltové směsi a vláken, musí být dodrženo několik zásadních kritérií. Vlákná musejí být rovnoměrně rozptýlena v celém objemu asfaltové směsi, aby nedocházelo k lokálnímu oslabení směsi v tahu a aby došlo ke správnému spolupůsobení směsi s vlákny musí se vlákna se směsí kvalitně propojit při procesu tvorby směsi, což klade velký důraz na kvalitu výroby směsi – vmíchávání vláken. [2]

Vlastnosti, které se snažíme zlepšit jsou odolnost vůči vodě, korozi, únavě materiálu, vzniku trhlin, odolnosti asfaltového povrchu vůči poježdění, zlepšení výkonu při zatížení a obecné prodloužení životnosti a snížení potřeby opravovat komunikace, jinými slovy ušetřit co nejvíce finančních prostředků.



Obr. 1 Nevyztužená asfaltová směs. Roznos zatížení při brzdění [7]



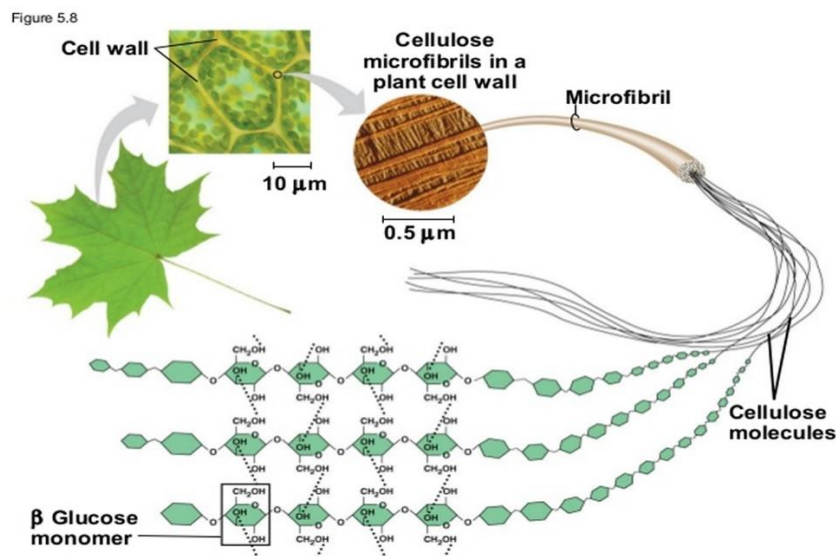
Obr. 2 Vyztužená asfaltová směs vlákny FORTA. Roznos zatížení při brzdění do více směrů [7]



1.3 Typy vláken

1.3.1 Celulózová vlákna

Základní stavební kámen rostlinných vláken je celulóza. Rostlinná vlákna se tedy často nazývají vlákna celulózová. Celulózová vlákna můžeme rozlišit podle toho, z jaké rostliny a z jaké její části se vyrábí. Rozlišujeme tedy rostlinná vlákna získaná ze semen rostlin – bavlna, stonků rostlin – len, juta a z listů – sisal. Další možností, jak získat celulózová vlákna je z dřevin anebo recyklací papírových novin. [2] [4]



Obrázek 3 Chemická struktura celulózových vláken [4]

Vlákna mají velmi rozvětvenou strukturu a vyznačují se vysokou absorpcí pojiva. Právě díky této vlastnosti dokážou zadržovat asfaltové pojivo ve směsi. Obecně se vyrábí ve volné formě nebo ve formě granulí. [2] [4]

Zjištěné vlastnosti:

- + ekologicky i ekonomicky dostupné
- + možnost recyklace
- + velice dobře funguje v SMA
- + vysoká absorpce pojiva

- - slabé v tahu
- - vysoká absorpce pojiva znamená, že musíme použít více pojiva



1.3.2 Minerální

Vlákna, která se buď přirozeně vyskytují ve formě azbestu anebo se dají uměle vyrobit z minerálních surovin, se také nazývají minerální vlna nebo kamenná vlákna. Tato vlákna se vyrábějí procesem tavby, při kterém zahříváme minerální suroviny na vysokou teplotu a následně vlákna rozvíváme pomocí různých technik, které se liší od druhů materiálu.

Minerální vlákna mají mnoho výhod, jako je vysoká pevnost, odolnost proti korozi, velká zvuková a tepelná izolace. Díky těmto vlastnostem se stala tato vlákna oblíbená nejen v oboru vyztužování asfaltových směsí. Ale hlavně také do betonu a do izolací budov pozemních staveb.

Jeden z druhů minerálních vláken jsou vlákna uhlíková, která byla mimo jiné použita velice neobvyklým způsobem, do výroby elektricky vodivého asfaltu, který lze použít pro odmrazování nebo pro „hojení“ mikro trhlin.

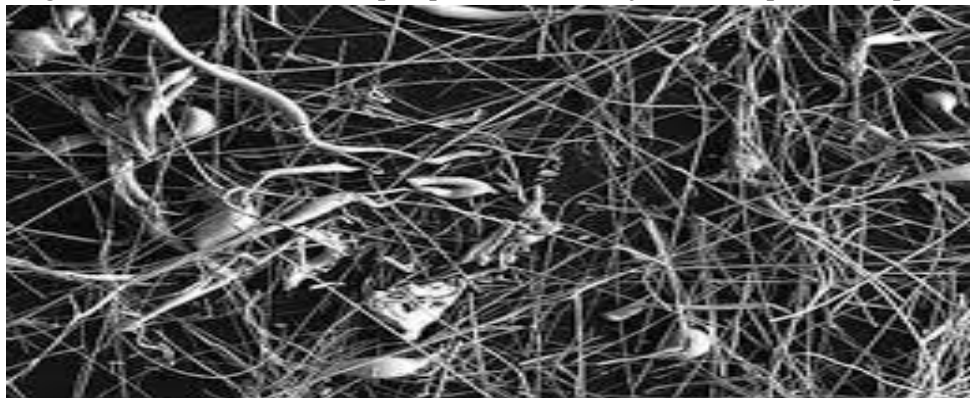
Dalším druhem jsou vlákna ocelová, které zůstaly pouze pro výzkumné účely, jelikož při dlouhodobém kontaktu s vodou hrozí skoro vždy výskyt koroze, je tedy jejich použití do praxe silničního provozu a do asfaltových směsí nesmyslem. Uplatnění pro ně se našlo v konstrukcích letadel a v automobilovém průmyslu. [2]

Azbestová vlákna, byla jedna z vůbec prvních používaných vyztuží do asfaltových směsí, ovšem pro svoje zdraví škodlivé účinky se v 60. letech 20. století přestaly úplně používat. [3]

Zjištěné vlastnosti:

- + stabilizuje pojivo v otevřených směsích SMA, resp. směsích s přerušenou čarou zrnitosti
- + nižší absorpce pojiva než celulosová vlákna
- + elektricky vodivá vlákna

- - možnost koroze
- - agresivní a těžce zhutnitelné, při špatném zhutnění je možnost poškození pneumatik



Obrázek 4 Detail minerálního vlákna [6]



1.3.3 Syntetická polymerová vlákna

Nejběžnější a nejčastěji používaný typ polymerových vláken jsou vlákna polyesterová, polypropylenová, aramidová, nylonová a kombinace různých polymerů.

Nylon je velice odolný proti trhání a je velice pevný a odolný proti vnějším vlivům, proto se nejčastěji používá na výrobu oděvů, obuvi, ale také pneumatik.

Akrylová vlákna jsou vzhledem a vlastnostmi velice podobná vlně, a proto se používají výhradně na výrobu oděvů a dekoračních předmětů a kobereců.

Aramidová vlákna mají veliké využití právě ve vyztužování asfaltových směsí a proto se jim budeme věnovat v samostatně oddělené kapitole.

Různé polymery mají různé body tání které je třeba vzít v úvahu při zpracovávání do asfaltové směsi, jako příklad můžeme vzít aramidová vlákna, která vykazují vysokou teplotní stálost až do teplot okolo 450°C a proto jsou pro asfaltové směsi vhodným kandidátem. [2]

Plusy a mínusy se v takto rozsáhlé kapitole nedají zcela sjednotit, proto byly rozděleny pro jednotlivá vlákna.

Zjištěné vlastnosti pro POLYESTEROVÁ vlákna:

- + vysoká odolnost proti vyjždění kolejí a vzniku výtluků
- + zvýšení stability směsi
- + vysoká pevnost v tahu
- + vyšší bod tání než polypropylen

- - drahý materiál, který ještě není tolik ozkoušen
- - vyšší měrná hmotnost znamená méně vláken ve směsi



Obrázek 5 Polyesterová vlákna do asfaltových směsí [7]



Zjištěné vlastnosti pro POLYPROPYLENOVÁ vlákna:

- + vysoká odolnost proti vyjíždění kolejí a vzniku výtluků
- + kvalitní propojení s asfaltovou směsí
- + odolnost proti kyselinám a solím
- + nižší měrná hmotnost znamená více vláken ve směsi
- + recyklovatelné

- - drahý materiál, který ještě není tolik ozkoušen
- - vlákna se zkracují při 150 °C
- - nižší bod tání vyžaduje pečlivou kontrolu výrobní teploty



Obrázek 6 Polypropylenová vlákna do asfaltových směsí [8]

1.3.4 Skelná vlákna

Skelná vlákna jsou anorganická vlákna vyrobená tavením skla za vysokých teplot skelná vlákna jsou velice odolná a pevná, mají vynikající chemickou odolnost a jsou stabilní při vysokých teplotách. Díky těmto vlastnostem si získaly místo v mnoha odvětvích jako jsou elektrotechnika, stavebnictví a automobilový průmysl. Jsou používány jako posilující materiál v betonu, jako izolační materiál v budovách pozemních staveb, nebo jako výztuž v pneumatikách a jako posilující materiál v kompozitních materiálech.

Velkou výhodou skelných vláken je, že jsou recyklovatelná, ekologická a netoxická. Mohou být tedy vyráběna z recyklovaného skla a značně snížit množství odpadu a zároveň jsou vhodné pro využití v recyklovaných asfaltových směsích. [2] [5]



O skelných vláknech a jejich aplikacích do asfaltových směsí jako 3D výztuž je k dispozici velice malé množství odborné literatury. Ta co je dostupná, však tvrdí, že vlákna jsou do asfaltových směsí svými vlastnostmi dobrá, hlavním tahákem je vysoký modul tahu okolo 60Gpa, nízká tažnost 3% - 4%, vysoká elastická obnova a vysoká mez měknutí. Avšak nic není bez záporů, mezi ty, která vyčnívají je největší rozhodně křehkost vláken, a proto nutná opatrná a precizní manipulace při výrobě a zpracování směsi. [2] [5]

Zjištěné vlastnosti pro skelná vlákna:

- + vysoká pevnost v tahu
- + nízká tažnost
- + vysoká elastická regenerace

- - vysoce křehké
- - hrozí zlomení vláken při kontaktu s dalšími vlákny
- - drahý materiál bez let zkušeností a praxe



Obrázek 7 Skelná vlákna [5]



1.3.5 Odpadní a recyklovaná vlákna

V dnešní době je stále větší pohledávka po tom, aby bylo možné věci používat co nejdéle, anebo aby pro ně po konci jejich životnosti bylo alespoň nějaké jiné využití skrz recyklaci. Na světě se neustále zvětšuje počet lidí a jimi vyrobených produktů které poté tvoří masy odpadu, které zahlcují naši planetu. Každá možnost dále tyto produkty využít je tedy čím dál nutnější, a právě forma výroby vláken recyklací se zdá jako jedna z možností, jak šetřit přírodní zdroje a docílit tak tvorby méně odpadu.[2]

Odpadní vlákna jsou vlákna vyráběna z materiálů, které jsou zpracovány a používány pro jiné účely, než jsou poté používána vlákna, proto je tento proces mnohdy neefektivní, avšak i tak se využívá, protože vede ke snížení množství odpadu.

Recyklovaná vlákna jsou vlákna vyráběna z materiálů, které byly již použity a poté recyklovány. Recyklace těchto materiálů probíhá tak, aby mohlo dojít ke správnému vyrobení nových vláken. Tato metoda je efektivnější než výroba odpadních vláken a vede k ještě větší redukci odpadu. Typické recyklovatelné materiály jsou plastové láhve, papírové kartony, a staré textilie. Recyklace probíhá rozemletím těchto zdrojů a následné přepracování a vyrobení nových vláken.

Odpadní a recyklovaná vlákna se prosadily i do asfaltových směsí. Jedna, z již už běžných praktik je recyklace pneumatik a koberců z automobilového průmyslu, s kterou první přišla firma Putnam, a jejich přeměna na vlákna které jsou poté použity jako výztuže pro zlepšení vlastností asfaltových směsí. [2] [6]

Zjištěné vlastnosti pro recyklovaná vlákna:

- + zvýšení houževnatosti směsi
- + snížené trvalé deformace
- + odolnost proti vlhkosti
- + RECYKLOVANÉ a RECYKLOVATELNÉ

- - kvalita vláken
- - vyšší náklady
- - omezená dostupnost a omezená možnost recyklace



Obrázek 8 Recyklovaná pneumatiková směs připravená na vložení do směsí [10]

1.4 Vlákná používaná do asfaltových směsí

Druhy vláken, které se na trhu převážně používají pouze jako vyztužení asfaltových směsí jsou vlákna Aramidová, vlákna Polyethylenová, vlákna Polyesterová a vlákna Polypropylenová. Teď se podíváme například na to, jaké firmy jsou špička v oboru a prezentují vlákna jako svoji vlajkovou loď, také se podíváme, jaké firmy mají na starost distribuci vláken u nás v České republice a o přesně jaká vlákna se jedná.



1.4.1 FORTA-FI

FORTA Corporation je americká společnost založena v roce 1978, sídlící v Grove City, Pensylvánie. Firma se specializuje na výrobu vláken, které jsou určeny pro zlepšení a zpevnění asfaltových směsí v silničním a stavebním průmyslu. Společnost byla první, která přinesla vlákna na americký trh a v dnešní době jí patří první příčka v počtu držených patentů a je považována za světového lídra v oblasti výzkumu a praktické aplikaci syntetických vláken do asfaltových směsí. [7]

V návaznosti na své zkušenosti s vývojem, testováním a aplikací vláken, dokázali zdokonalit své původní výrobky a za použití Aramidových (Kevlarových) a polyolefinových vláken zkonstruovali směsi speciálně vytvořené pro fungování ve všech pracovních teplotách FORTA-FI. Tato inovativní vlákna byla podrobena všem dnešním standardům a nejen, že úspěšně prošla, dokonce nabízí i dramatické úspory na nákladech. Vzhledem k možnosti snížit tloušťku potřebného asfaltu anebo prodloužení životnosti s ponechanou tloušťkou. [7]

V České republice je distributorem vláken firmy FORTA společnost eMZet s.r.o. Testování vláken a směsí od firmy FORTA bylo prováděno i na fakultě ČVUT a u firmy EUROVIA. Výsledky ukázaly tak razantní zlepšení chování směsí, že došlo ke schválení směsí Ministerstvem dopravy České republiky jako vhodné pro použití v projektech ŘSD. [7]



Obrázek 9 Druhy vláken FORTA [11]

Druhy vláken:

- Hot Mix Asphalt (HMA) – Pro horké pracovní směsi, kde se teplota pohybuje mezi 120 °C – 190 °C.
- Warm Mix Asphalt (WMA) – Pro teplé pracovní směsi, kde se teplota pohybuje lehce nad 100 °C.
- PAT Blend (PAT) – Pro všechny druhy směsí za všech možných teplot.



1.4.1.1 Hot Mix Asphalt (HMA)

Skupina speciálních polypropylenových vláken navržených pro směsi míchané za horka, tak aby zlepšily pevnost a odolnost asfaltových směsí při jejich výrobě. Vlákná se přidávají jako součást směsi a rovnoměrně se distribuují po celé délce směsi, vlákna mají schopnost pomáhat ve všech fázích životnosti směsi. Vlákná jsou navržena pro pracovní teploty 121-190 °C. Délka vláken je 19 mm. [7]



Obrázek 10 HMA vlákna FORTA [11]

1.4.1.2 Warm Mix Asphalt (WMA)

Pro směsi míchané za tepla, navržena pro teploty 100 °C a vyšší. Stejně jako u směsi HMA je požadováno rovnoměrné rozmístění vláken při míchání ve všech typech zařízení a za jakékoliv míchací rychlosti. Výhodou vláken WMA, je že umožňují snížit teplotu při výrobě asfaltových směsí o 20 °C až 30 °C, což může mít za výsledek menší spotřebu energií a kratší dobu výroby směsi. Vlákná jsou dodávána v délkách 19 mm a 38 mm. [7]



Obrázek 11 WMA vlákna FORTA [11]



1.4.1.3 Hot/Cold Patch (PAT)

Směs vláken navržena zejména pro opravy a renovace za tepla i studena. Je navržena, aby poskytovala vysokou úroveň zesílení a ochranu asfaltové směsi v různých klimatických podmínkách a při různých zatíženích. 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. [7]



Obrázek 12 PAT vlákna FORTA [11]

Fyzikální vlastnosti vláken FORTA-FI:

Typ vlákna:	Aramidové	Polyolefinové
Hustota [kg/m ³]:	1440	910
Pevnost v tahu [MPa]:	3 000	483
Bod Tání [°C]:	>450	157
Délka [mm]	19 (38)	19 (38)
Barva:	Žlutá	Černá

Tabulka 1 Vlastnosti vláken FORTA



1.4.2 Namflex

Firma Ciur s.r.o. je český výrobce a dodavatel geosyntetických materiálů a technologií pro stavebnictví. Tato menší česká firma byla založena roku 1992 a sídlí v Praze. [8]

Právě vlákna Namflex jsou jedním z předních výrobků, které tato firma nabízí. Vlákna jsou vyráběna z polypropylenu, tedy zpětnou recyklací již použitých surovin, v tomto případě převážně PET láhví. Vláknem disponuje dobrou odolností vůči chemikáliím a slibuje zlepšení pevnosti, trvalých odolnosti a životnosti asfaltových směsí. Aplikace vláken je možná do všech vrstev, obrusných, podkladních i ložných, a to rovnoměrným rozptýlením.



Obrázek 13 Vlákna Namflex [8]

Vlákna se vyrábí do podoby kroucených monofilamentů s délkou od 6 do 18 mm a průměru od 0,5 do 1,0 mm. Přimíchání vláken do směsi se provádí v poměru 0,5-2 kg/t. Nejlepších výsledků se podle prováděných zkoušek dosahuje při aplikaci 2 kg směsi do 1 tuny asfaltové směsi při teplotě do 170 °C. [8]



1.4.3 Další společnosti

V dnešní době se již počítá s vlákny pro vyztužení jako s běžnou věcí, proto se ve světě množí firmy, které se touto problematikou zabývají a které rozšiřují svůj sortiment právě o výzkum a aplikaci vláken do asfaltových směsí.

Na trhu se v dnešní době pohybuje již takové množství společností, že není možné si je představit všechny, pojdme si ale představit alespoň pár z nich, které mě zaujali buď svým přístupem, nebo svou stopou na světovém trhu, která nelze přehlédnout.

- ITERCHIMICA S.r.l. – Italská firma založená roku 1972 sídlící v Miláně. Firma si zakládá na její starosti o životní prostředí a důležitosti nalezení možností a způsobů, jak co nejvíce materiálů recyklovat a zároveň minimalizovat odpad a použité energie.

Na základě výzkumu z 80. let 20. století byli vyvinuty směsi obsahující mikrovlákná z minerálních, syntetických a celulózových směsí která se nazývají ITERFIBRA. Distribuce vláken do asfaltových směsí je prováděna pomocí pelet s funkcí nosiče pojiva a zlepšení vlastností, tzn. zvýšení odolnosti a zabránění vzniku a šíření trhlin. [9]



Obrázek 14 Vlákná ITERFIBRA [8]



- COLAS – Francouzská firma založená roku 1929, firma s obrovskou historií, která je dnes považována za jednoho z největších světových hráčů na poli silničního stavitelství. V široké škále produktů této firmy najdeme všechny dostupné služby v silničním průmyslu, včetně aplikace vláken do asfaltových směsí. Firma má své zastoupení i na Českém trhu, a to od rok 1994.[10]



Obrázek 15 Logo Colas [10]

- Owens Corning – Společnost globálních rozměrů, která má sídlo v Americkém Ohio. Firma se zaměřuje na 3 hlavní proudy ve stavebním průmyslu – izolace, střešní krytina a aplikace vláken do stavebních materiálů, včetně asfaltových směsí. Minimálně díky svému originálnímu logu a kvalitním vláknům si zaslouží své místo ve světové špičce. [11]



Obrázek 16 Logo firmy Owens Corning [11]

Obrázek 17 Vlákná od firmy Owens Corning [11]



2. Experimentální část

V této části bakalářské práce bude ukázáno, jak byly obě asfaltové směsi zkoušeny, ukážeme si, jaké vzorky byly vyrobeny a jak celý proces vypadal. Následně porovnáme výsledky jednotlivých zkoušek a vyhodnotíme celý experiment.

Zkoušky byly provedeny na laboratorních vzorcích vyrobených ze 2 směsí:

1. ACP 16 + 50/70; FORTA-FI
2. ACP 16 + PMB 25/55–65; FORTA-FI

Na těchto vzorcích byly provedeny tyto laboratorní zkoušky:

- Příprava zkušebních Marshallových těles rázovým zhutňovačem
- Příprava zkušebních desek lamelovým zhutňovačem
- Stanovení objemové hmotnosti
 - Nasycený suchý povrch (SSD)
 - Podle rozměrů
- Stanovení maximální objemové hmotnosti
- Výpočet mezerovitosti
- Stanovení modulů tuhosti – Zkouška v příčném tahu IT-CY
 - Teplota 0 °C
 - Teplota 15 °C
 - Teplota 27 °C
 - Teplota 40 °C
- Stanovení modulů tuhosti – Zkouška ohybem 2PB-TR
 - Teplota 15 °C
 - Teplota 27 °C
- Marshallova zkouška
- Odolnost proti šíření trhliny
 - Teplota 0 °C
- Zkouška pojiždění kolem



2.1 Výroba zkušebních těles

2.1.1 Výroba směsi

2.1.1.1 ACP 16 + 50/70 FORTA-FI

Směs byla vyrobena v obalovně Vinařice, podle předepsaných hodnot a pod dohledem profesionálů. Do typické směsi ACP 16 + 50/70 byla pro účely bakalářské práce přidána vlákna od firmy FORTA, a to přesně typ vláken FORTA-FI v poměru 0,5 kg/1 t směsi. Poté byla směs dopravena do prostor laboratoří ČVUT fakulty stavební, kde došlo k předání a uskladnění směsi do doby, testování.

2.1.1.2 ACP 16 + PMB 25/55–65 FORTA-FI

Směs byla vyrobena v obalovně Vinařice, podle předepsaných hodnot a pod dohledem profesionálů. Do směsi s modifikovaným asfaltem ACP 16 + PMB 25/55-65 bylo pro účely bakalářské práce přidána vlákna FORTA-FI ve stejném poměru jako u první vyráběné směsi, tedy 0,5 kg/1 t směsi. Doprava a skladování na fakultě probíhalo identicky s první směsí.

2.1.2 Výroba zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Jako první bylo nutné z našich směsí vyrobit Marshallova zkušební tělesa rázovým zhutňovačem dle ČSN EN 12697-30. Záměr bylo vyrobit od každé směsi 6 těles hutněných podle normovaných požadavků. To znamená v našem případě pro podkladní vrstvu kvality „+“ 2x50 údery. Při výrobě bylo také odebráno 1 kg navážky směsi každé varianty pro stanovení maximální objemové hmotnosti. Ve výsledku byla zhotovena tělesa: [23]

ACP 16 + 50/70 FORTA-FI

- 14.3.2023; navážka 1200 g; teplota 155 °C
- Označení vzorů Č. 1–6, 6 těles 2x50 údery
- + 1 kg navážky

ACP 16 + PMB 25/55–65 FORTA-FI

- 14.3.2023; navážka 1200 g; teplota 165 °C
- Označení vzorů Č. 7–12, 6 těles 2x50 údery
- + 1 kg navážky



2.1.2.1 Laboratorní pomůcky

Pro výrobu zkušebních těles byly použity následující pomůcky:

- Laboratorní sušárna
- Rázový zhutňovač s ocelovou podkladní deskou
- Hutnicí forma složená:
 - Podložka formy
 - Válcová forma
 - Nástavec
- Špachtle, lopatka, fanka
- Elektrický teploměr
- Ochranné pomůcky (rukavice, plášť)
- Separální papír
- Kruhové podložky pod válcovou formu
- Výtlačný lis
- Laboratorní Váhy
- Trychtýř z plechu

2.1.2.2 Postup výroby Marshallových těles

Směs, byla přemístěna ze skladu do místnosti se sušárnou. Pytle s namíchanou směsí byly vloženy do sušárny a nahřáty na požadované teploty pro dobrou manipulaci se směsí. Po dosažení požadované teploty, která byla zjištěna elektrickým teploměrem vloženým do pytle se směsí, byla směs navážena do fanek na potřebnou gramáž 1200 g a poté opět vrácena do sušárny, teplota byla nastavena o cca 5 až 10 °C více než je třeba, činí se tak z důvodu rychlého poklesu teploty při manipulaci se směsí. Společně se směsí je v sušárně na nahřátí také forma, podložka, trychtýř a lopatka. Vše z důvodu lepší manipulace se směsí.

Po opětovném vytemperování směsi na požadovanou teplotu ve fance, byla směs vyndána a následoval přesný postup. Byla sestavena podložka s hutnicí formou, na jejíž dno bylo umístěno papírové separální kolečko, poté byla pomocí lopatky a trychtýře přendána směs z fanky do hutnicí formy. Po naplnění formy byl trychtýř odebrán a byl uhlazen povrch asfaltové směsi a poté vloženo druhé separální kolečko z papíru.

Hutnicí forma se poté již jako celek vložila do rázového zhutňovače a hutnicí pěch se pákou přitlačil z hora k formě na separální ochranné kolečko a celý přístroj se zavřel. Následovalo zapnutí hutnicího přístroje, který byl již předem nastaven na požadovanou hodnotu 2 x 50 cyklů. Po dokončení prvního cyklu došlo k otevření ochranné části přístroje a nadzvednutí hutnicího pěchu. Hutněná forma byla vyndána mimo přístroj, bylo odstraněno dno a celá forma se otočila o 180°, poté bylo znovu nasazeno dno, forma byla navrácena zpět do hutnicího přístroje a byl dokončen druhý cyklus hutnění. [12]



Po dokončení druhého cyklu hutnění byl přístroj vypnut, celá hutnicí forma vyndána ven a následně odstraněna separační kolečka. Po vychladnutí byla tělesa pomocí válcové formy na lisu vytlačena z formy. [12]



Obrázek 18 Hotová Marshallova tělesa ve formě [23]



2.1.3 Výroba desek lamelovým zhutňovačem

Pro účely bakalářské práce byly vytvořeny 3 desky od každé směsi. Metodou hutnění lamelovým zhutňovačem dle normy ČSN EN 12697–33+A1. 2 Desky byly vyrobeny pro zkoušky pojezdu kolem a 1 deska byla vyrobena pro zkoušku ohybem. Tloušťka desek se určuje z normy na základně typu zkušebního zařízení a dle maximální velikost zrna ve směsi. Pro naše směsi ACP 16 + byly tedy zvoleny celkové rozměry desek 320x260x60 mm. Díky známým rozměrům desek a známé maximální objemové hmotnosti směsi byla dopočítaná přesná hmotnost desek. Byly vytvořeny: [13]

ACP 16 + 50/70 FORTA-FI

- 3 desky: 50/70-1; 50/70-2; 50/70-3
- 12,030 kg; 155 °C

16 + PMB 25/55–65 FORTA-FI

- 3 desky: PMB-1; PMB-2; PMB-3
- 12,240 kg; 160 °C

2.1.3.1 Laboratorní pomůcky

Pro výrobu zkušebních desek byly použity následující pomůcky:

- Lamelový zhutňovač, jehož součásti jsou:
 - Stůl pohybující se ve vodorovném přímém směru
 - Forma připevněná ke stolu
 - Lamely
 - Válec
 - Podkladní deska
 - Distanční rám
- Laboratorní sušárna
- Nádoba na směs, lopatka, špachtle
- Rukavice
- Teploměr
- Silikonový sprej proti přilnavosti plechu a formy zhutňovače
- Váhy
- Kladivo, šroubovák
- Plechová destička



Obrázek 19 pomůcky pro výrobu desek a sestavení přístroje [23]



Obrázek 20 Lamelový zhutňovač [23]



2.1.3.2 Postup výroby

Pytle s namíchanou směsí byly přeneseny do místnosti se sušárnou a pro potřebu zkoušky vloženy do sušárny. Směsí byly nahřáty na požadované teploty zvětšené o cca 5-10 °C z důvodu rychlého chladnutí směsi. Po dosažení požadovaných teplot byla směs přendána do misek a byla navážena přesná požadovaná hmotnost desek. Následně byly misky a lopatka vráceny zpět do sušárny, aby byly vytemperovány na potřebnou teplotu.

Před vyndáním směsi je nutné sestrojít hutnicí formu, do spodku formy byla přidána deska, která zaručuje námi zvolenou výšku distančního rámu na 60 mm. Poté byla ze strany přiložena boční deska a pomocí šroubů a matek přišroubována k formě. Tímto byla forma sestavená a následně se celá zevnitř vystříkala silikonovým sprejem proti přilnavosti směsi.

Vytemperovaná směs byla pomocí lopatky přesunuta z misek do hutnicí formy, směs se uvnitř formy lopatkou rozhrnula do všech roků a pomyslně se urovnal její povrch. Poté byl na směs ze shora položen plech, který byl taktéž postříkán silikonovým sprejem. Následně se na plech začali postupně pokládat jednotlivé lamely do úplného zaplnění prostoru nad směsí.

Následovalo spuštění hutnicího přístroje, nejprve se začala hýbat dopředu a dozadu celá forma a pomalu se k ní ze shora začal snižovat hutnicí válec. Při kontaktu válce s lamelami teprve začalo hutnění směsi, které se skládá ze třech částí. V první části bylo nutno sledovat výšku lamel, při výšce lamel nad hranou hutnicí formy cca 2-3 mm byl přístroj zastaven na 5-8 min. Tímto procesem se simuluje proces válcování směsi v praxi, kdy válec potřebuje dojet danou vzdálenost a poté se vrátí a hutní znovu. Po uplynutí času se válec opět pustil a tentokrát do té doby, než byly lamely kompletně zatlačeny za hranu formy a poté se stroj znovu vypnul. Následovala další pauza 5-8 min po které se přístroj spustil na finální fázi, 12 přejezdů válcem a ukončení celého procesu hutnění.

Po vypnutí přístroje následovalo odstranění lamel, odebrání plechu a následné odšroubování boční stěny hutnicí formy. Výsledná deska se pomocí šroubováku nadzvedla, vyndala ven a nechala vychladnout. Po vychladnutí bylo třeba oddělit desku od podkladní desky pomocí poklepání kladivem. [13]

2.2 Výpočet Objemové hmotnosti

Norma ČSN EN 12697-6 nabízí 4 různé postupy určování objemové hmotnosti, které jsou závislé na odhadovaném obsahu dutin ve vzorku. My jsme použili dva, a to Postup B: Objemová hmotnost: nasycený suchý povrch SSD a Postup D: Objemová hmotnost: podle rozměrů. Všech 12 vyrobených těles bylo podrobena obou způsobům. Před vážením a počítáním objemové hmotnosti byla všechna tělesa řádně změřena šuplérkou dle ČSN EN 12697-29. [14]



2.2.1 Laboratorní pomůcky

Pro měření objemové hmotnosti byly nezbytné tyto pomůcky:

- Váhy s možností vážení vzorků na sucho i ve vodní lázni
- Vodní lázeň
- Závěs pro zavěšení těles na váhu pro vážení ve vodní lázni
- Jelenice k povrchovému osušení
- Teploměr
- Posuvné měřítko s přesností alespoň 0,1 mm – šuplera

2.2.2 Postup zkoušky

2.2.2.1 Postup B: Nasycený suchý povrch SSD

Všechna tělesa byla zvážena a určila se jejich hmotnost na sucho, poté byla vložena do vodní lázně a ponechána zde po dobu 30 minut. Následně byla změřena teplota vodní lázně. Poté se tělesa zvážila pomocí závěsu umístěného na váze a zároveň ve vodní lázni. Posléze se těleso vyjmulo z vody, otřelo se jelenicí a následně opět zvážilo. Následoval výpočet s přesností na 0,001 Mg /m³ (3.1.):

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

kde:

ρ_{bssd} objemová hmotnosti SSD v Mg/m³

m_1 hmotnosti suchého zkušební tělesa v gramech

m_2 hmotnost zkušební tělesa ve vodě v gramech

m_3 hmotnost zkušební tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného

v g

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě v Mg/m³ 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:

t teplota vody ve °C



Obrázek 21 Přípravená stanice na vážení [23]

2.2.2.2 Postup D: Podle rozměrů

Poměrně jednoduchý postup, nejprve je nutné změřit si několikrát pomocí šuplery rozměry každého tělesa. Ze získaných rozměrů stanovit průměrnou hodnotu jednotlivých vzorků s přesností na 0,1 mm a následně tělesa za sucha zvážit. Poté pomocí vzorce, do kterého již známe všechny hodnoty jednoduše spočítáme objemovou hmotnost.

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

kde je:

ρ_{dim} objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v Mg/m³

m_1 hmotnost suchého zkušební tělesa v g

h výška zkušební tělesa v mm

d průměr zkušební tělesa v mm



Obrázek 22 Hotová Marshallova tělesa připravená na měření [23]

2.3 Maximální objemová hmotnost

Pro stanovení maximální objemové hmotnosti je dle normy ČSN EN 12697-5, možné použít 3 způsoby. Postup volumetrický, postup hydrostatický anebo postup matematický. Pro účely této bakalářské práce byl zvolen postup volumetrický. [15]

2.3.1 Laboratorní pomůcky

Pro změření maximální objemové hmotnosti jsou potřebné tyto pomůcky:

- Pyknometr a jeho přidělený nástavec + tyčka k promíchání směsi
- Sušárna a nádoby na směs
- Destilovaná voda a teploměr
- Vývěva s manometrem – umožňující vytěsnění vzduchu z pyknometru na zbytkový tlak 4 kPa
- Laboratorní váhy



Obrázek 23 Manometr [23]



Obrázek 25 Pycnometr a nástavec [23]



2.3.2 Postup zkoušky

Z obou směsí jsme, jak již bylo dříve zmíněno odebrali vzorek o hmotnosti 1000 g a umístilo ho do sušárny na temperování při teplotě 110 °C. Po dostatečném vysušení a změknutí směsi ji ze sušárny vyndáme a pomocí rukavic a lopatky ji rozmělníme. Cílem je oddělit hrubé a drobné části a také rozbít větší shluky na maximální velikost do 6 mm. Poté zvážíme zvolený pyknometr společně s nástavcem (m_1). Rozdrobený a rozmělněný vzorek vložíme do pyknometru a necháme temperovat na okolní teplotu a poté zvážíme (m_2). Pyknometr po zvážení společně s navážkou naplníme destilovanou vodou do výšky 30 mm pod okraj. S použitím tyčky se směs uvnitř pyknometru několikrát opatrně promíchala, aby došlo k co největšímu uvolnění vzduchových bublin přichycených ke směsi. Tímto způsobem nelze odstranit všechny vzduch, zbytky vzduchu se odstraňují pomocí částečného vakua - 4 kPa v podtlakové komoře. Po skončení podtlakového cyklu se na pyknometr nasadil nástavec a dolila se destilovaná voda po rysku. Následně byl pyknometr znovu zvážen (m_3) a byla změřena teplota. Pro výpočet již nyní známe všechny neznámé a nezbyvá, než je dosadit do vzorečku a vypočítat:(3.4.):

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

kde je:

ρ_{mv} maximální objemová hmotnost asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem v Mg/m³

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 m³

ρ_w hustota vody v Mg/m³ vypočtena ze stejného vzorce jako u objemové hmotnosti



2.4 Mezerovitost

Mezerovitost asfaltových směsí je závislost mezi objemovou hmotností a maximální objemovou hmotností udávaná normou ČSN EN 12697-8. Lze ji vypočítat vzorcem (3.5.): [16]

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

Kde je:

V_m mezerovitost směsi v %

ρ_m maximální objemová hmotnost směsi v kg/m³

ρ_b objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m³



2.5 Modul tuhosti – Zkouška v příčném tahu

Dle normy ČSN EN 12697-26 lze modul tuhosti určit různými způsoby. To, jakým způsobem je modul tuhosti zjištěn závisí především na možnostech a pracovním rozsahu laboratoře a přístrojů v ní. Rozlišujeme tyto zkušební metody: [17]

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

Na zkušebních vzorcích této bakalářské práce se použila metoda Přílohy C: Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech **IT-CY**. Zkouška je nedestruktivní. Podstata spočívá v měření příčných deformací dvěma sondami, každá z jedné strany zkoušeného tělesa. Deformace jsou vyvolány jsou impulsem síly ve svislé rovině. Celé zatěžování probíhá v řádu mikrosekund a zaznamenává se průběh zatížení. Pro každé těleso je nejprve provedeno 10 zkušebních cyklů které dokáží napovědět, jestli byla provedena chyba při umístění vzorku a zároveň mají pomoci přístroj na kalibrovat, aby následujících 5 cyklů „ostrých“ bylo co nejpřesnější. Výsledných 5 cyklů se průměruje do finálové hodnoty. Pro zaznamenávání této zkoušky bylo použito velmi moderní vybavení Silniční laboratoře. Modul tuhosti byl změřen u všech 12 vzorků pro teploty 0, 15, 27, 40 °C. [17]



2.5.1 Laboratorní pomůcky

Pro tuto zkoušku bylo použito nejmodernější vybavení Silniční laboratoře. Obsluha těchto zařízení byla vždy pod dohledem pověřené osoby. Vybavení zahrnuje:

- Klimatická komora s hydraulickým pístem (vestavěným)
- Zatěžovací rám z oceli
- Sekundární chladicí zařízení pro temperaci těles
- Rám na uchycení a zamezení pohybu vzorků
- Sondy měřící deformace
- PC se softwarem pro zpracování a zaznamenávání údajů

2.5.2 Postup zkoušky

U všech vzorků byly již před začátkem zkoušky změřeny rozměry, které byly použity jako vstupní informace do měřicího softwaru. Vzorky byly vždy před začátkem zkoušky temperovány na požadovanou teplotu v klimatické komoře. Temperování probíhalo nejčastěji přes noc, cca. 12 hodin, nikdy však ne méně než 4 hodiny. Jako první je nutné zapnout celý přístroj a k jeho obsluze nutný software na počítači. Poté bylo těleso vloženo do zkušební polohy uvnitř rámečku. Následovalo osazení pod zatěžovací rám a pevná fixace základní polohy vzorku. Nyní je nutné na počítači zkontrolovat a upravit vzdálenosti LDVT sond. Pomocí vrutů, které umožňují pohyb sond do předu a dozadu bylo zapotřebí nastavit jejich vzdálenost od vzorku na požadovanou. V tuto chvíli bylo možné provést kalibraci softwaru, pomocí 10 zkušebních cyklů. Po provedení zkušebních cyklů byla možná korekce poloh sond a následně byla zkouška zapnuta na „ostro“. Bylo provedeno 5 zatěžovacích cyklů které snímali amplitudu horizontální deformace, maximální hodnotu svislého zatížení a průběh celého zatížení vzorku v grafu. Po dokončení byl celý proces zopakován s tělesem otočeným o 90°. Pro každý zatěžovací puls se následně díky naměřeným hodnotám vypočte modul tuhosti, který můžeme vyjádřit tímto 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
- μ Poissonovo číslo v závislosti na zkušební teplotě
- z amplituda příčné deformace v mm
- h průměrná výška zkušební tělesa v mm

Naměřený modul tuhosti musí být upraven podle součinitele plochy zatížení (0,60) prostřednictvím 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 stanovit teplotní citlivost směsi. Pomocí vzorce (3.10.):

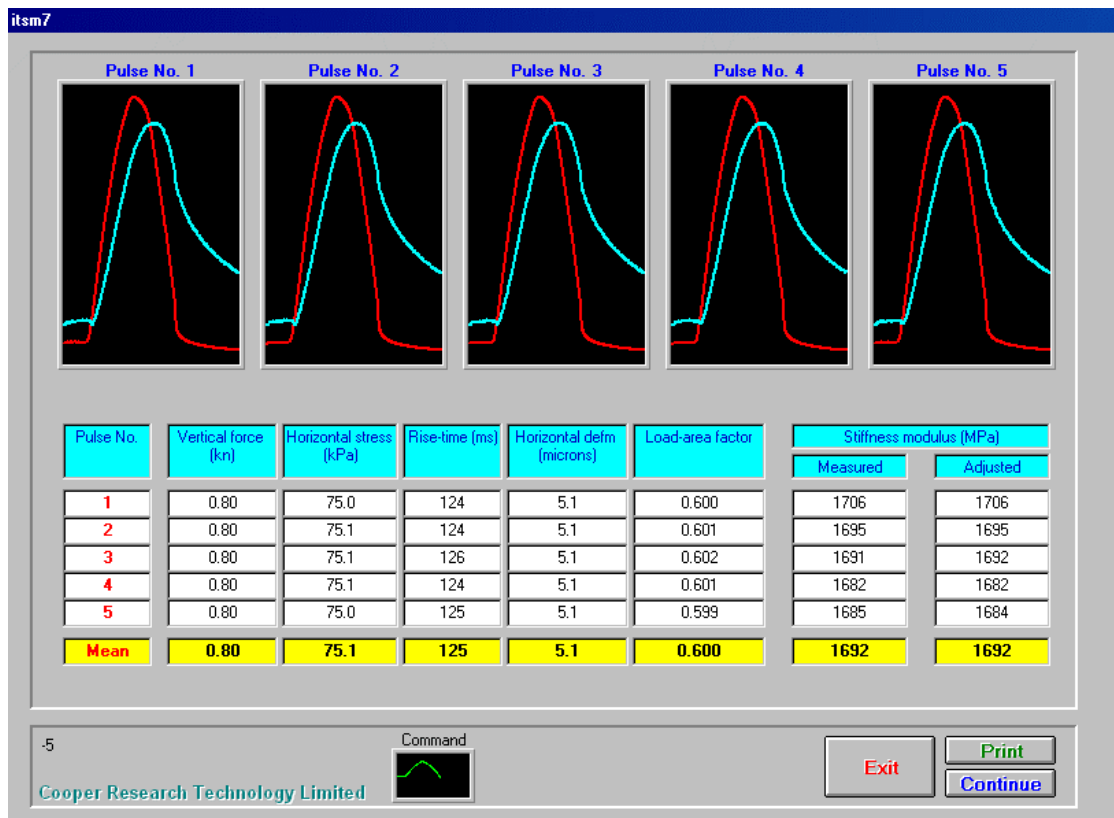
$$r = \frac{S'_{m0}}{S'_{m40}} \quad (3.10.)$$

kde je:

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



Obrázek 25 těleso umístěné v hydraulickém pistu [23]



Obrázek 26 Výstup z přístroje na měření tuhosti těles při 40 °C [23]



2.6 Modul tuhosti – zkouška ohybem

Norma ČSN EN 12697-26 nabízí různé způsoby zjišťování modulu tuhosti, v předešlé kapitole 2.5 bylo popsáno, jak se prováděla zkouška IT-CY v příčném tahu. V této kapitole se zaměříme na druhou zkoušku na zjištění modulu tuhosti, která byla v rámci bakalářské práce prováděna. [18]

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

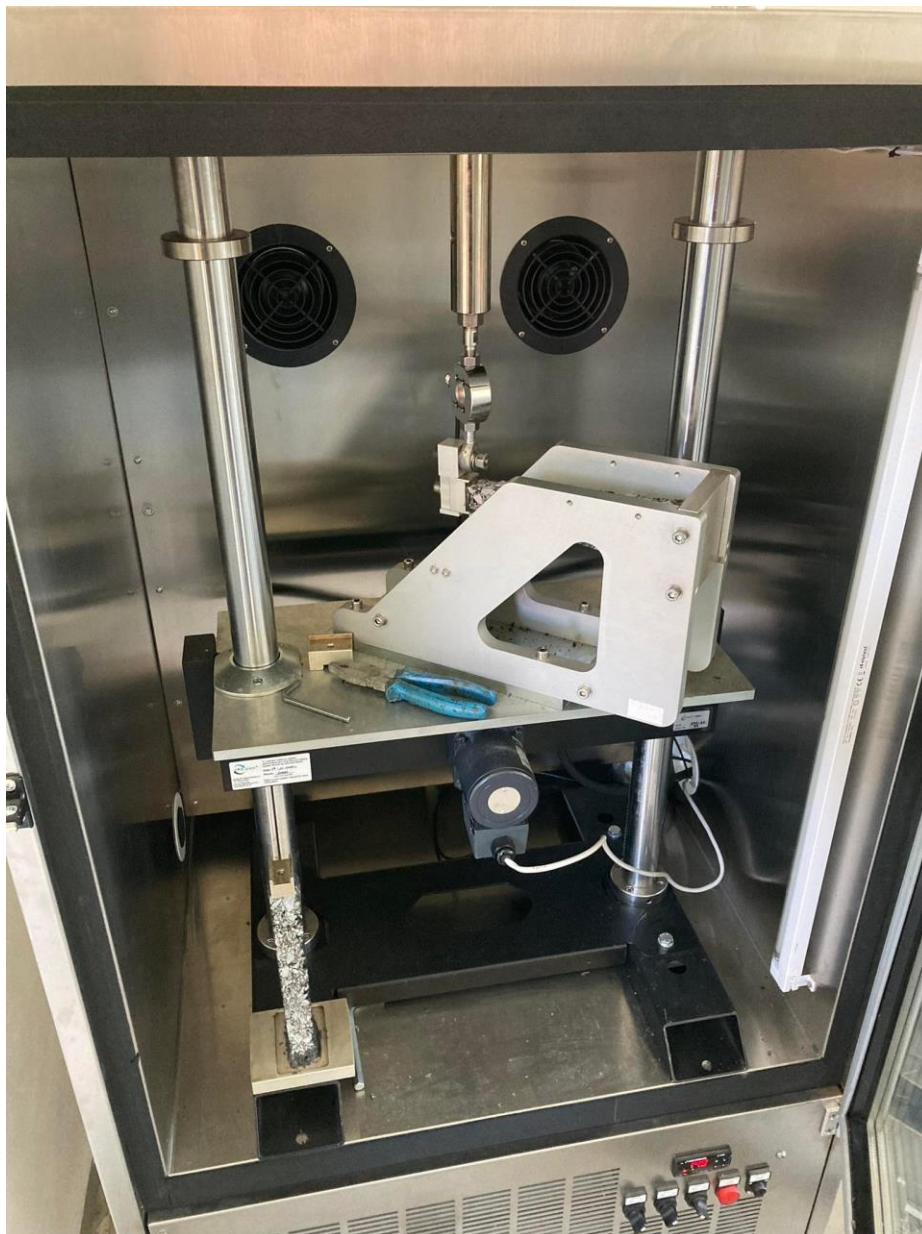
Jako druhá zkouška byla vybrána zkouška 2PB-TR: dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu. Zkouška je také nedestruktivní. Zkouška se provádí na komolých klínech neboli trapezoidech, které je nejprve třeba vyřezat z již předem vytvořených desek obou směsí. Z každé směsi bylo vyrobeno 8 vzorků které byly následně přilepeny na nástavce, vloženy do zkušební komory a podrobeny dynamickému průhybu, který dokážeme vyvodit silou za pomoci frekvencí s rozsahem od 3 Hz do 30 Hz. Tělesa byla zkoušena při teplotách 15 a 27 °C. [18]



2.6.1 Laboratorní pomůcky

Zkouška byla prováděna v moderní silniční laboratoři na fakultě ČVUT, pod dohledem personálu laboratoře. Laboratoř obsahuje:

- Klimatická komora
- Příklad na provádění zkoušky – schopný dosáhnout dynamického průhybu
- Destičky na přilepení a uchycení vzorků
- Měřící zařízení – šuplera
- Sondy měřící deformace
- PC se softwarem pro zpracování a zaznamenávání dat



Obrázek 27 Příklad na provádění zkoušky [23]



2.6.2 Postup zkoušky

Pro potřeby zkoušky byla vytvořena od každé směsi 1 deska pomocí lamelového zhutňovače. Z desek bylo následně vyřezáno 8 a 8 trapezoidu. Všechna nově vytvořená tělesa musela být nejprve zvážena a podrobně změřena. Poté bylo teprve možné začít připravovat tělesa na provedení zkoušky. Tělesa byla pomocí speciálního v laboratoři vytvořeného lepidla, 27 g pryskyřice a 3 g ztužovacího tmelu, přilepena ke dvěma destičkám, které následně slouží k upevnění vzorků do přístroje a zamezení jakéhokoliv nechtěného pohybu při provádění zkoušky. Lepidlo je nutné nechat zaschnout po dobu min. 12 hodin, aby byla dosažena dostatečná pevnost a nedošlo k vytržení vzorku. Tělesa s již zatvrdlým lepidlem je poté možné vložit do klimatické komory a temperovat po dobu 4 hodin na požadovanou teplotu. Vytemperovaná tělesa vložíme do již připraveného a předem nastaveného přístroje. Příprava a uvedení přístroje do pracovního stavu je ve srovnání s předešlou metodou IT-CY daleko složitější a náročnější. Tělesa se po vložení pomocí sady šroubů a matek upevní v rámu přístroje. Po upevnění vložíme do softwaru změřené rozměry a váhu. Po vyplnění rozměrů zadáme do přístroje požadovanou frekvenci a počet cyklů, pro potřeby této bakalářské práce byla tělesa zkoušena na frekvenci 5, 10, 15, 20 a 25 Hz při teplotě 15 a 27 °C. Nezbyvá než přístroj zapnout a očekávat výsledky. Celý proces byl takto opakován pro každý vzorek.



Obrázek 28 Vzorek umístěný v přístroji [23]



2.7 Marshallova zkouška

Marshallova zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 12697-34. Na tělesech č. 1–3 ze směsi „50-70“ a na tělesech č. 7–9 ze směsi „PMB“. Zajímavostí je, že zkouška už není definována ve výrobních normách řady ČSN EN 13108-X, resp. v přílohách prováděcí normy ČSN 73 6121, jelikož byla považována za zbytečnou a její výsledky nic neříkající, byla z normy odebrána. Ve většině laboratoří se však stále provádí, jelikož za svou bohatou minulost z ní mají odborné laboratoře množství výsledků a možností pro porovnávání a povědomí o tom kde by se výsledky měli pohybovat.[19]

2.7.1 Laboratorní pomůcky

Pro zaznamenání a vyhodnocení průběhu zkoušky byl použit PC s potřebným softwarem. Včetně dalších pomůcek:

- Lis + upínací čelisti
- Sonda propojená s PC softwarem
- Vodní lázeň vytemperovaná na 60 °C
- Rukavice



Obrázek 29 Přístroj na provádění Marshallovy zkoušky [23]



2.7.2 Postup zkoušky

Prvním krokem zkoušky bylo vložení všech 6 těles do připravené vodní lázně ohřáté na 60 °C, kde bylo nutné ponechat tělesa vytemperovat po dobu přibližně 40 min. V mezičase bylo nutné připravit přístroj a zadat do PC softwaru rozměry vzorků. Po vytemperování těles bylo vždy 1 těleso, za pomoci ochranných rukavic, vyndáno ven z horké lázně a přeneseno do čelistí přístroje. Následně byl přístroj spuštěn zatěžovací rychlostí 50 mm/min. Přístroj měřil maximální sílu v momentě deformace vzorku. Po dokončení bylo nutné rozdrčené těleso z přístroje vyndat a celý proces opakovat pro zbylá tělesa. Výstupem ze softwaru je graf závislosti síly na deformaci a maximální síla společně s mírou tuhosti vyjádřené poměrem síly/přetvoření.



Obrázek 30 Zdeformované vzorky po zkoušce [23]



2.8 Odolnost proti šíření trhlin

Zkouška odolnosti proti šíření trhlin byla provedena podle normy ČSN EN 12697-44, Princip zkoušky je následující. Půlválcové těleso upravené z již vytvořených Marshallových těles je ve třech bodech zatěžováno ohybem s cílem zaznamenat maximální tahové napětí. V průběhu zkoušky se deformace zvyšuje v závislosti na rychlosti zatěžování 5 mm/min až do hodnot F_{max} a kolapsu tělesa. [20]

Pro účely bakalářské práce došlo k lehkým odklonům od normy:

- Definovaná trhlina má hloubku 10 mm a šířku 0,9 mm.
- Zatěžovací rychlost snížena pro přesnost na 2,5 mm/min.

Tato zkouška byla provedena na tělesech č. 4–6 ze směsi „50-70“ a ze vzorků č. 10–12 ze směsi „PMB“ při teplotě 0 °C.

2.8.1 Laboratorní pomůcky

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

- Zkušební zařízení s rozsahem min 50 kN
- Snímací zařízení – Dataloger
- Zařízení na úpravu Marshallových těles pro potřeby zkoušky
- Posuvné měřítko pro změření těles – šuplera
- Čelisti s válečkovými ložisky
- Klimatizační komora pro temperování vzorků

2.8.2 Postup zkoušky

Marshallova tělesa bylo nutno na tuto zkoušku upravit, bylo provedeno seříznutí do požadovaných rozměrů, tedy rozříznutí každého tělesa svisle na půl a poté seříznutí do výšky cca. 50 mm. Následovalo naříznutí tělesa uprostřed seříznuté hrany a vytvoření drážky o hloubce 10 mm a šířce 0,9 mm. Po úpravě byla tělesa umístěna do klimatizované komory, kde byla ponechána 6 hodiny pro vytemperování na teplotu 0 °C.

Před vložením vytemperovaných těles do zkušebního zařízení bylo třeba zařízení sestavit a připravit. Bylo také nutné zapnout Dataloger, který zaznamenává sílu a deformaci každou sekundu kterou běží, nezávisle na průběhu zkoušky. Těleso se položilo na válcová ložiska a čelistmi se zajistila jeho poloha, byl přiložen snímač síly, do kterého přímo tlačil lis upravenou rychlostí 2,5 mm/min. Do momentu dosažení maximální síly F_{max} a destrukce tělesa. Dataloger v pauzách při výměně vzorků vypínáme, z důvodu směru nepotřebných dat. Sběr důležitých dat se pohybuje od 0,03 kN a končí, když síla opět klesne na hodnotu cca 0,3 kN



Půlválcové těleso bylo následně zkontrolováno, jestli šíření trhliny odpovídalo definovanému směru určeném zářezem. To se provedlo plastovou půlválcovou pomůckou s vyříznutým trojúhelníkem uprostřed. Pokud se trhlina nachází ve výseči, je zkouška platná v opačném případě je výsledek neplatný. Vyhodnocení dat vychází ze vztahů, které se dají vyjádřit vzorci (3.11 – 3.14.):

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

kde je:

$S_{max,i}$	poměrné přetvoření při maximální síle
ΔW_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 ²
$F_{max,i}$	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 ^{3/2}
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

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



Obrázek 31 Přístroj na zkoušení šíření trhlin [23]



Obrázek 32 Zdeformované vzorky po zkoušce [23]



2.9 Zkouška pojíždění kolem

Zkouška pojíždění kolem je definována normou ČSN EN 12697-22 – Zkouška pojíždění kolem. Jedná se o zkoušení odolnosti vůči opakovanému pojezdu zatíženého kola při stále teplotě. Pro tuto zkoušku je třeba zvolit způsob provedení a zkušební zařízení, pro potřeby bakalářské práce a směsi které byly zkoušeny, tedy ACP 16 +. Byla zvolena metoda pojezdu po 2 deskách o výšce 60 mm vytemperovaných na teplotu 50 °C v malém zkušebním zařízení. Podstatou zkoušky je zkoumání hloubky vyjetých kolejí při konstantním pojíždění, za zvýšené teploty.[21]

2.9.1 Laboratorní pomůcky

Pro zkoušku pojíždění kolem byly použity tyto pomůcky:

- Malé zkušební zařízení včetně zařízení na regulaci teploty.
- PC připojený k zařízení a shromažďující data.
- Rámy na upnutí desek.
- Posuvní měřítko – šuplera.
- Šroubovák, kladivo a imbusový klíč

2.9.2 Postup zkoušky

Desky pro provedení této zkoušky byly vyrobeny dopředu. Zbývalo tedy pouze správně změřit výšku vyrobených vzorků a upevnit je do rámu pro zamezení jejich pohybu. Následně se na dvojici desek položila pojízděcí souprava a celé zkušební zařízení bylo následně zavřeno a byla nastavena teplota na požadovaných 50 °C. Pro temperování vzorků byl dle normy zvolen postup B, temperování na vzduchu. Tělesa se nechají temperovat minimálně 4 hodiny. Po skončení procesu jsou data zaslána z přístroje rovnou do PC a proces se opakoval pro druhou sérii desek.

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

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

PRD_{AER} poměrná hloubka vyjeté koleje v %

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

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

kde je:



t_{desky}

průměr tloušťky desek v mm



Obrázek 33 Příklad na poježdění [23]



Obrázek 34 Deska po skončení zkoušky [23]



3. Vyhodnocení zkoušek

Všechny zkoušky byly provedeny přesně podle postupů uvedených v normách a následně přepsaných do této bakalářské práce.

Vyhodnocení všech zkoušek bude pro obě směsi v každé kapitole společné. Výsledkem vyhodnocení bude jednoznačné rozsouzení, jaká směs vylepšená o vlákna vykazovala lepší výsledky.

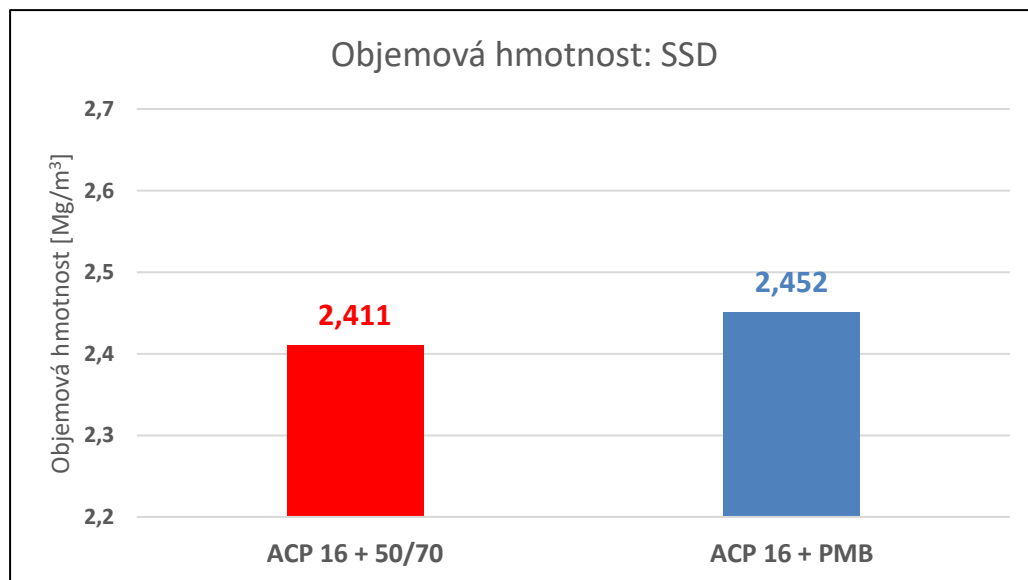
Zde budou uvedeny pouze výstupní hodnoty, které vyplívají z výpočtů. Samotné výpočetní tabulky budou uvedeny v příloze, zvláště pro jednotlivé zkoušky.

Obě směsi byly obohaceny stejným množstvím vláken FORTA-FI a pro zkrácení názvů a zjednodušení čtení výsledků jsou uváděny jejich názvy bez dovětku „FORTA-FI“.

3.1 Objemová hmotnost, mezerovitost

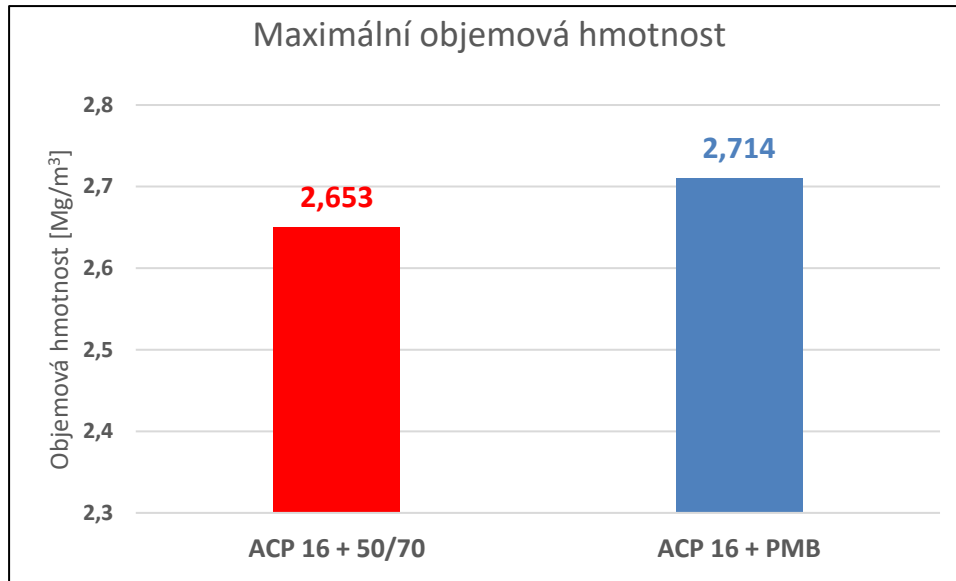
3.1.1 Objemová hmotnost: nasycený suchý povrch SSD

U všech těles byla objemová hmotnost zjištěna dvěma způsoby, následný výpočet mezerovitosti byl možný provést až po vypočtení maximální objemové hmotnosti. Výsledky metody SSD:



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

Objemová hmotnost metodou SSD se u směsí liší o pouhých 0,041 Mg/m³. Kdy vyšší hodnotu ukazuje směs ACP 16 + PMB 25/55-65. Z hlediska opakovatelnosti stanové v normě ČSN EN12697-6 je však tento rozdíl zanedbatelný a neudává žádnou značnou výhodu.



Graf č. 2 Porovnání maximální objemové hmotnosti

Maximální objemová hmotnost se drží ve stejném směru jako objemová hmotnost měřená metodou SSD, rozdíl mezi oběma směsi je zde větší a pohybuje se kolem $0,061 \text{ Mg/m}^3$, stále platí, že vyšší hodnotu můžeme vidět u směsi PMB.

3.1.2 Mezerovitost

Po naměření objemové hmotnosti metodou SSD a vypočítání maximální objemové hmotnosti bylo možné dle normy ČSN EN 12697-8 vypočítat mezerovitost jednotlivých směsí.

Směs	Objemová hmotnost [Mg/m³]	Maximální objemová hmotnost [Mg/m³]	Mezerovitost [%]
ACP 16 + 50/70	2,411	2,653	9,1 %
ACP 16 + PMB	2,452	2,714	9,7 %

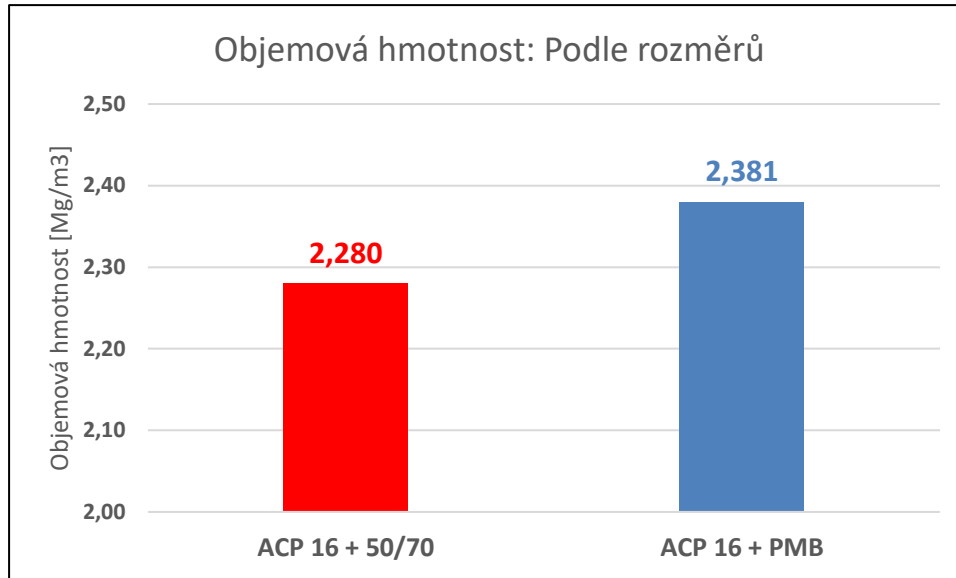
Tabulka č. 2 Tabulka mezerovitosti

Vypočtená mezerovitost se u směsí pohybuje lehce nad 9 %, podle normy ČSN 73 6121 je pro směsi „16 +“ maximální dovolené mezerovitost 9 %. Výsledky tedy nespádají do rozmezí vypsane v normě, ovšem pro účely bakalářské práce, nebylo vyžadováno přepracování zkoušek. Mezi jednotlivými směsi je zanedbatelný rozdíl 0,6 %, přičemž větší mezerovitost vykazuje směs PMB.



3.1.3 Objemová hmotnost: Podle rozměrů

Objemová hmotnost podle rozměrů byla stanovena podle normy ČSN EN 12697-6 a podle postupu uvedeného v kapitole 2.2.2.2, která se věnovala objemové hmotnosti.



Graf č. 3 Porovnání průměrné objemové hmotnosti metodou podle rozměrů

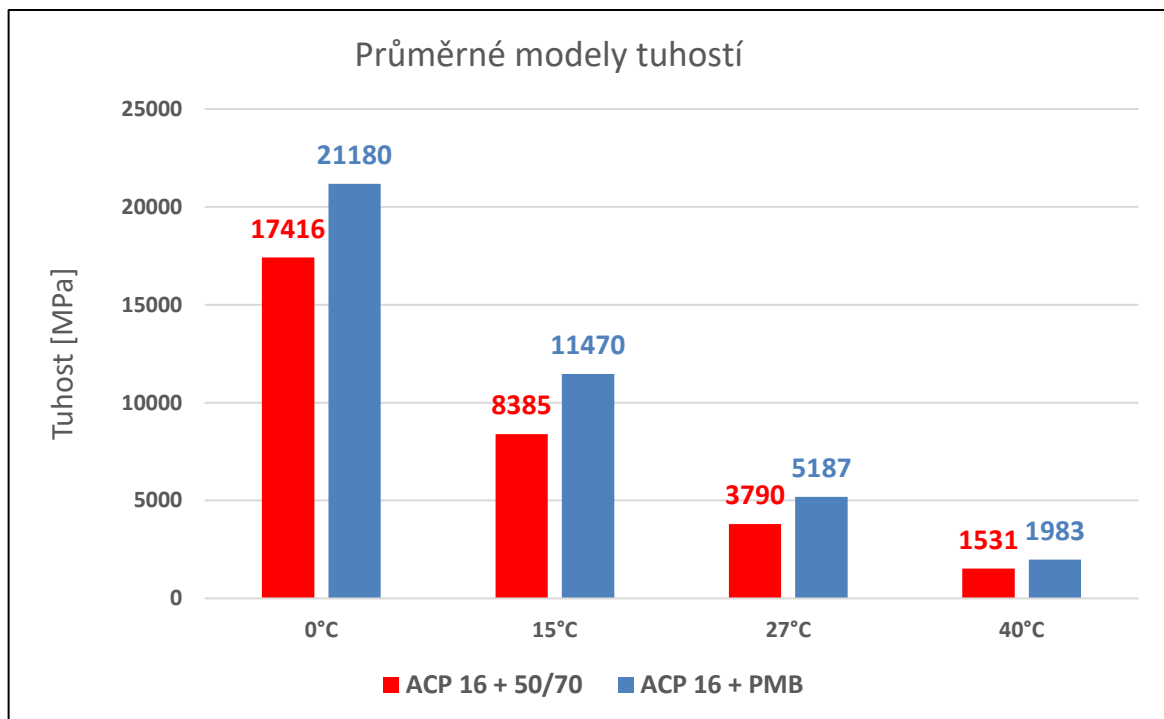
Z obou předešlých grafů je jasně vidět, že směs ACP 16 + PMB má větší objemovou hmotnost. Jinak tomu není ani teď, při metodě podle rozměrů byl rozdíl už citelný a to 0,101 Mg/m³.



3.2 Modul tuhosti – Zkouška v příčném tahu: IT-CY

Moduly tuhosti byly stanoveny dle normy ČSN EN 12697-26. Měření bylo prováděno za teplot 0, 15, 27 a 40 °C a použita byla metoda IT-CY.

Potvrdil se prozatímní trend, směs s modifikovaným asfaltem PMB dosahovala vyšších hodnot než směs „50/70“. Obecně můžeme potvrdit, že vliv vláken má buď pozitivní anebo určitě ne negativní vliv na zkoušené modely tuhosti. Celkově vykazovaly obě směsi vysoké moduly tuhosti.



Graf č. 4 Porovnání průměrných modulů tuhostí

Výsledky měření byly vloženy do tabulky a poté převedeny na procenta, aby bylo možné vidět procentuální rozdíly naměřené při jednotlivých teplotách. Na první pohled vidíme, že největší procentuální rozdíl byl naměřen při teplotě 15 °C a to rozdíl 37 %. Skoro stejný rozdíl nastal při teplotě 27 °C, kdy bylo naměřeno 36 %. V obou případech ve prospěch směsi PMB. Poněkud nižší procentuální rozdíl nastal k překvapení u teploty 0 °C kde se rozdíl pohybuje okolo 21 % a je to nejnižší rozdíl obou směsí. Při teplotě 40 °C se rozdíl pohyboval okolo 29 %, a i u tak vysoké teploty byly hodnoty stále poměrně vysoké, když se hodnota PMB blížila k 2 000 MPa, což ukazuje na vysokou kvalitu směsí.



[MPa]	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
ACP 16 + 50/70	17 416	8 358	3 790	1 531
ACP 16 + PMB 25/55-65	21 180	11 470	5 187	1 982

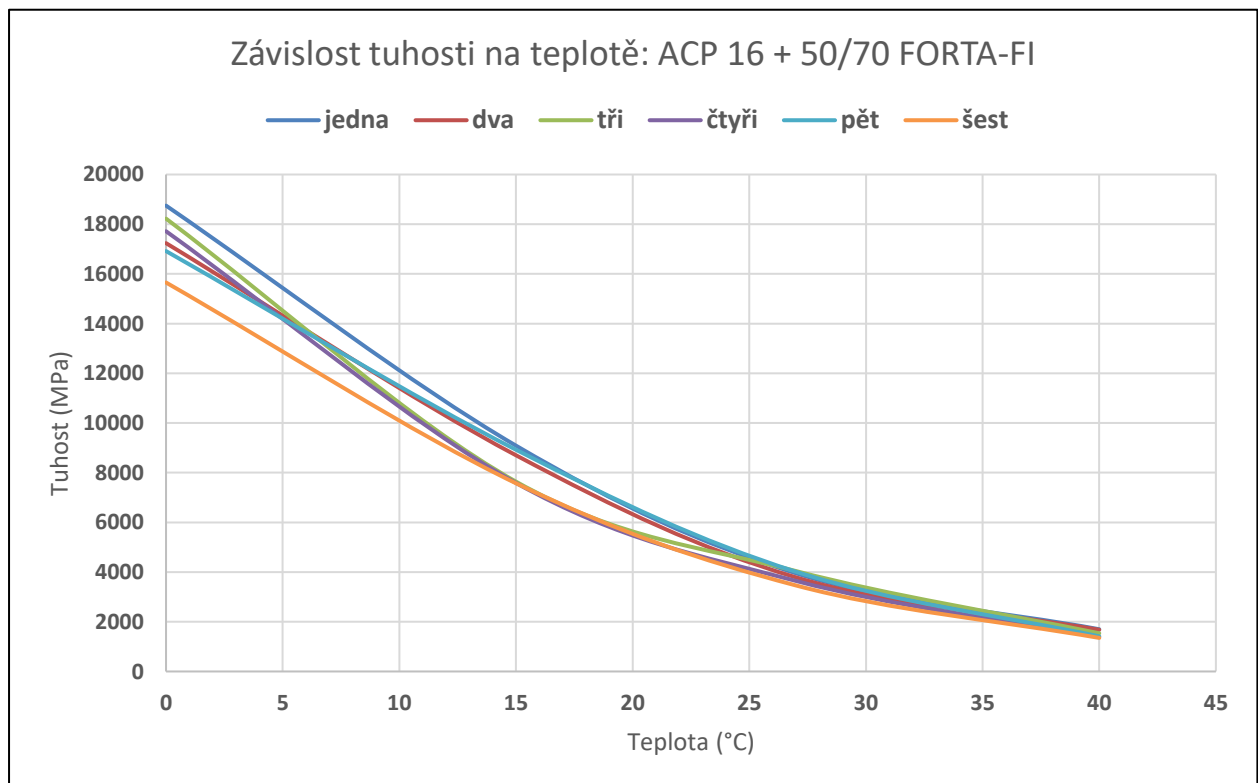
Tabulka č. 3 Tabulka modulů tuhosti v MPa

[%]	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
ACP 16 + 50/70	100	100	100	100
ACP 16 + PMB 25/55-65	121	137	136	129

Tabulka č. 4 Tabulka modulů tuhostí v %

Pro lepší grafické znázornění závislosti modulů tuhosti na teplotě, a jak modul tuhosti s přibývajícím teplotou klesá včetně pohledu na křivku klesání obou směsí byl sestrojen názorný graf.

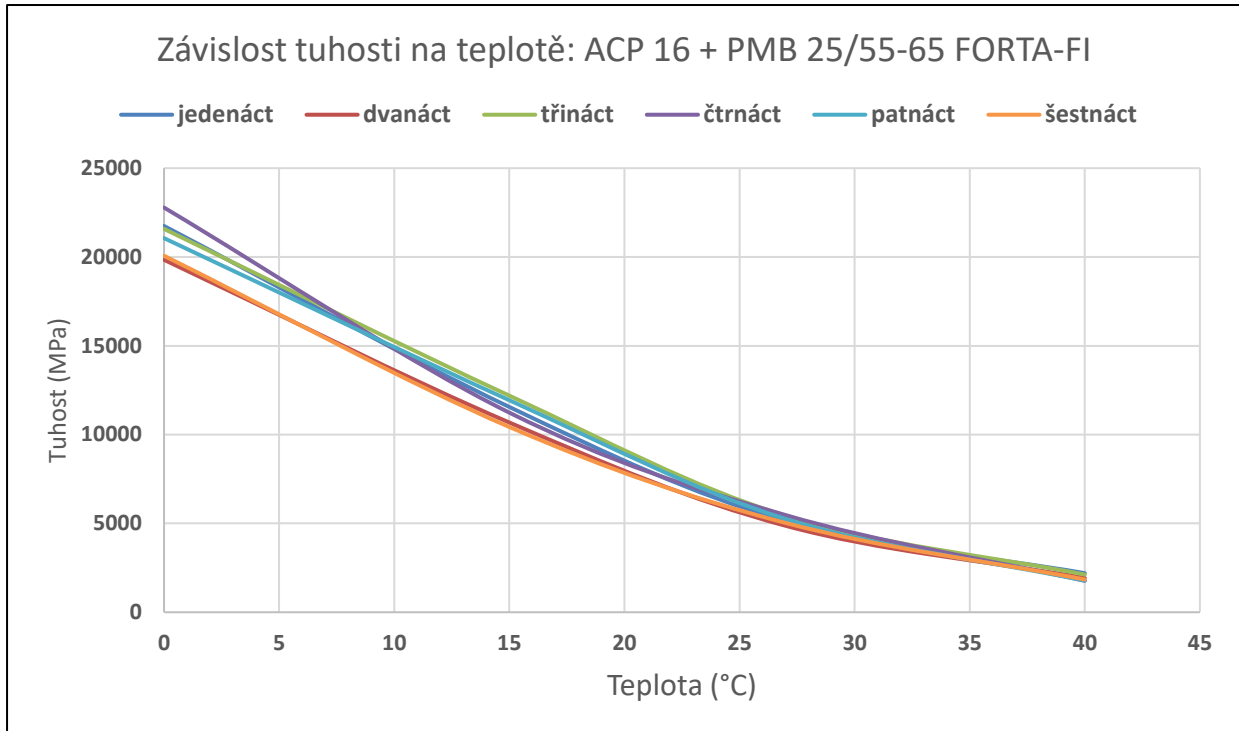
Pro směs ACP 16 + 50/70 vypadá graf:



Graf č. 5 Závislost tuhosti na zkušební teplotě



Pro směs ACP 16 + PMB vypadá graf:



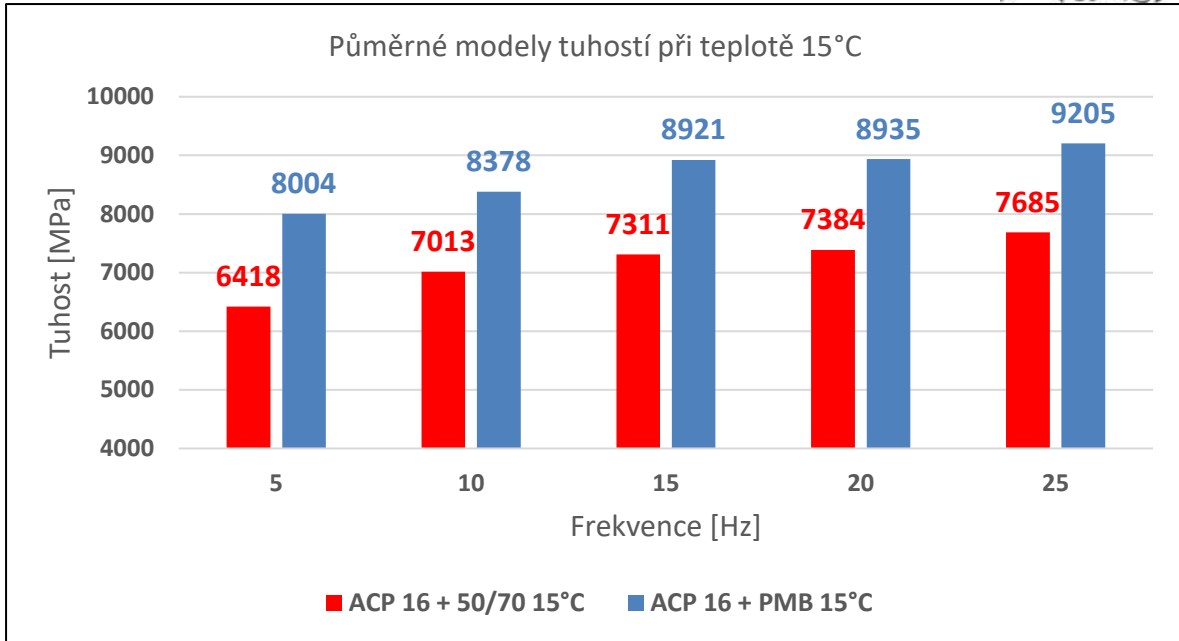
Graf č. 6 Závislost tuhosti na zkušební teplotě

3.3 Modul tuhosti – Zkouška ohybem: 2PB-TR

Moduly tuhosti byly stanoveny dle normy ČSN EN 12697-26. Použitá byla metoda 2PB-TR a tělesa byla zkoušena při teplotě 15 a 30 °C.

Pro časovou náročnost a nedostatek destiček, na které je třeba vzorky nalepit byla zkouška prováděna vždy po skupinkách čtyřech vzorků. Zkoušky se prováděly v dopoledních hodinách při teplotě 15 °C a v odpoledních hodinách po dostatečném vytemperování vzorků a přístroje bylo možné pokračovat při teplotě 30 °C.

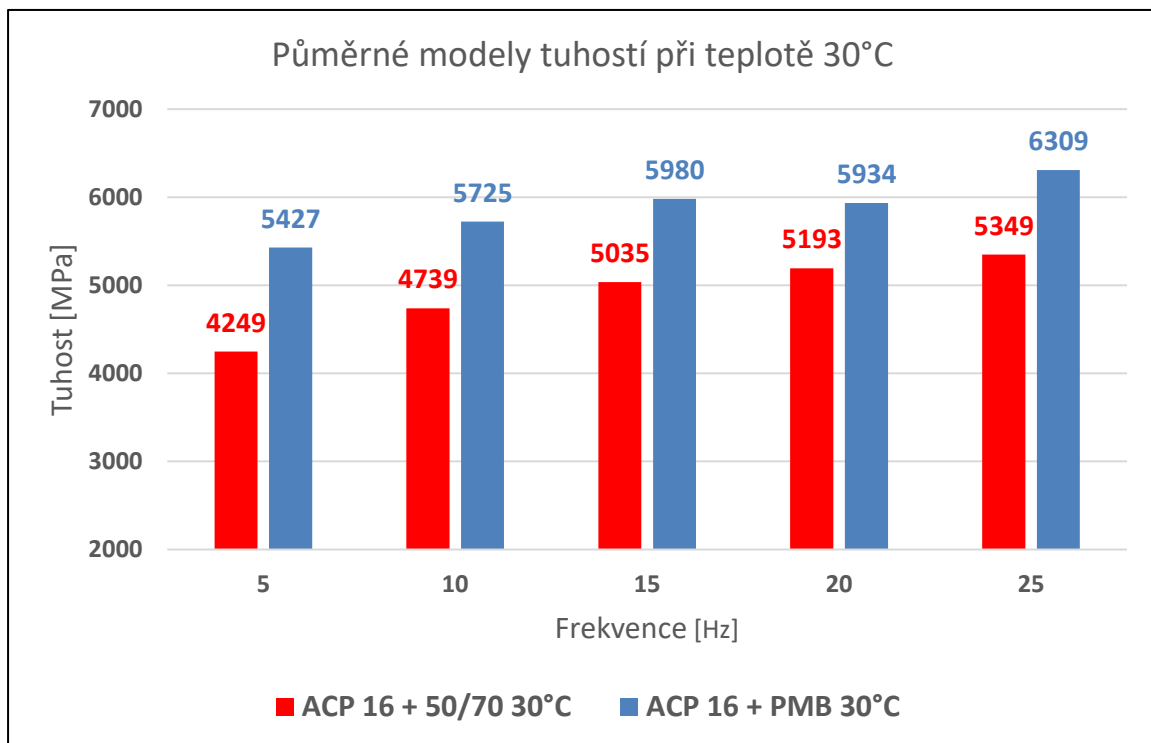
Jako první se podíváme blíže na dva grafy, které se věnují zkouškám za teploty 15 °C. Můžeme vidět, že ani u této zkoušky nebyl dosavadní nastavený trend nijak vyvrácen, když směs ACP 16 + PMB vykazuje při všech zkoušených frekvencích vždy lepší výsledky.



Graf č. 7 Tuhosti při jednotlivých frekvencích

Jak již bylo naznačeno výsledky při teplotě 15 °C ukazují po celé škále vyšší hodnoty u směsi PMB, a to v průměru o cca 20 %.

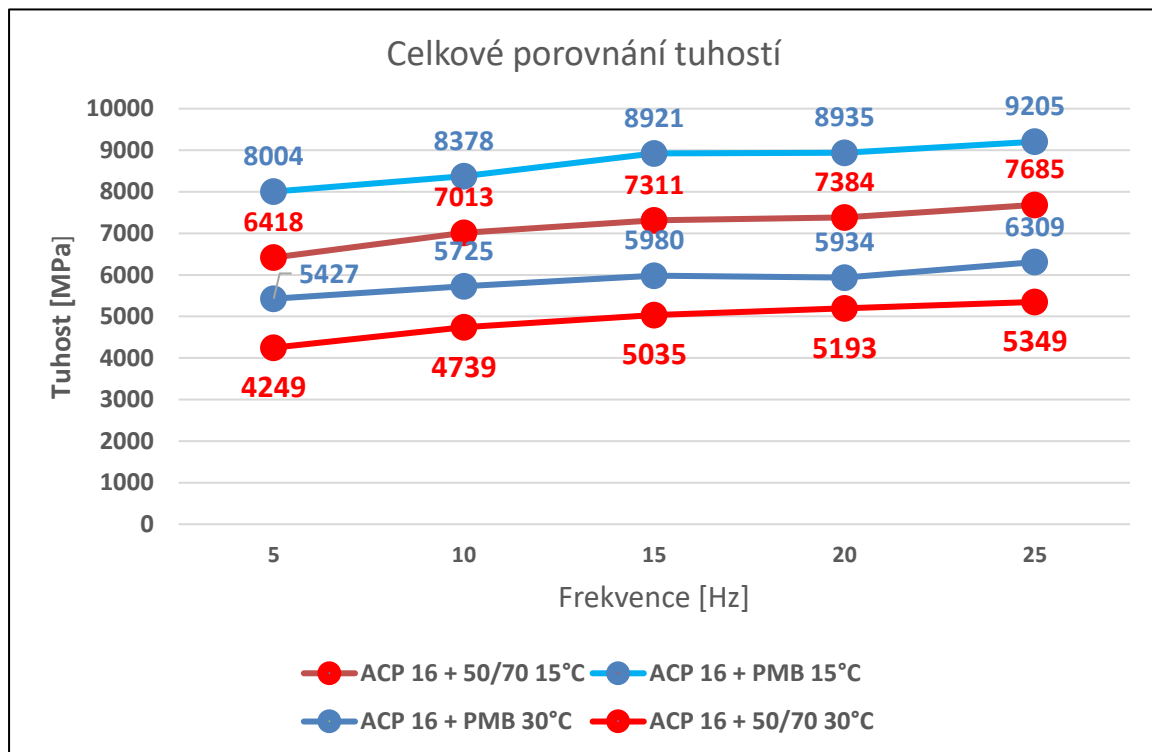
Při teplotě 30 °C se rozdíl směsí přiblížil na hodnoty blížíící se 15 %, avšak výsledek zůstal nezměněn. Při všech frekvencích směs ACP 16 + PMB vykazuje stále vyšší hodnoty než směs ACP 16 + 50/70.



Graf č. 8 Tuhosti při jednotlivých frekvencích



V tomto grafu si porovnáme křivky tuhostí při obou teplotách. Můžeme vidět, že všechny křivky dodržují podobný styl klesání, nebo stoupání záleží, z jaké strany je na graf nahlíženo. Pro vzorky zkoušené při teplotě 15 °C byly zvoleny odlišné barvy, aby bylo jasné, která křivka patří, které tuhosti.



Graf č. 9 Celkové porovnání tuhostí

Pro zajímavost se podíváme na porovnání hodnot mezi oběma zkouškami, které byly použity pro výpočet tuhostí. Při zkoušce 2PB-TR je hodnota rozdělená mezi několik frekvencí, použijeme proto hodnotu průměrnou.

	2PB-TR [MPa]	IT-CY [MPa]
ACP 16 + 50/70 15 °C	6418–7685 (7162)	8385
ACP 16 + PMB 15 °C	8004–9205 (8385)	11470

Tabulka č. 5 Porovnané průměrné hodnoty obou zkoušek

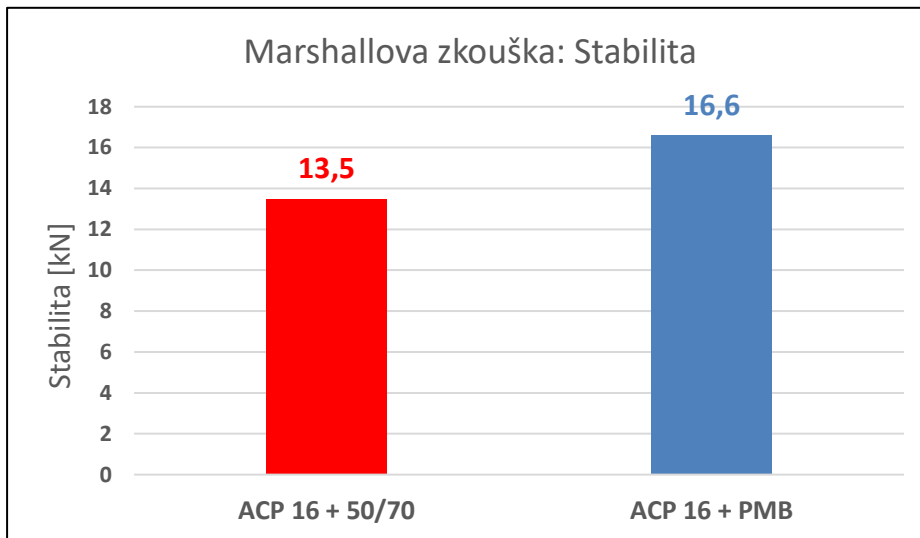
Můžeme vidět, že metodou IT-CY byly naměřeny vyšší hodnoty, otázkou je jakou váhu lze těmto hodnotám přiřadit, vzhledem k rozdílu podstaty zkoušek a faktu, že při zkoušce IT-CY neexistuje měřená frekvence.



3.4 Marshallova zkouška

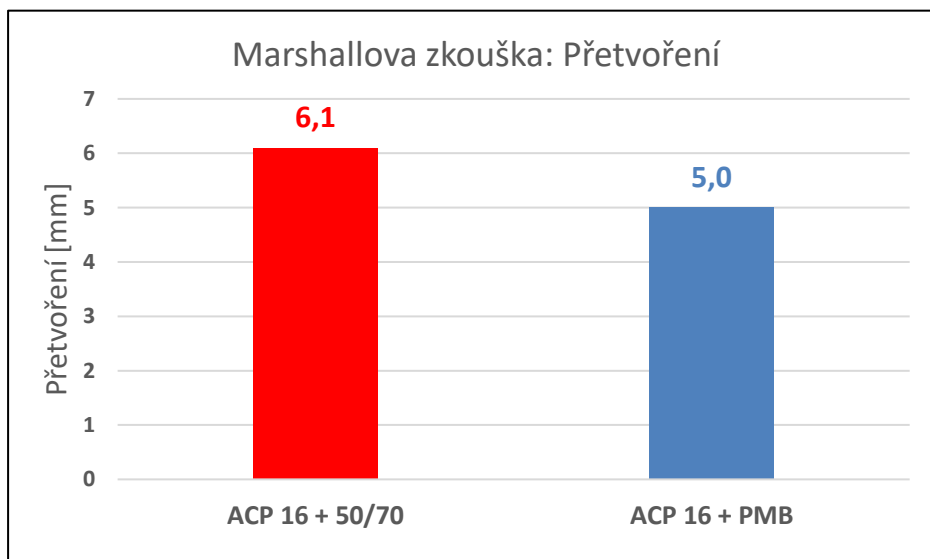
Navzdory odebrání Marshallovy zkoušky z normy ČSN 73 6121 byly pro účely této bakalářské práce zkoušky provedeny dle posledního znění normy ČSN EN 12697-34.

Směs ACP 16 + PMB vyšla v této zkoušce lépe než druhý zástupce podkladních vrstev. Na grafu stability jde vidět, že směs vykazuje o 23% lepší výsledek.



Graf č. 10 Marshallova zkouška: stabilita

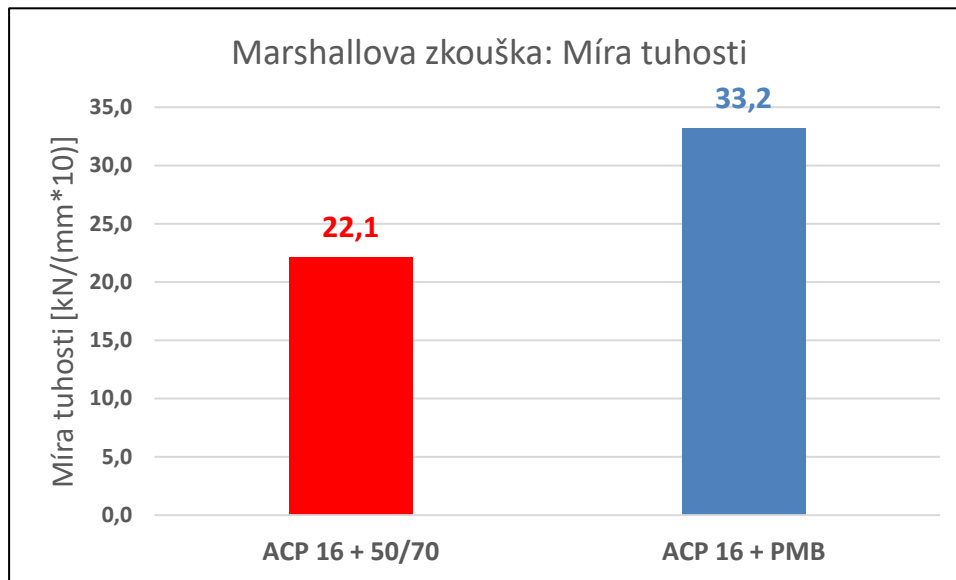
V následujícím grafu si ukážeme výsledky Marshallovy zkoušky v oblasti přetvoření. Jak si můžeme všimnout směs ACP 16 + PMB vykazuje menší průměrné přetvoření o přibližně 1,1 mm na průměru ze všech zkoušených těles.



Graf č. 11 Marshallova zkouška: přetvoření



V posledním grafu se zaměříme na míru tuhosti, která se vypočítá jako závislost stability a přetvoření. Jak vyplývá z již známých výsledků, lépe na tom je směs ACP 16 + PMB která dosahuje hodnoty 33,1 kN/(mm*10).



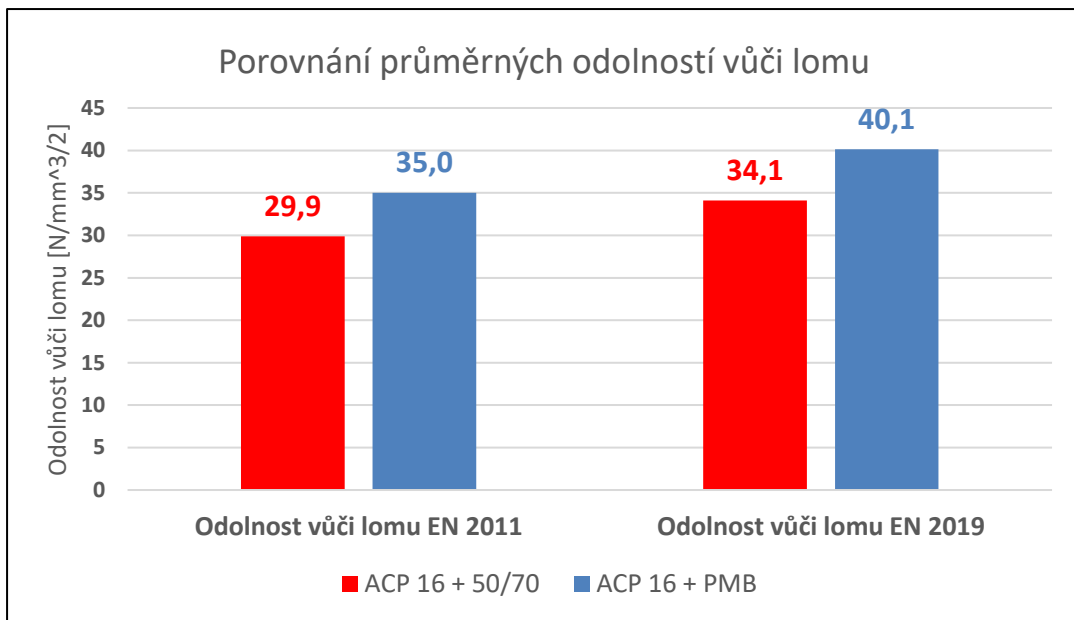
Graf č. 12 Marshallova zkouška: míra tuhosti



3.5 Odolnost proti šíření trhlin

Zkouška odolnosti proti šíření trhlin byla provedena dle normy ČSN EN 12697-44. Zkušební vzorky byly zkoušeny při teplotě 0 °C. V této bakalářské práci budou posouzeny z hlediska 6 veličin, a to normou stanovenou veličinou odolnosti vůči lomu EN 2011 a EN 2019, lomovou energií potřebnou k dosažení maximální síly $G_{f,max}$ a celkovou energií lomu a v neposlední řadě lomovou práci potřebnou k dosažení maximální síly $W_{f,max}$ a celkovou práci lomu.

Zkouška byla provedena na 6 půlválcích z každé testované směsi. Graf porovnání odolností vypadá následovně:

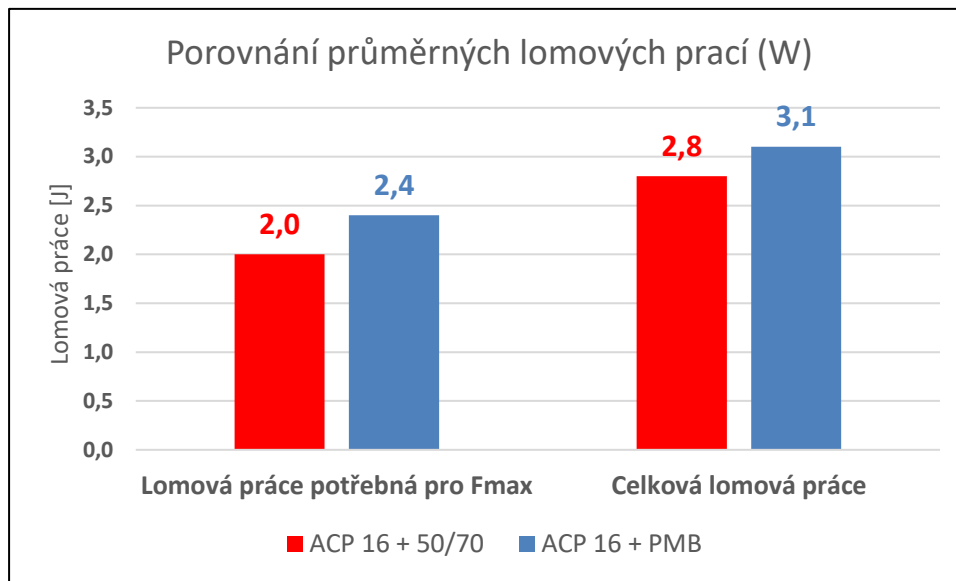


Graf č. 13 Porovnání průměrných odolností vůči lomu

Jak lze na grafu vidět, je zde dodržen nastavený trend. Směs ACP 16 + PMB dosahuje větší odolnosti vůči lomu v aktuálním znění normy z roku 2019 - EN 2019 a stejně je tomu i tak u znění normy z roku 2011 - EN 2011. Pokud se zaměříme na rozdíly normových zkoušek tak odolnost vůči lomu EN 2011 i EN 2019 se liší o naprosto shodných 17 %.



Graf vykonané práce:

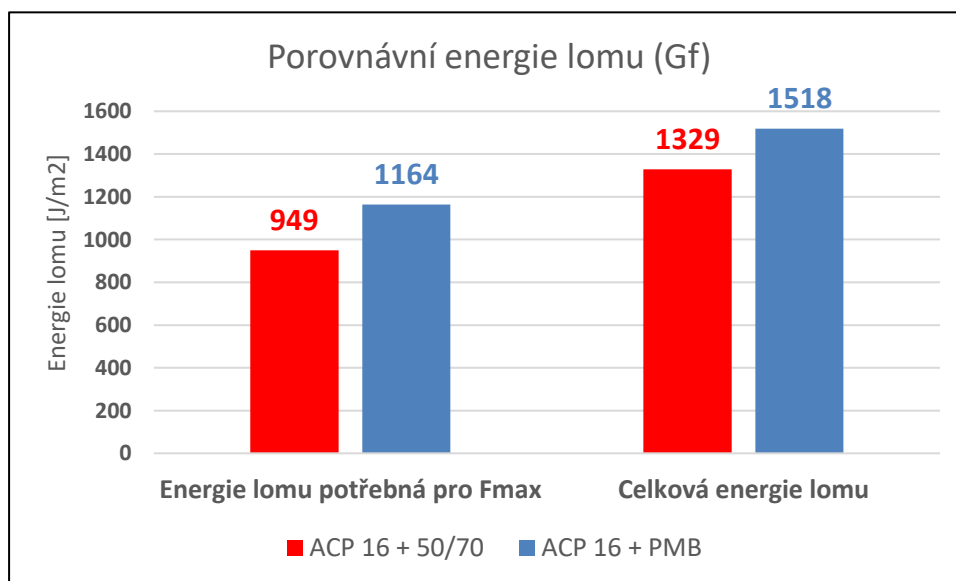


Graf č. 14 Graf lomové práce.

Na levé části grafu můžeme vidět, jak velká byla vykonána práce, aby byla dosažena maximální síla F_{max} . Z výsledků můžeme pozorovat, že směs ACP 16 + 50/70 dokáže dosáhnout maximální síly za celkově menší vykonané práce.

Na pravé straně grafu byla zaznamenána celková provedená práce vzorku, tedy práce, která pokračovala i po dosažení maximální síly a dále způsobila šíření trhliny ve vzorku. Opět vidíme stejný trend, kdy na směsi ACP 16 + 50/70 bylo opět potřeba méně práce.

Graf energie lomu:



Graf č. 15 Graf lomové energie.



V posledním ukázaném grafu jsme porovnávali kolik energie bylo potřeba na vytvoření trhliny lomu ve zkoušených tělesech. Na levé části grafu můžeme vidět kolik energie bylo potřeba pro dosažení maximální síly F_{max} , lépe si opět vedla směs ACP 16 + PMB, pro jejíž dosažení maximální síly bylo potřeba 1164 J/m^2 .

V druhé části grafu pozorujeme, jak se energie dále vyvíjela a kolik bylo celkové množství vynaložené energie za dobu zkoušky.

Pro přehlednost a finální zhodnocení zkoušky odolnosti šíření trhlin byla sestavena tabulka, do které se k již zkoumaným hodnotám přidala deformace a maximální dosažená síla.

Směs	Průměrná deformace [mm]	Průměrná maximální síla [kN]	Kritická hodnota EN 2011 [N/mm ^{3/2}]	Kritická hodnota EN 2019 [N/mm ^{3/2}]	Práce do F_{max} [J]	Energie do F_{max} [J/m ²]
ACP 16 + 50/70	0,73	5,88	29,9	34,1	2,0	949
ACL 16 + PMB	0,83	6,73	35,0	40,1	2,4	1164

Tabulka č. 6 Porovnání směsí při zkoušce šíření trhlin

Výsledek zkoušky je jednoznačný v prospěch směsi ACP 16 + PMB. Pro výpočet jednotlivých veličin byl použit velice pokročilý soubor excel, který je k dispozici v příloze č. 12 až 15.



3.6 Odolnost vůči tvorbě trvalých deformací

3.6.1 Hloubka vyjetí kolem

Odolnost vůči vzniku trvalých deformací byla posuzována zkouškou pojetím kolem. Zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN 12697-22:2020 a byla popsána v kapitole 2.8.

První věc, na kterou je důležité se podívat je míra zhutnění desek.

- Směs **ACP 16 + 50/70**
 - deska č.1 – **99,5 %**; tl. **62,10 mm**
 - deska č.2 – **99,9 %**; tl. **62,15 mm**
- Směs **ACP 16 + PMB 25/55-65**
 - deska č.1 – **99,5 %**; tl. **60,51 mm**
 - deska č.2 – **99,9 %**; tl. **60,42 mm**

Zhutnění směsí bylo dosaženo skoro do hodnoty 100 %. Zhutnění desek lze považovat za úspěšné.

Pojíždění kolem se provádělo za teploty 50 °C a bylo provedeno 10 000 cyklů projetí. Výsledky zkoušky jsou zobrazeny v následující tabulce č.5.

Pro směs ACP 16 + 50/70:

ACP 16 + 50/70	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]
deska č.1	0,90	0,96	0,06	-	-
deska č.2	0,73	0,77	0,04	-	-
Průměr	0,82	0,87	0,05	1,3	0,01

Tabulka č. 7 Hloubka vyjetí kolem ACP 16 + 50/70

Z tabulky je patrné, že směs ACP 16 + 50/70 dopadla nad očekávání výborně. Průměrná hodnota hloubky kolejí po 10 000 cyklech při teplotě 50 °C je 0,87 mm, a to ukazuje na vysokou kvalitu a odolnost vůči deformacím směsi.



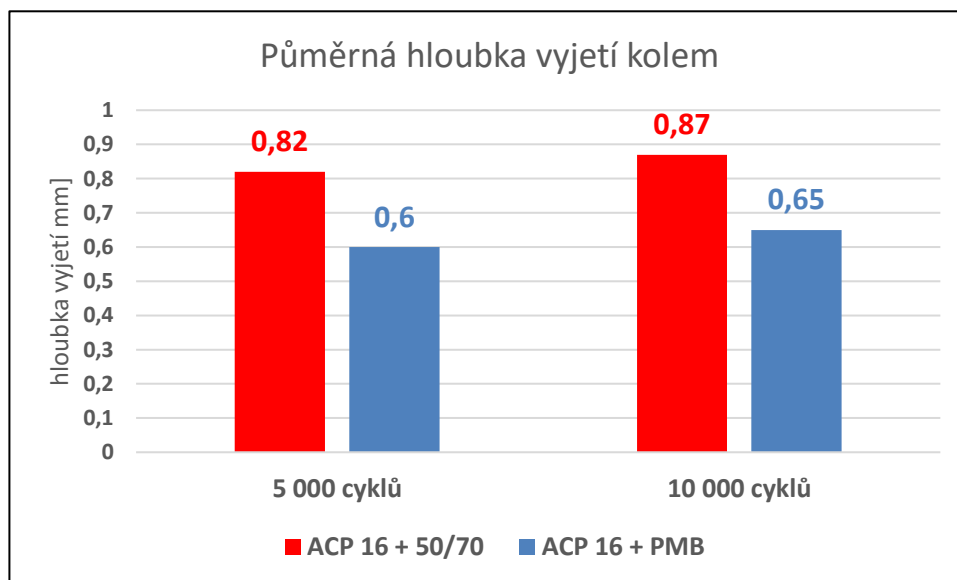
Pro směs ACP 16 + PMB 25/55-65:

ACP 16 + PMB	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]
deska č.1	0,67	0,73	0,06	-	-
deska č.2	0,52	0,56	0,04	-	-
Průměr	0,60	0,65	0,05	1,0	0,01

Tabulka č. 8 Hloubka vyjetí kolem ACP 16 + PMB

U směsi ACP 16 + PMB bylo dosaženo ještě lepších hodnot než u směsi 50/70, dodržování trendu tedy platí i u zkoušky opakovaného poježdění kolem. Směs PMB po 10 000 cyklech při teplotě 50 °C dosáhla hloubky vyjetí koleje pouhých 0,65 mm a je tedy o 0,22 mm lepší než směs 50/70.

Pro finální zobrazení výsledků zkoušky jsem do grafu umístil průměrné hloubky v měřených cyklech, aby byl lépe vidět rozdíl mezi oběma směsi. Směs ACP 16 + PMB je po 5 000 cyklech lepší o 36 % a při 10 000 se rozdíl pohybuje okolo 33 %.



Graf č. 16 Graf průměrné hloubky vyjetí kolem



Závěr experimentální části

Základní otázka této části bakalářské práce zněla, která ze dvou zkoušených směsí ACP 16 + 50/70 a ACP 16 + PMB 25/55-65 bude podle získaných dat vykazovat lepší hodnoty a jakým směrem jejich vlastnosti ovlivní přidaná vlákna.

Byla totiž často vedena debata, zda budou mít vlákna v modifikované asfaltové směsi vůbec nějaký účinek a jestli bude možné jejich přítomnost zaregistrovat. Když vezmeme samotné směsi ACP 16 + 50/70 a ACP 16 + PMB bez přidaných vláken rozdíl je jednoznačný ve prospěch modifikovaného asfaltu, když poté přidáme vlákna jen do směsi „50/70“ vlastnosti se lehce vyrovnají a díky možnosti používat tento asfalt lokálně a v menším množství, vznikla debata ve prospěch směsi „50/70“, a proto přišla otázka, co se stane, když přidáme vlákna i do již modifikované směsi. Po dokončení experimentální části a shromáždění všech výsledků ze všech provedených zkoušek můžeme prohlásit, že vlákna jsou jednoznačně ve směsi ACP 16 + PMB 25/55-65 poznat a jejich vliv na výsledky zkoušek je výrazně pozitivní.

Při zkouškách objemové hmotnosti metodou SSD i metodou rozměrů vykazaly obě směsi podobné výsledky, rozdíl mezi oběma směsi nebyl nijak markantní, jednalo se o necelé 2 % v případě metody SSD a o necelé 4 % v případě metody druhé. Na objemové hmotnosti navazující mezerovitost vyšla u obou směsí téměř identická, kdy směs ACP 16 + 50/70 vykazovala hodnotu 9,1 % a druhá zkoumaná směs ukazovala hodnotu 9,7 %, výsledek je značně ovlivněn velikostí maximální objemové hmotnosti, kde dosahovalo směs „PMB“ hodnotu podstatně vyšší. Na základě těchto znalostí můžeme jednoznačně říct, že obě směsi jsou si podobné a dají se v rámci bakalářské práce porovnávat. Při zkoumání modulu tuhosti metodou IT-CY, kdy byly obě směsi testovány při 4 různých teplotách byla druhá zmíněná směs, tedy ACP 16 + PMB vždy o výrazný kus lepší, při 15 °C se rozdíl vyšplhal dokonce na vysokých 37 %. Druhá metoda, kterou byla zkoušena tuhost vytvořených vzorků byla metoda 2PB-TR, kdy jsme zkoušeli vždy 8 a 8 trapezoidů při 5 různých frekvencích a při 2 různých teplotách 15 °C a 30 °C. Výsledky této zkoušky ukazovaly podobné hodnoty jako u zkoušky IT-CY, a to ve prospěch směsi ACP 16 +



PMB. Následovalo odzkoušení vzorků směsí pomocí Marshallovi zkoušky, z hlediska stability, z hlediska přetvoření i z hlediska míry tuhosti, byla opět o několik málo jednotek lepší druhá zmíněná směs. Poté přišla řada na zkoušku proti šíření trhlin následována zkouškou hloubky vyjetí kolem. Ani u jedné z posledních zkoušek nedošlo k výkyvu od nastaveného trendu. Při zkoušce odolnosti vůči šíření trhlin byla směs „PMB“ lepší o necelých 17 % a podobné hodnoty následovaly i při porovnání vykonané energie a práce. Excelentní výsledky byly dosaženy u poslední zmíněné zkoušky, kde byla zkoumána hloubka vyjetí kolem, kde obě směsi vykazovaly výbornou odolnost, ve výsledku byla opět lepší směs „PMB“, ovšem i tak bych vyzdvihl dobré výsledky pro obě směsi.

Výsledek experimentální části je tedy jednoznačný. Po provedení a vyhodnocení všech zkoušek je jasné, že lepší vlastnosti můžeme najít u směsi ACP 16 + PMB 25/55-65 FORTA-FI.

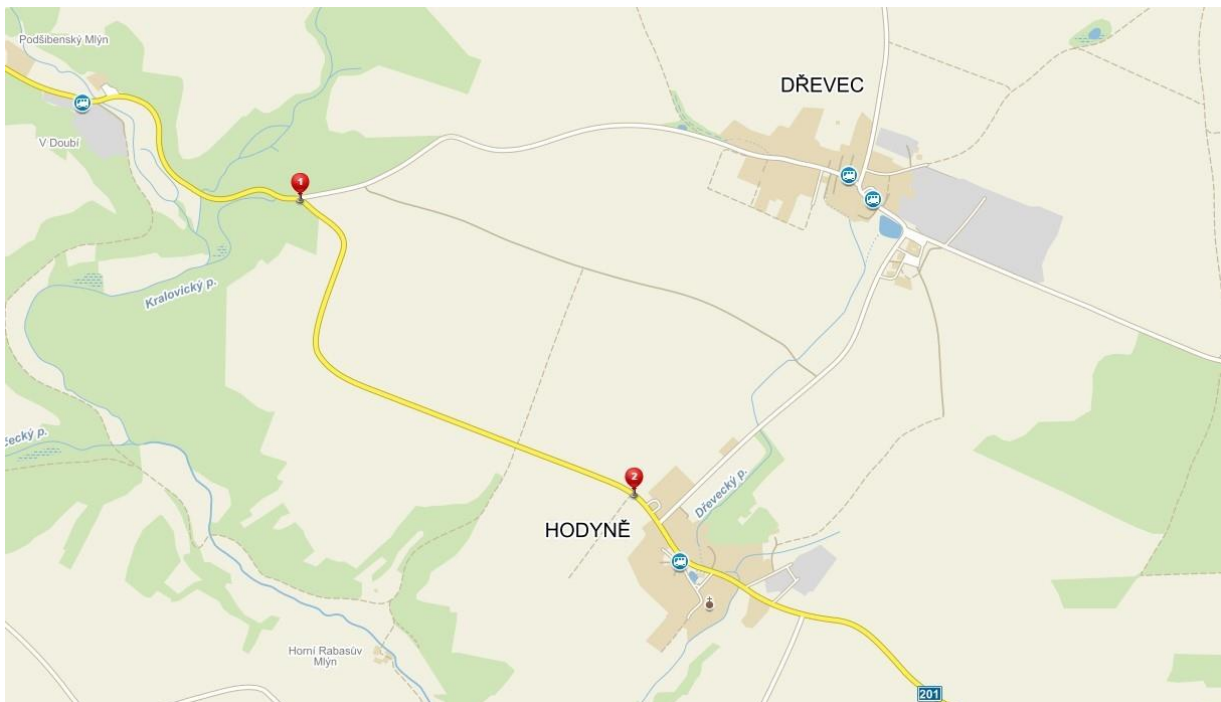


4. Pokusný úsek komunikace u obce Hodyně

V této části bakalářské práce se podíváme podrobněji na pokusný úsek komunikace II/201 Hodyně – křižovatka s III/201 29. Tento úsek byl realizován v roce 2017 v rámci programu „Nové technologie“ jenž byl vyhlášen Státním fondem dopravní infrastruktury (SFDI). Cílem projektu bylo ověřit v praxi českých silnic fungování a efektivitu rozptýlené výztuže v asfaltových směsích. S vidinou udržitelnosti tohoto řešení pro celoplošné opravy krytu. [22]

4.1 Popis úseku

Začátek námi zkoumaného úseku se nachází na konci obce Hodyně, konec úseku je na křižovatce se silnicí III/201 29. Tento úsek silnice vede směrem z vesnice Hodyně do vesnice Kralovice, je dlouhý 1 626 m a je rozdělen do 6 zkušebních pod úseků s délkou od 257–300 m. Prvních 60 m a poslední 226 m pokusného úseku bylo realizováno referenční směsí a jako jediný úsek na této sledovaná komunikaci není vyztužen žádnými vlákny ani jinou formou 2D nebo 3D výztuže. [22]



Obrázek 35 Situace obce Hodyně [22]



4.2 Použité materiály

Obrusná vrstva byla v celém úseku realizována jednotně, jednalo se o asfaltovou směs typu ACO 11 S PMB 45/80-60 s 50 % R-materiálu. Asfaltové směsi v ložní vrstvě se vzájemně lišily. Referenčním materiálem byla asfaltová směs ACL 22 S PMB 25/55-60 s 60 % R-materiálu.

Úsek byl rozdělen na 6 sledovaných částí, 4 části byly vyztuženy různými druhy vláken: Jedná se o aramidové vlákno FORTA FI, syntetické vlákno DOLANIT, polyamidové vlákno získané zpětnou recyklací z odpadní suroviny BITUSTRING a polyesterové vlákno získané zpětnou recyklací z odpadní suroviny NAMFLEX. Pátá část byla vylepšena o technologii plošné výztuže ze skelných vláken a poslední šestá část byla referenční směs.

Pro účely této bakalářské práce a pro zachování anonymity výsledků, budeme pro porovnávání všech 6 úseků používat místo názvů písmena A, B, C, D, E, F. Pro ještě větší bezpečnost bylo pořadí vzorků promícháno, aby nebylo tak jednoduché odhadnout, které písmenko patří, kterému úseku. [22]

4.3 Poruchy vozovky

V této bakalářské práci jsme se zabývali spíše vlákny jako výztuží asfaltových směsí, téma, jaké poruchy se na asfaltových vozovkách vyskytují bylo vždy jen částečně zmíněno ve vlastnostech jednotlivých druhů vláken, proto si je teď raději připomeneme a přiblížíme, aby bylo jasné, jakou problematikou se budeme zabývat.

Na netuhých a polotuhých vozovkách neboli vozovkách s asfaltem stmelenými krytovými vrstvami se vyskytuje celá řada poruch. Významnou skupinou poruch, která se právě na těchto konstrukčních typech vozovek vyskytuje, jsou trhliny. [22]

Trhliny lze rozdělit na:

- Mozaikové
- Úzké – podélné a příčné
- Široké – podélné a příčné
- Reflexní – podélné a příčné
- Rozvětvené – podélné a příčné
- Síťové



Trhliny ve vozovce jsou specifické tím, že jejich opravu zle provést „pouze“ výměnou obrusné vrstvy nebo obou krytových vrstev, pokud budou dodržovány technologické zásady definované v TP 87: Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. Jedná se o možnosti ošetření trhlin a použití plošných oprav typu SAL, SAMI membrán nebo celoplošné výztuže. Všechny postupy jsou funkční, ale jako všechno mají své silné i slabé stránky, a právě kvůli těm slabším stránkám se hledá alternativní řešení. Jeden z problémů, který často nastává je, že při provádění oprav dojde k situaci, kde není možné všechny trhliny kvalitně opravit, některé trhliny jsou stále ve stavu mikrotrhlin a jiné již vyžadují opravu. Pokud dojde k opravě pouze části trhlin, nebo pokud dojde k opravě trhlin pauze v jedné z vrstev, dochází časem k prokopírování trhlin a opětovné nutnosti oprav. Jako řešení se používají právě technologie SAMI, SAL nebo jiné výztuže, které jsou ovšem finančně i technologicky náročnější.

Právě oproti tomu jsou zde zkoumané 3D rozptýlené výztuže výrazně technologicky nenáročné, lze je použít celoplošně a mají nižší investiční náklady, i když mají podobné, nebo i lepší vlastnosti jako již zmíněné celoplošné výztuže a geosyntetika. Jak již bylo v této bakalářské práci zmíněno, u nás se 3D rozptýlené výztuže používají spíše jako prostředek k zvětšení tuhosti a odolnosti krytu vozovky. Na území České republiky byl k dnešnímu dni zaznamenán jen jeden projekt, kde byla vlákna v asfaltových směsích použita záměrně aby omezila vznik trhlin a jedná se o projekt opravy plochy na letišti Václava Havla. [22]

4.4 Metodika sledování úseku

Úsek byl realizován v roce 2017 od té doby byl podroben 5 sledovacím průzkumům, které se uskutečnily zatím vždy každý rok od roku realizace a byly prováděny vždy ve třetím nebo čtvrtém čtvrtletí daného roku. Bavíme se tedy o letech 2018–2022.[22]

- 2018–V třetím a čtvrtém čtvrtletí roku 2018 byla na pokusném úseku provedena pasportizace poruch, měření nerovností povrchu a odběr jádrových vývrtů. Poruchy byly dále vyhodnoceny dle TP 82. Na vývrtech byly provedeny volumetrické, mechanicko-fyzikální a funkční zkoušky:
 - Stanovení tloušťky asfaltové vozovky;
 - Smyková zkouška spojení vrstev;
 - Rozbor asfaltové směsi a její zařídění;
 - Stanovení mezerovitosti asfaltových vrstev;
 - Stanovení modulů tuhosti při čtyřech zkušebních teplotách;
 - Odolnost proti šíření trhliny při dvou zkušebních teplotách.



- 2019–V třetím čtvrtletí roku 2019 byla na pokusném úseku provedena opět pasportizace poruch, měření nerovností povrchu vozovky a měření únosnosti zařízením FWD. Poruchy byly vyhodnoceny podle TP 82. Měření podélné nerovnosti provedeno pomocí kontinuálního planografu. [22]
- 2020–V třetím čtvrtletí roku 2020 byla na pokusném úseku provedena pasportizace poruch a provedeno 18 odběru vývrtů následovalo měření nerovností povrchu vozovky a měření únosnosti zařízením FWD. Vyhodnocení poruch a měření proběhlo stejně jako předešlý rok. [22]
- 2021–V třetím čtvrtletí roku 2021 byla na pokusném úseku provedena pasportizace poruch, měření únosnosti zařízením FWD a měření podélné nerovnosti kontinuálním planografem.
- 2022–V třetím čtvrtletí roku 2022 byly provedeny identické zkoušky jako v roce 2021.

4.5 Multikriteriální vyhodnocení zkoušek

Multikriteriální nebo jinak řečeno vícekriteriální rozhodování a vyhodnocení se nazývají ty úlohy ve kterých je nutno posuzovat a rozhodovat na základně více kritérií. Tento způsob se náramně hodí právě na vyhodnocení zkoušek z námi zkoumaného úseku u obce Hodyně, kde pracujeme s výstupy z několika zkoušek, které mohou všechny sloužit jako určité kritérium a jejich výsledky jsou jen obtížně srovnatelné. Nezbývá nám tedy nic jiného, než je dát dohromady a vytvořit právě multikriteriální vyhodnocení. [24]

Multikriteriální hodnocení má dvě základní části, a to jsou váhy jednotlivých prvků hodnocení a funkce přes kterou provedeme finální vyhodnocení. Existuje široká škála možností funkcí a možností, jak vypočítat nebo získat váhy prvků. Pro účely této bakalářské práce byla k odhadu vah použita metoda Fullerova trojúhelníku a k finálnímu vyhodnocení použit princip dílčí funkce užiteků.



4.5.1 Princip dílčí funkce užitků

Tato funkce reprezentuje metodu komplexního ohodnocení alternativ a převádí těžko porovnatelné výsledky na bezrozměrná čísla. V našem případě budeme používat lineární funkci užitku, která přidělí každému výsledku reálné bezrozměrné číslo. Čím je hodnota čísla větší, tím více je pro nás daná hodnota preferována.

Užitková funkce je popsána vztahem:

$$U_j^k = \sum_{i=1}^n u_i(x_{i,j}) \times v_{i,k} \quad (1)$$

$$U_j = \sum_{k=1}^q \sum_{i=1}^n u_i(x_{i,j}) \times v_{i,k} \quad (2)$$

kde

U_j^k celkový užitek j-té alternativy z hlediska k-té kategorie (-)

U_j celkový užitek j-té alternativy (-)

$u_i(x_{i,j})$ dílčí funkce užitku i-tého kritéria j-té varianty

$v_{i,k}$ váha či míra relativní důležitosti i-tého kritéria z hlediska k-té kategorie

n počet kritérií hodnocení

q počet kategorií

Kde, vztah (1) vyjadřuje užitek alternativy a vztah (2) vyjadřuje celkový užitek alternativ.

Princip použití dílčí funkce užitku s lineární funkcí převádí řešení do intervalu $\langle 0; 1 \rangle$, kde jsou na vodorovné osy vyneseny extrémy kritérií $X_{i,\min}, X_{i,\max}$ a na svislé ose jsou jim přiděleny hodnoty 0 (nejhorší) a 1 (nejlepší). Extrémy získáme tak že zmenšíme nejnižší hodnotu na její 80 % a nejvyšší hodnotu naopak zvýšíme na její 120 %. Tyto maximální hodnoty poté propojíme právě lineární přímkou a pomocí její rovnice dopočteme zbylé hodnoty.[24]



4.5.2 Metoda odhadu vah–Fullerův trojúhelník

Pro správné fungování principu dílčí funkce užitku je nutné odhadnout váhy jednotlivých zkoušek. Jako metoda pro odhad vah byl vybrán – Fullerův trojúhelník. Tato metoda se používá zejména při větším počtu kritérií a princip této metody spočívá v párovém porovnávání kritérií mezi sebou, kdy z každé dvojice je vždy vybráno to kritérium, které je pro nás důležitější. Nastane-li stav, kdy jsou pro nás obě kritéria stejně důležitá, jsou označena obě. Poté se sečte počet označení u každého kritéria a zároveň se vypočte celkový počet porovnání. [24]

Srovnáváme-li každá dvě kritéria z celkového počtu k kritérií, vybíráme všechny kombinace dvou prvků z k . Celkový počet porovnání je tedy roven (3):

(3)

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)(k-2)!}{2!(k-2)!} = \frac{k(k-1)}{2}$$

Váhy jsou stanovené na základě vztahu (4):

(4)

$$V_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} = \frac{n_i}{N}$$



4.5.3 Aplikace metod

Nejprve bylo nutné sestavit Fullerův trojúhelník ze všech dostupných výsledků zkoušek. Ve Fullerově trojúhelníku bylo rozhodování čistě subjektivní a názorově se může lišit s názory odborníků a jiných vypracovaných prací.

KRITÉRIA																			
Průměrné podélné nerovnosti						FWD						Moduly tuhosti 2018-2020							
Podélná nerovnost LS 2020	Podélná nerovnost PS 2020	Podélná nerovnost LS 2021	Podélná nerovnost PS 2021	Podélná nerovnost LS 2022	Podélná nerovnost PS 2022	Změna průhybu FWD 2019-2020	Změna průhybu FWD 2020-2021	Změna průhybu FWD 2021-2022	Změna modulu pružnosti FWD 2019-2020	Změna modulu pružnosti FWD 2020-2021	Změna modulu pružnosti FWD 2021-2022	modul tuhosti 0°C (2018)	modul tuhosti 15°C (2018)	modul tuhosti 27°C (2018)	modul tuhosti 40°C (2018)	modul tuhosti 0°C (2020)	modul tuhosti 15°C (2020)	modul tuhosti 27°C (2020)	modul tuhosti 40°C (2020)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Obrázek 36 Fullerův trojúhelník [23]



Výsledkem Fullerova trojúhelníku je soubor vah jednotlivých kritérií, které byly seřazeny od nejvyšší pod nejnižší a poté vloženy do tabulky.

Výsledné váhy kritérií			
	Kritérium	počet (ni)	Váha (v)
1.	9	19	0,096939
2.	12	19	0,096939
3.	8	17	0,086735
4.	11	17	0,086735
5.	5	15	0,076531
6.	6	15	0,076531
7.	18	13	0,066327
8.	19	13	0,066327
9.	20	9	0,045918
10.	10	9	0,045918
11.	17	9	0,045918
12.	7	8	0,040816
13.	3	7	0,035714
14.	4	7	0,035714
15.	15	6	0,030612
16.	14	6	0,030612
17.	1	3	0,015306
18.	2	3	0,015306
19.	16	1	0,005102
20.	13	0	0,000000
	Součet (N)	196	1,000000

Tabulka č. 9 Výsledné váhy kritérií

Po výpočtu vah jednotlivých kritérií nezbývá, než dosadit výsledky do tabulky kde čekají zavzorcované řádky principem dílčí funkce.



	A	B	C	D	E	F
podélná nerovnost LS 2020	1,5	1,7	1	1,3	0,8	1,3
f(x)	0,386	0,243	0,743	0,529	0,886	0,529
váha	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53
podélná nerovnost PS 2020	1,3	1,2	0,8	1,3	0,9	1
f(x)	0,529	0,600	0,886	0,529	0,814	0,743
váha	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53
podélná nerovnost LS 2021	1,5	1,6	1,1	1,4	1	1,3
f(x)	0,374	0,285	0,732	0,464	0,821	0,553
váha	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57
podélná nerovnost PS 2021	1,4	1,4	1,1	1,4	0,9	1,3
f(x)	0,29	0,29	0,604	0,29	0,812	0,395
váha	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57
podélná nerovnost LS 2022	1,4	1,2	0,8	1,2	0,8	0,9
f(x)	0,269	0,461	0,846	0,461	0,846	0,75
váha	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
podélná nerovnost PS 2022	1,1	1,2	1,3	1,2	1,8	1,7
f(x)	0,81	0,724	0,367	0,704	0,206	0,293
váha	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
změna modulu FWD 2019-2020	95	98	75	82	104	97
f(x)	0,537	0,583	0,229	0,337	0,676	0,568
váha	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59
změna průhybu 2019-2020	28	24	36	26	21	32
f(x)	0,575	0,727	0,272	0,651	0,841	0,424
váha	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
změna modulu FWD 2020-2021	121	125	178	176	162	153
f(x)	0,212	0,246	0,702	0,684	0,564	0,487
váha	8,67	8,67	8,67	8,67	8,67	8,67
změna průhybu 2020-2021	-24	-27	-33	-33	-38	-43
f(x)	0,149	0,242	0,427	0,417	0,582	0,736
váha	8,67	8,67	8,67	8,67	8,67	8,67
změna modulu FWD 2021-2022	100	120	86	94	81	100
f(x)	0,442	0,694	0,265	0,366	0,202	0,442
váha	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69
změna průhybu 2021-2022	-3	-1	8	-2	2	17
f(x)	0,971	0,855	0,332	0,913	0,681	-0,191
váha	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69
modul tuhosti 0°C (2018)	10311	10617	11445	14089	12365	15451
f(x)	0,230	0,258	0,332	0,570	0,415	0,693
váha	0	0	0	0	0	0
modul tuhosti 15°C (2018)	3637	4288	4615	5860	4659	3985
f(x)	0,059	0,189	0,255	0,504	0,263	0,129
váha	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06
modul tuhosti 27°C (2018)	1203	1530	1593	1870	1667	1100
f(x)	0,197	0,426	0,470	0,664	0,522	0,125
váha	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06	3,06
modul tuhosti 40°C (2018)	427	585	494	668	479	281
f(x)	0,336	0,605	0,450	0,746	0,425	0,088
váha	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
modul tuhosti 0°C (2020)	15054	9525	14315	14547	15203	13884
f(x)	0,657	0,160	0,591	0,612	0,671	0,552
váha	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59
modul tuhosti 15°C (2020)	5547	3581	5449	5959	5943	4805
f(x)	0,441	0,048	0,421	0,523	0,520	0,293
váha	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63
modul tuhosti 27°C (2020)	1786	1172	1734	1824	1713	1300
f(x)	0,605	0,175	0,568	0,632	0,554	0,265
váha	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63	6,63
modul tuhosti 40°C (2020)	535	382	561	599	463	402
f(x)	0,520	0,259	0,564	0,628	0,398	0,294
váha	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59	4,59
Celkem F(X)	19,5	12,5	19,0	23,1	23,8	14,7
	3.	4.	6.	2.	1.	5.

Tabulka č. 10 Funkce užiteků



4.6 Závěr

Jak můžeme vidět z tabulky č. 10 na předchozí stránce, nejlépe vyšel z multikriteriálního hodnocení úsek označený písmenkem **E**, pouze o pár desetín za ním se umístil úsek **D**. Poté následoval značný výkonnostní propad a těsné umístění dvou částí za sebou, kdy na třetím místě můžeme najít úsek označený **A**, a v těsné blízkosti celých 5 desetín za ním úsek **C**. Opět lehký propad výsledků zkoušek a následně dva poslední úseky, předposlední místo pro sebe získal úsek **F** a celkově poslední se umístil úsek s krycím označením **B**.

Celkem F(X)	19,5	12,5	19,0	23,1	23,8	14,7
Pořadí	3.	4.	6.	2.	1.	5.
Úsek	A	B	C	D	E	F

Tabulka č. 11 Finální postavení úseků

Při sestavování Fullerova trojúhelníku byly vždy preferovány výsledky z nejnovějších zkoušek, aby bylo přihlíženo k aktuálnímu stavu. Nejvyšší prioritu dostali výsledky z měření průhybů a modulu pružnosti v roce 2022 a následně také z měření nerovností v obou směrech z téhož roku. Naopak výsledky měření modulů tuhosti z roku 2018 nebylo vůbec preferováno a jejich dopad na výsledky byl tedy minimální.

Na místě komunikace došlo mezi lety 2020 a 2021 k neobvyklému zlepšení výsledků zkoušek modulů pružnosti a zmenšení průhybu měřeným pomocí rázového přístroje FWD. Tyto změny, ať jsou pozitivní je velice těžké vysvětlit, nabízí se možnost, kdy muselo dojít ke změně únosnosti podloží. Na místě však nebyl prováděn žádný hlubinný geodetický průzkum, a tak tato vítaná změna prozatím zůstane jako velká neznámá.



Seznam tabulek

Tabulka 1 Fyzikální vlastnosti vláken FORTA [7].....	16
Tabulka 2 Tabulka mezerovitosti	48
Tabulka 3 Moduly tuhosti v MPa	51
Tabulka 4 Moduly tuhosti v %.....	51
Tabulka 5 Porovnané průměrné hodnoty obou zkoušek.....	54
Tabulka 6 Porovnání směsí při zkoušce šíření trhlin.....	59
Tabulka 7 Hloubka vyjetí kolem ACP 16 + 50/70	60
Tabulka 8 Hloubka vyjetí kolem ACP 16 + PMB	61
Tabulka 9 Výsledné váhy kritérií.....	71
Tabulka 10 Funkce užiteků.....	72
Tabulka 11 Finální postavení úseků	73



Seznam grafů

Graf 1 Porovnání průměrné objemové hmotnosti zjištěné metodou SSD	47
Graf 2 Porovnání maximální objemové hmotnosti	48
Graf 3 Porovnání průměrné objemové hmotnosti podle metody rozměrů	49
Graf 4 Porovnání průměrných modulů tuhostí	50
Graf 5 Závislost tuhosti na zkušební teplotě 1	51
Graf 6 Závislost tuhosti na zkušební teplotě 2	52
Graf 7 Tuhosti při jednotlivých frekvencích 1	53
Graf 8 Tuhosti při jednotlivých frekvencích 2	53
Graf 9 Celkové porovnání tuhostí	54
Graf 10 Marshallova zkouška: stabilita	55
Graf 11 Marshallova zkouška: přetvoření	55
Graf 12 Marshallova zkouška: míra tuhosti	56
Graf 13 Porovnání průměrných odolností vůči lomu	57
Graf 14 Graf lomové práce	58
Graf 15 Graf lomové energie	58
Graf 16 Graf průměrné hloubky vyjetí kolem	61



Seznam obrázků

Obrázek 1 Roznos zatížení do nevyztužené asfaltové směsi při brždění [7]	6
Obrázek 2 Roznos zatížení do vyztužené směsi vlákny FORTA při brždění [7]	6
Obrázek 3 Chemická struktura celulóзовých vláken [4]	7
Obrázek 4 Detail Minerálního vlákna [10]	8
Obrázek 5 Polyesterová vlákna do asfaltových směsí [11]	9
Obrázek 6 Polypropylenová vlákna do asfaltových směsí [11]	10
Obrázek 7 Skleněná vlákna [11]	11
Obrázek 8 Recyklovaná pneumatiková směs připravená na vložení do směsi [11]	13
Obrázek 9 Druhy vláken FORTA [11]	14
Obrázek 10 Vlákna FORTA typu HMA [11]	15
Obrázek 11 Vlákna FORTA typu WMA [11]	15
Obrázek 12 Vlákna FORTA typu PAT [11]	16
Obrázek 13 Vlákna Namflex [12]	17
Obrázek 14 Směs vláken ITERCHIMICA [13]	18
Obrázek 15 Logo společnosti Colas [13]	19
Obrázek 16 Logo společnosti Owens Corning [13]	19
Obrázek 17 Vlákna vyráběná společností Owens Corning [14]	19
Obrázek 18 Hotová Marshallova tělesa ve formě [23]	23
Obrázek 19 Pomůcky pro sestavení hutnicího přístroje [23]	25
Obrázek 20 Lamelový zhutňovač [23]	25
Obrázek 21 Připravená váha na měření objemové hmotnosti dle SSD [23]	28
Obrázek 22 Marshallova tělesa připravená na měření šuplerou [23]	29
Obrázek 23 Manometr [23]	30
Obrázek 24 Pyknometr s nástavcem [23]	30
Obrázek 25 Marshallovo těleso umístěné v hydraulickém pístu [23]	36
Obrázek 26 Výstup z přístroje na měření tuhosti [23]	36
Obrázek 27 Přístroj na provádění zkoušky tuhosti za ohybu [23]	38



Obrázek 28 Vzorek umístěný v přístroji [23]	39
Obrázek 29 Přístroj na provádění Marshallovy zkoušky [23]	40
Obrázek 30 Zdeformovaná tělesa po provedení Marshallovy zkoušky [23]	41
Obrázek 31 Přístroj na zkoušení šíření trhliny [23]	44
Obrázek 32 Zdeformované vzorky po zkoušce [23]	44
Obrázek 33 Desky umístěné v přístroji na pojíždění [23]	46
Obrázek 34 Ukázka desky po skončení zkoušky [23]	46
Obrázek 35 Situace obce Hodyně [12].....	61
Obrázek 36 Fullerův trojúhelník [23]	70



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.IJARIIT.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] Antoine E. Naaman, Professor Emeritus, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, USA, Fiber reinforced concrete: five decades of progress. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326523372_Fiber_reinforced_concrete_five_decades_of_progress
- [4] 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. 2023]. ISBN 9780081004111. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081004111000054>
- [5] Skleněná vlákna – historie a současnost – CZECHDESIGN. O českém designu víme vše – CZECHDESIGN [online]. Copyright © CZECHDESIGN 2003 [cit. 07.05.2023]. Dostupné z: <https://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/sklenena-vlakna-historie-a-soucasnost>
- [6] 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
- [7] New Home – FORTA Asphalt Fiber. New Home – FORTA Asphalt Fiber [online]. Copyright ©2023 [cit. 07.05.2023]. Dostupné z: <https://forta-fi.com/>
- [8] Výztužná vlákna NAMFLEX® G – Přísady pro asfaltové směsi. Přísady pro asfaltové směsi – Přísady pro asfaltové směsi [online]. Dostupné z: <https://www.silnicnprisady.cz/silnicni-phisady/vyztuzna-vlakna-namflex-g/>
- [9] Iterchimica Srl | High-tech additives for the road industry. Iterchimica S.p.A. | Additivi high-tech per il settore stradale [online]. Copyright © Iterchimica [cit. 07.05.2023]. Dostupné z: <https://iterchimica.it/en/>
- [10] Colas.cz. Colas.cz [online]. Copyright © 2023, COLAS CZ, a.s. [cit. 01.05.2023]. Dostupné z: <https://colas.cz/>
- [11] Composites | Owens Corning . [online]. Copyright © 1964 [cit. 07.05.2023]. Dostupné z: <https://www.owenscorning.com/en-us/composites>



- [12] ČSN EN 12697-30. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi zahorka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem.* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [13] ČSN EN 12697-33+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek.* Český normalizační institut, 2020.
- [14] 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.
- [15] 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, 2020.
- [16] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.* Český normalizační institut, 2020.
- [17] ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost.* Český normalizační institut, 2019.
- [18] ČSN EN 12697-26+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi zahorka – Část 26: Tuhost.* Český normalizační institut, 2023.
- [19] ČSN EN 12697-34. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 34: Marshallova zkouška.* Český normalizační institut, 2007.
- [20] 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, 2020.
- [21] ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem.* Český normalizační institut, 2007.
- [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] Daniel Šmíd. *Vlastní fotodokumentace.* Praha 2023
- [24] Ing. Petr Mondschein Ph.D. *Multikriteriální vyhodnocení: Dokumenty v aplikaci teams*



Seznam příloh

Příloha 1 Objemová hmotnost postup SSD	81
Příloha 2 Objemové hmotnost postup podle rozměrů.....	82
Příloha 3 Maximální objemová hmotnost.....	83
Příloha 4 Tuhosti směsi ACP 16 + 50/70, 1 pomocí IT-CY.....	84
Příloha 5 Tuhosti směsi ACP 16 + 50/70, 2 pomocí IT-CY.....	85
Příloha 6 Rozměry trapezoidu směsi ACP 16 + 50/70	86
Příloha 7 Rozměry trapezoidu směsi ACP 16 + PMB.....	87
Příloha 8 Tuhosti směsi ACP 16 + 50/70, metodou 2PB-TR	88
Příloha 9 Tuhosti směsi ACP 16 + PMB, metodou 2PB-TR.....	89
Příloha 10 Marshallova zkouška na směsí ACP 16 + 50/70.....	90
Příloha 11 Marshallova zkouška na směsí ACP 16 + PMB	91
Příloha 12 Tabulka výsledků zkoušky na šíření trhlin ve směsi ACP 16 + 50/70,1.....	92
Příloha 13 Tabulka výsledků zkoušky na šíření trhlin ve směsi ACP 16 + 50/70,2.....	93
Příloha 14 Tabulka výsledků zkoušky na šíření trhlin ve směsi ACP 16 + PMB,1	94
Příloha 15 Tabulka výsledků zkoušky na šíření trhlin ve směsi ACP 16 + PMB,2	95
Příloha 16 Výsledky zkoušek poježdění kolem na směsi ACP 16 + 50/70.....	96
Příloha 17 Výsledky zkoušek poježdění kolem na směsi ACP 16 + PMB.....	97
Příloha 18 Pomocná tabulka Fullerova trojúhelníku	98
Příloha 19 Výsledky zkoušek přístroje FWD	99
Příloha 20 Nerovnosti v pravém pruhu ve směru Hodyně-Královec.....	100
Příloha 21 Nerovnosti v pravém pruhu ve směru Královec-Hodyně.....	101



Příloha 1 Objemová hmotnost postup SSD

1) objemová hmotnost

Postup B : SSD

50/70	M1(suchý)g	M2(ve vodě)g	M3(po osušení)g	Pbssd (kg/m ³)
1	1247,40	749,30	1261,80	2429,37
2	1243,70	747,20	1261,00	2416,03
3	1241,20	748,70	1260,30	2421,55
4	1241,00	746,60	1262,80	2399,58
5	1235,40	744,00	1257,80	2399,91
6	1243,10	747,90	1265,40	2397,60
Průměr				2410,67

Pw - 50/70	0,99811715
------------	------------

PMB	M1(suchý)	M2(ve vodě)	M3(po osušení)	Pbssd (kg/m ³)
7	1245,10	747,10	1253,50	2454,10
8	1246,00	745,90	1254,50	2445,25
9	1246,60	744,60	1252,30	2450,76
10	1246,80	746,00	1251,80	2460,36
11	1242,50	741,60	1249,70	2440,78
12	1243,30	743,00	1248,30	2455,89
Průměr				2451,19



Příloha 2 Objemová hmotnost postup podle rozměrů

Postub D : podle rozměrů

50/70	M1	h	d(průměr)	Pdim (kg/m ³)
1	1247,40	67,051	101,41	2303,29
2	1243,70	66,957	101,67	2287,94
3	1241,20	66,695	101,96	2279,29
4	1241,00	66,527	102,45	2262,87
5	1235,40	67,922	101,18	2262,13
6	1243,10	67,375	101,28	2290,18
			Průměr	2280,95

PMB	M1(suchý)	h	d(průměr)	Pdim (kg/m ³)
7	1245,10	63,15	103,17	2358,49
8	1246,00	64,52	101,49	2387,19
9	1246,60	65,14	101,12	2382,95
10	1246,80	64,74	101,87	2362,88
11	1242,50	65,48	100,52	2391,07
12	1243,30	63,81	101,56	2405,20
			Průměr	2381,30



Příloha 3 Maximální objemová hmotnost

50/70		
t=	22	°C
$\rho_w=$	0,99784	Mg/m^3
$m_1=$	696,7	<i>g</i>
$m_2=$	1568	<i>g</i>
$m_3=$	2554,2	<i>g</i>
$V_p=$	0,00132	m^3
$\rho_{mw}=$	2,6534	Mg/m^3

PMB		
t=	21,8	°C
$\rho_w=$	0,9979	Mg/m^3
$m_1=$	700,1	<i>g</i>
$m_2=$	1572,7	<i>g</i>
$m_3=$	2562,7	<i>g</i>
$V_p=$	0,0013	m^3
$\rho_{mw}=$	2,7141	Mg/m^3



Příloha 4 Tuhosti směsi ACP 16 + 50/70, 1 pomocí IT-CY

Specimen reference	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Temperature (°C)	Poisson's ratio	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Rise time (ms)	Horizontal stress (µm)	Load-area factor	Stiffness measured (MPa)	Stiffness adjusted (MPa)	PRŮMĚR	
50/70													
JEDNA	101.4	67.01	0	0.25	7.2	672.4	124	3.0	0.6	18525	18783	17416	
JEDNA	101.4	67.01	0	0.25	7.2	670.0	125	3.0	0.6	18556	18714		
DVA	101.67	66.95	0	0.25	6.7	624.8	125	3.0	0.6	17351	17416		
DVA	101.67	66.95	0	0.25	6.5	604.1	125	3.0	0.6	16988	17059		
TRI	101.96	66.69	0	0.25	7.5	698.0	125	3.0	0.6	19655	19813		
TRI	101.96	66.69	0	0.25	6.5	611.9	125	3.0	0.6	16687	16636		
CTVRY	102.5	66.5	0	0.25	6.8	633.2	125	3.0	0.6	17659	17675		
CTVRY	102.5	66.5	0	0.25	7.0	651.5	125	3.0	0.6	17679	17759		
PET	101.18	67.92	0	0.25	6.7	617.6	125	3.0	0.6	17261	17228		
PET	101.18	67.92	0	0.25	6.6	608.4	125	3.0	0.6	16625	16607		
ŠEST	101.28	67.375	0	0.25	6.1	569.9	125	3.0	0.6	16071	15993		
ŠEST	101.28	67.375	0	0.25	6.0	555.6	125	3.0	0.6	15388	15314		
8385													
JEDNA	101.4	67.01	15	0.31	5.3	493.0	125	5.1	0.61	9279	9373		8385
JEDNA	101.4	67.01	15	0.31	5.1	475.3	125	5.0	0.61	8763	8803		
DVA	101.67	66.95	15	0.31	5.1	474.6	125	5.0	0.61	8791	8821		
DVA	101.67	66.95	15	0.31	4.9	454.0	125	5.1	0.61	8537	8581		
TRI	101.96	66.69	15	0.31	4.4	410.8	125	5.2	0.60	7556	7581		
TRI	101.96	66.69	15	0.31	4.4	416.6	125	5.0	0.60	7676	7697		
CTVRY	102.5	66.5	15	0.31	4.4	408.0	124	5.0	0.61	7640	7667		
CTVRY	102.5	66.5	15	0.31	4.3	399.8	125	5.0	0.60	7488	7508		
PET	101.18	67.92	15	0.31	5.7	524.6	125	5.1	0.60	9497	9509		
PET	101.18	67.92	15	0.31	4.9	451.7	125	5.0	0.60	8340	8338		
ŠEST	101.28	67.375	15	0.31	4.2	393.8	124	5.0	0.60	7312	7319		
ŠEST	101.28	67.375	15	0.31	4.5	422.1	125	5.0	0.60	7820	7831		



Příloha 5 Tuhosti směsi ACP 16 + 50/70, 2 pomocí IT-CY

JEDNA	101.4	67.01	27	0.38	2.1	192.4	125	5.0	0.61	3977	4007	3790,2	
JEDNA	101.4	67.01	27	0.38	2.0	187.8	125	5.0	0.61	3883	3900		
DVA	101.67	66.95	27	0.38	2.0	184.7	125	5.0	0.61	3802	3815		
DVA	101.67	66.95	27	0.38	1.9	181.9	125	5.0	0.61	3747	3761		
TRI	101.96	66.69	27	0.38	2.1	200.3	125	5.0	0.61	4166	4181		
TRI	101.96	66.69	27	0.38	2.0	186.3	125	5.0	0.60	3889	3900		
CTVRY	102.5	66.5	27	0.38	1.9	177.3	125	5.1	0.61	3640	3652		
CTVRY	102.5	66.5	27	0.38	1.9	175.0	125	5.1	0.61	3624	3638		
PET	101.18	67.92	27	0.38	2.1	195.0	125	5.0	0.61	4011	4022		
PET	101.18	67.92	27	0.38	2.1	194.4	125	5.0	0.60	3999	4008		
ŠEST	101.28	67.375	27	0.38	1.8	164.1	125	5.0	0.60	3386	3393		
ŠEST	101.28	67.375	27	0.38	1.9	172.9	125	5.1	0.60	3526	3532		
JEDNA	101.4	67.01	40	0.45	0.7	69.0	125	5.1	0.62	1560	1572		1531,4
JEDNA	101.4	67.01	40	0.45	0.9	79.9	127	5.0	0.61	1815	1826		
DVA	101.67	66.95	40	0.45	0.8	73.4	126	5.1	0.60	1665	1665		
DVA	101.67	66.95	40	0.45	0.8	75.1	125	5.1	0.60	1692	1692		
TRI	101.96	66.69	40	0.45	0.7	67.7	124	5.0	0.60	1566	1570		
TRI	101.96	66.69	40	0.45	0.7	65.8	124	5.0	0.60	1504	1505		
CTVRY	102.5	66.5	40	0.45	0.6	59.8	127	5.0	0.61	1384	1391		
CTVRY	102.5	66.5	40	0.45	0.7	61.2	124	5.1	0.60	1392	1391		
PET	101.18	67.92	40	0.45	0.7	61.0	122	5.0	0.60	1408	1408		
PET	101.18	67.92	40	0.45	0.7	62.2	122	5.0	0.60	1420	1420		
ŠEST	101.28	67.375	40	0.45	0.6	60.6	125	5.1	0.60	1354	1354		
ŠEST	101.28	67.375	40	0.45	0.6	59.9	126	5.1	0.60	1349	1348		



Příloha 6 Rozměry trapezoidu směsi ACP 16 + 50/70

50/70

50/70	B	B	B	B-průměr
1	70,28	70,2	70,35	70,28
2	63,85	65	63,9	64,25
3	73,9	73,8	73,78	73,83
4	68,4	68,3	67,85	68,18
5	70,9	70,77	70,8	70,82
6	69,6	69,7	69,56	69,62
7	66,23	65,6	66,01	65,95
8	69,33	69,55	69,61	69,50

50/70	h	h	h	h-průměr
1	-	-	-	251
2	-	-	-	248
3	-	-	-	249
4	-	-	-	248
5	-	-	-	250
6	-	-	-	247
7	-	-	-	249
8	-	-	-	251

50/70	b	b	b	b-průměr
1	26,5	26,6	27,26	26,79
2	28,4	28,05	28,3	28,25
3	25,11	25,41	25,26	25,26
4	28,86	28,85	28,83	28,85
5	25,9	25,67	25,4	25,66
6	30,44	30,3	30,21	30,32
7	25,22	25,35	25,43	25,33
8	22	21,95	21,91	21,95

50/70	e	e	e	e-průměr
1	29,8	29,4	29,16	29,45
2	31,07	30,7	29,9	30,56
3	29,44	27,75	27,34	28,18
4	32,36	31,27	29,4	31,01
5	27,25	28,19	27,81	27,75
6	26,45	29,7	30,4	28,85
7	29,97	26,89	25,17	27,34
8	25,4	27,62	27,92	26,98

váha	g
1	872
2	873
3	821,3
4	853,6
5	824,1
6	896,4
7	728,2
8	720,2

vzorky	1	2	3	4	5	6	7	8
B [mm]	70,3	64,3	73,8	68,2	70,8	69,6	65,9	69,5
b [mm]	26,8	28,3	25,3	28,8	25,7	30,3	25,3	22,0
e [mm]	29,5	30,6	28,2	31,0	27,8	28,9	27,3	27,0
h [mm]	251,0	248,0	249,0	248,0	250,0	247,0	249,0	251,0
Váha [kg]	0,872	0,873	0,821	0,854	0,824	0,896	0,728	0,720



Příloha 7 Rozměry trapezoidu směsi ACP 16 + PMB

PMB	B	B	B	B-průměr	PMB	h	h	h	h-průměr
1	71,95	71,88		71,92	1	-	-	-	250
2	74,34	74,33		74,335	2	-	-	-	249
3	75,48	75,33		75,41	3	-	-	-	249
4	74,21	73,81		74,01	4	-	-	-	249
5	75,21	74,04		74,63	5	-	-	-	250
6	76	75,81		75,905	6	-	-	-	249
7	76,51	76,16		76,34	7	-	-	-	249
8	77,27	77,49		77,38	8	-	-	-	249

PMB	b	b	b	b-průměr	PMB	e	e	e	e-průměr
1	26,63	26,57		26,60	1	28,64	30,4	29,3	29,45
2	26,74	27,38		27,06	2	30,05	28,06	27,05	28,39
3	25,54	25,61		25,58	3	26,9	29,65	29,8	28,78
4	27,8	27,5		27,65	4	27,8	26,8	26,98	27,19
5	27,54	27,22		27,38	5	28,22	28,46	27,73	28,13667
6	27,68	26,55		27,12	6	29,26	29,55	29,97	29,59333
7	27,4	27,15		27,28	7	29,67	29,87	29,15	29,56
8	22,72	23,65		23,19	8	27,55	27,74	27,4	27,56333

váha	g
1	868,6
2	883,6
3	887,9
4	846,7
5	898,7
6	925,4
7	877,5
8	905,6

vzorky	1	2	3	4	5	6	7	8
B [mm]	71,9	74,3	75,4	74,0	74,6	75,9	76,3	77,4
b [mm]	26,6	27,1	25,6	27,7	27,4	27,1	27,3	23,2
e [mm]	29,4	28,4	28,8	27,2	28,1	28,1	29,6	27,6
h [mm]	250,0	249,0	249,0	249,0	250,0	249,0	249,0	249,0
Váha [kg]	0,868	0,883	0,889	0,846	0,898	0,925	0,877	0,905



Příloha 8 Tuhosti směsi ACP 16 + 50/70, metodou 2PB-TR

ACP 16 + 50/70					
TEPLOTA [°C]	Frekvence [Hz]				
	5	10	15	20	25
15	6418	7013	7311	7384	7685
30	4249	4739	5035	5193	5349
15[°C]	Frekvence[Hz]				
	5	10	15	20	25
1	7012	7533	7726	7909	7837
2	5066	6149	6428	6164	6319
3	5549	5967	6059	6428	6471
4	5233	5918	6088	6118	6227
5	7964	8589	8791	9011	9281
6	7644	8013	8868	8666	10066
7	6456	6925	7219	7394	7595
8	-	-	-	-	-
Průměr	6418	7013	7311	7384	7685
30[°C]	Frekvence[Hz]				
	5	10	15	20	25
1	4016	4367	5085	5417	5496
2	3103	3540	3901	4002	4204
3	3488	3949	4188	4693	4886
4	3553	4055	4296	4509	4749
5	6009	7064	7066	6801	6583
6	5726	6063	6536	6610	6417
7	3847	4137	4176	4321	5107
8	-	-	-	-	-
Průměr	4249	4739	5035	5193	5349



Příloha 9 Tuhosti směsi ACP 16 + PMB, metodou 2PB-TR

ACP 16 + PMB					
TEPLOTA [°C]	Frekvence [Hz]				
	5	10	15	20	25
15	8004	8378	8921	8935	9205
30	5427	5725	5980	5934	6309

15[°C]	Frekvence[Hz]				
	5	10	15	20	25
1	7069	7735	7859	7770	8033
2	8759	8132	10032	9872	9806
3	6380	7199	7210	7473	7959
4	7732	8170	9080	8569	8665
5	9833	10342	10604	10864	11164
6	8017	8343	8559	8666	9053
7	8238	8726	9101	9333	9753
8	8758	9400	9726	9960	10400
Průměr	8004	8378	8921	8935	9205

30[°C]	Frekvence[Hz]				
	5	10	15	20	25
1	5934	6509	6628	6376	6369
2	6656	6939	7191	7015	7190
3	5787	6158	6313	6401	6568
4	5991	6255	6527	6623	6963
5	5344	6040	6329	6714	7203
6	4286	4806	5225	4523	5666
7	3991	4521	4828	4905	5389
8	4021	4568	4797	4915	5120
Průměr	5427	5725	5980	5934	6309



Příloha 10 Marshallova zkouška na směsí ACP 16 + 50/70

zpracovat Marshallova zkouška dle ČSN 736160
✕

Diagram pevnosti a pretvoření

datum: 3.4.2023

čas: 12:30:09

číslo vzorku:

Smid bc 50/70

	pevnost pevnost [kN]	výška tvoreni [mm]	Mar.- Stab. [kN]
1.	17,1	6,0	67,0
2.	13,7	4,8	66,9
3.	13,2	7,4	66,6

označené zkoušky nebudou při vyhodnocení a výtisku brány v úvahu

průměrná hodnota

stabilita [kN] 13,5

pretvoření [mm] 6,1

F4

F5

F8

F9

F10

Esc

grafika -
tisk

tisk
tabulky

zpracovávat
hodnoty

zpracování
pevnosti

zpracování
tangenty

ukončit

výběr funkce.



Příloha 11 Marshallova zkouška na směsi ACP 16 + PMB

zpracovat Marshallova zkouška dle ČSN 736160

Diagram pevnosti a pretvoření

datum: 3.4.2023

čas: 12:35:24

číslo vzorku:

Smid bc PMB

	pevnost pevnost [kN]	výška vzorků: [mm]	Mar.- Stab. [kN]
1.	16,8	6,7	63,1
2.	16,4	3,2	64,5
3.	-	-	65,1

označené zkoušky nebudou při vyhodnocení a výtisku brány v úvahu

průměrná hodnota

stabilita [kN]	16,6
přetvoření [mm]	5,0

F4
grafika - tisk

F5
tisk tabulky

F8
zpracovávat hodnoty

F9
zpracování pevnosti

F10
zpracování tangenty

Esc
ukončit

výběr funkce.



Příloha 14 Tabulka výsledků zkoušky na šíření trhlin ve směsi ACP 16 + PMB,1

Specimen	Demagee				Fract				Povrchová hodnota (loadage)/f _{td}												Tabela		Deformation		Notch		Strain (%)																																																																																																																																																																																																																									
	Date	Car.	(mm)	(kN)	Date	Car.	(mm)	(kN)	Thickness	Diameter	Height	Deformation	Force	Loading rate	Temperature	Fracture work	Fracture work	Test duration	Test duration	Angle of loading	Angle of unloading	Angle of unloading	Deformation	Force	Notch depth	Strain																																																																																																																																																																																																																										
ACP 16+PMB 10*	13.04.2023	930222	133	8.10	133	8.10	133	8.03	52.57	101.50	50.64	100.0%	100.3%	2.22	0°C	3.9	4.8	35	50	80.7	89.6	84.7	83.1	ACP 16+PMB	1.33	8.03	10	2.63%																																																																																																																																																																																																																								
ACP 16+PMB 10*	13.04.2023	93649	0.68	6.33	0.68	6.31	6.22	42.40	100.76	47.82	100.0%	100.3%	2.22	0°C	1.8	2.7	15	30	83.9	88.6	85.3	85.3	ACP 16+PMB	0.68	6.31	10	1.42%																																																																																																																																																																																																																									
ACP 16+PMB 11*	13.04.2023	100058	0.85	7.22	0.85	7.20	5.40	51.63	101.33	50.38	100.0%	100.3%	2.22	0°C	2.9	3.4	19	19	83.7	88.9	90	82.2	ACP 16+PMB	0.85	7.20	10	1.69%																																																																																																																																																																																																																									
ACP 16+PMB 11*	13.04.2023	93858	0.70	5.48	0.70	5.40	51.63	101.00	47.50	51.05	100.0%	100.3%	2.35	0°C	1.8	2.1	18	19	85.7	88.5	90	88.9	ACP 16+PMB	0.70	5.40	10	1.7%																																																																																																																																																																																																																									
ACP 16+PMB 12*	13.04.2023	94728	0.52	6.13	0.52	6.13	51.49	100.84	51.05	48.26	100.0%	100.5%	2.40	0°C	1.5	2.3	13	29	85.2	89.1	84.4	12.8	ACP 16+PMB	0.52	6.13	10	1.07%																																																																																																																																																																																																																									
ACP 16+PMB 12*	13.04.2023	100815	0.92	6.62	0.92	6.59	52.07	100.53	48.26	48.26	100.0%	100.5%	2.51	0°C	2.6	3.5	22	40	82.1	90.0	84.8	89.7	ACP 16+PMB	0.92	6.59	10	1.91%																																																																																																																																																																																																																									
0.83 6/73																																																																																																																																																																																																																																																				
Cast	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																																																																								
Deforce	0	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.42	0.46	0.5	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.88	0.92	0.96	1	1.04	1.08	1.13																																																																																																																																																																																																																								
ACP 16+PMB 10*	0.02	0.04	0.19	0.37	0.58	0.72	0.91	1.1	1.2	1.35	1.24	1.28	1.32	1.35	1.36	1.36	1.37	1.4	1.62	1.91	2.15	2.48	2.98	3.39	3.75	4.23	4.67	5.07																																																																																																																																																																																																																								
ACP 16+PMB 10*	0.02	0.17	0.33	0.58	0.94	1.23	1.56	2.15	2.64	3.09	3.71	4.15	4.55	4.88	5.24	5.63	6.18	6.6	6.98	7.46																																																																																																																																																																																																																																
Do max	0.01	0.06	0.16	0.27	0.53	0.81	1.18	1.78	2.27	2.72	3.15	3.52	4.4	4.88	5.24	5.63	6.18	6.6	6.98	7.46																																																																																																																																																																																																																																
F:	0.02	0.03	0.13	0.26	0.54	0.8	1.1	1.63	2.05	2.42	2.79	3.15	3.49	3.95	4.3	4.63	5.05	5.28	5.48																																																																																																																																																																																																																																	
ACP 16+PMB 11*	0.02	0.08	0.32	0.65	1.19	1.66	2.16	2.85	3.38	3.95	4.75	5.38	5.87	6.13	6.33	6.84	7.29	7.66	7.96																																																																																																																																																																																																																																	
ACP 16+PMB 12*	0.02	0.04	0.15	0.24	0.34	0.56	0.78	1.03	1.4	1.69	1.99	2.39	2.72	3.05	3.49	3.84	4.21	4.7	5.06	5.43	5.92	6.27	6.59	6.45	6.01	1.73	1.14	0.98																																																																																																																																																																																																																								
Cast	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																																																																								
Deforce	0	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38	0.42	0.46	0.5	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.88	0.92	0.96	1	1.04	1.08	1.13																																																																																																																																																																																																																								
ACP 16+PMB 10*	0.02	0.04	0.19	0.37	0.58	0.72	0.91	1.1	1.2	1.35	1.24	1.28	1.32	1.35	1.36	1.36	1.37	1.4	1.62	1.91	2.15	2.48	2.98	3.39	3.75	4.23	4.67	5.07																																																																																																																																																																																																																								
ACP 16+PMB 10*	0.02	0.17	0.33	0.58	0.94	1.23	1.56	2.15	2.64	3.09	3.71	4.15	4.55	4.88	5.24	5.63	6.18	6.6	6.98	7.46																																																																																																																																																																																																																																
Všechné	0.01	0.06	0.16	0.27	0.53	0.81	1.18	1.78	2.27	2.72	3.15	3.52	4.4	4.88	5.24	5.63	6.18	6.6	6.98	7.46																																																																																																																																																																																																																																
ACP 16+PMB 11*	0.02	0.03	0.13	0.26	0.54	0.8	1.1	1.63	2.05	2.42	2.79	3.15	3.49	3.95	4.3	4.63	5.05	5.28	5.48																																																																																																																																																																																																																																	
ACP 16+PMB 12*	0.02	0.08	0.32	0.65	1.19	1.66	2.16	2.85	3.38	3.95	4.75	5.38	5.87	6.13	6.33	6.84	7.29	7.66	7.96																																																																																																																																																																																																																																	
ACP 16+PMB 12*	0.02	0.04	0.15	0.24	0.34	0.56	0.78	1.03	1.4	1.69	1.99	2.39	2.72	3.05	3.49	3.84	4.21	4.7	5.06	5.43	5.92	6.27	6.59	6.45	6.01	1.73	1.14	0.98																																																																																																																																																																																																																								
Zatěžování																																																																																																																																																																																																																																																				
Parametry regresivní $w = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$																																																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>F_{90%} fmax</th> <th>F_{50%} fmax</th> <th>F_{10%} fmax</th> <th>F_{infr} fmax</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> <th>Slope</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-107.19</td> <td>573.51</td> <td>-101.48</td> <td>599.05</td> <td>7.29</td> <td>1.34</td> <td>4.05</td> <td>1.36</td> <td>0.81</td> <td>1.66</td> <td>0.54</td> <td>1.78</td> <td>162.0</td> <td>89.6</td> <td>10.8</td> <td>84.7</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> <td>85.3</td> </tr> <tr> <td>-208.37</td> <td>602.37</td> <td>-569.86</td> <td>178.03</td> <td>5.70</td> <td>0.71</td> <td>3.17</td> <td>0.77</td> <td>0.63</td> <td>0.98</td> <td>0.86</td> <td>0.96</td> <td>42.2</td> <td>88.6</td> <td>12.1</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> <td>85.3</td> <td>12.2</td> </tr> <tr> <td>-528.85</td> <td>3879.05</td> <td>-923.26</td> <td>6.95</td> <td>0.86</td> <td>3.86</td> <td>0.92</td> <td>0.77</td> <td>0.92</td> <td>3.52</td> <td>0.74</td> <td>5.15</td> <td>88.6</td> <td>-</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>-585.18</td> <td>1411.85</td> <td>-1128.56</td> <td>299.26</td> <td>4.93</td> <td>0.70</td> <td>2.74</td> <td>0.76</td> <td>0.55</td> <td>0.76</td> <td>0.41</td> <td>0.80</td> <td>37.2</td> <td>85.3</td> <td>-</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> <td>90</td> <td>85.3</td> </tr> <tr> <td>-69.03</td> <td>274.46</td> <td>-347.95</td> <td>143.02</td> <td>5.52</td> <td>0.54</td> <td>3.07</td> <td>0.58</td> <td>0.61</td> <td>0.82</td> <td>2.90</td> <td>1.32</td> <td>61.3</td> <td>89.1</td> <td>10.2</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> <td>84.4</td> </tr> <tr> <td>-493.92</td> <td>195.23</td> <td>-189.75</td> <td>60.33</td> <td>5.96</td> <td>1.00</td> <td>3.31</td> <td>1.00</td> <td>0.66</td> <td>1.24</td> <td>0.45</td> <td>0.99</td> <td>2648.0</td> <td>90.0</td> <td>11.1</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> <td>84.8</td> </tr> </tbody> </table>																												a	b	c	d	F _{90%} fmax	F _{50%} fmax	F _{10%} fmax	F _{infr} fmax	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	-107.19	573.51	-101.48	599.05	7.29	1.34	4.05	1.36	0.81	1.66	0.54	1.78	162.0	89.6	10.8	84.7	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	-208.37	602.37	-569.86	178.03	5.70	0.71	3.17	0.77	0.63	0.98	0.86	0.96	42.2	88.6	12.1	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	-528.85	3879.05	-923.26	6.95	0.86	3.86	0.92	0.77	0.92	3.52	0.74	5.15	88.6	-	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	-585.18	1411.85	-1128.56	299.26	4.93	0.70	2.74	0.76	0.55	0.76	0.41	0.80	37.2	85.3	-	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	-69.03	274.46	-347.95	143.02	5.52	0.54	3.07	0.58	0.61	0.82	2.90	1.32	61.3	89.1	10.2	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	-493.92	195.23	-189.75	60.33	5.96	1.00	3.31	1.00	0.66	1.24	0.45	0.99	2648.0	90.0	11.1	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8
a	b	c	d	F _{90%} fmax	F _{50%} fmax	F _{10%} fmax	F _{infr} fmax	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope	Slope																																																																																																																																																																																																																						
-107.19	573.51	-101.48	599.05	7.29	1.34	4.05	1.36	0.81	1.66	0.54	1.78	162.0	89.6	10.8	84.7	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3																																																																																																																																																																																																																						
-208.37	602.37	-569.86	178.03	5.70	0.71	3.17	0.77	0.63	0.98	0.86	0.96	42.2	88.6	12.1	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2	85.3	12.2																																																																																																																																																																																																																						
-528.85	3879.05	-923.26	6.95	0.86	3.86	0.92	0.77	0.92	3.52	0.74	5.15	88.6	-	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90																																																																																																																																																																																																																						
-585.18	1411.85	-1128.56	299.26	4.93	0.70	2.74	0.76	0.55	0.76	0.41	0.80	37.2	85.3	-	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3	90	85.3																																																																																																																																																																																																																						
-69.03	274.46	-347.95	143.02	5.52	0.54	3.07	0.58	0.61	0.82	2.90	1.32	61.3	89.1	10.2	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4																																																																																																																																																																																																																						
-493.92	195.23	-189.75	60.33	5.96	1.00	3.31	1.00	0.66	1.24	0.45	0.99	2648.0	90.0	11.1	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8																																																																																																																																																																																																																						
Nepříliš hodnota c -0.3 Nepříliš hodnota odtečení: pro jemnější směsi doporučení -0.3 (N), pro hrubší směsi -0.5 (N).																																																																																																																																																																																																																																																				
Nepříliš hodnota d 2.5 Není-li odtečení pro výskyt ztenčování zatěžovací diagram. Do výpočtu je třeba deformace a síla odečtena z listu nebývá dřívou měření odtečení opasat hodnotou z datového listu.																																																																																																																																																																																																																																																				



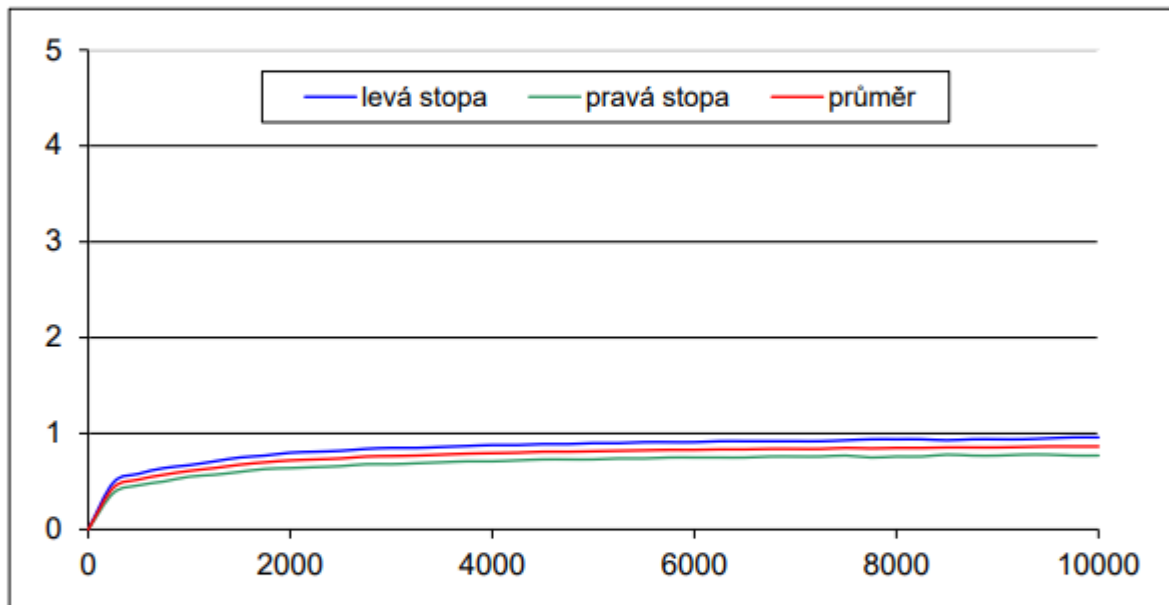
Příloha 16 Výsledky zkoušek poježdění kolem na směsi ACP 16 + 50/70

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:		druh směsi	50/70
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	62,10 mm
teplota přípravy těles	150 °C	tloušťka desky 2	62,15 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	62,13 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	0,90	0,96	0,06
2	0,73	0,77	0,04
průměr	0,82	0,87	0,05
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,01 mm
PRD_{AIR}			1,3 %



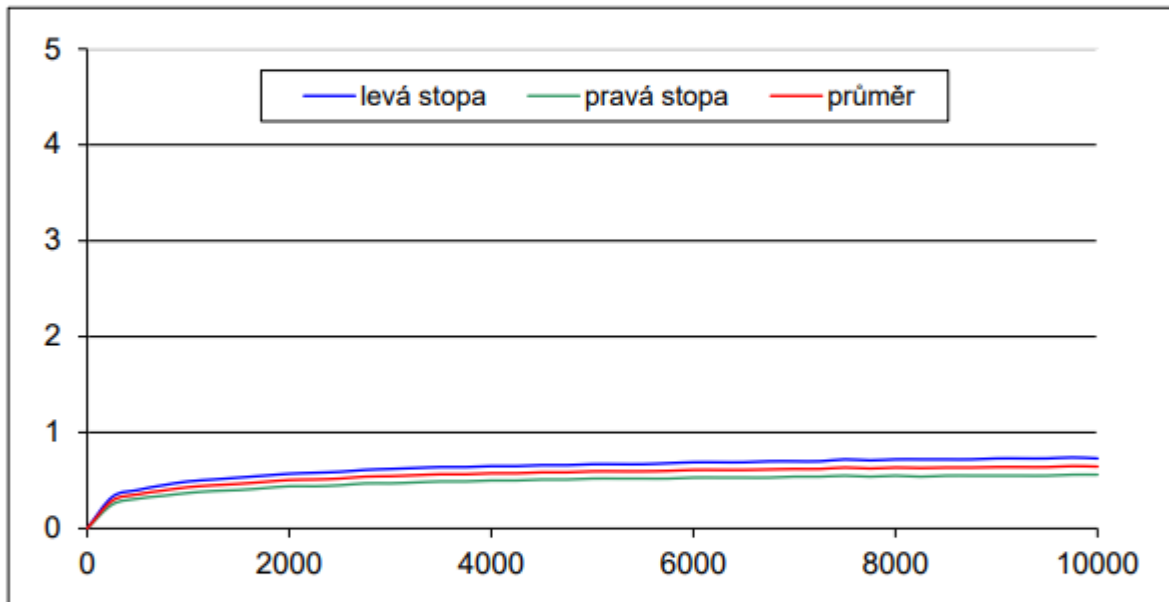
Příloha 17 Výsledky zkoušek poježdění kolem na směsi ACP 16 + PMB

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

objednavatel:		druh směsi	PMB
výrobce		druh pojiva	
číslo objednávky:		MZ vzorku č.1	99,5 %
datum výroby vzorku		MZ vzorku č.2	99,9 %
datum zkoušky		tloušťka desky 1	60,51 mm
teplota přípravy těles	155 °C	tloušťka desky 2	60,42 mm
teplota zkoušky	50 °C	průměrná tloušťka desek	60,47 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	0,67	0,73	0,06
2	0,52	0,56	0,04
průměr	0,60	0,65	0,05
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,01 mm
PRD_{AIR}			1,0 %



Příloha 19 Výsledky zkoušek přístroje FWD

Úsek		2019			2020			2019			2020					
		AC	ŠD	P	AC	ŠD	P	AC	ŠD	P	AC	ŠD	P			
0	-	10 887	59	142	9 510	47	139	100%	100%	100%	87%	80%	98%	11 088	9 696	87%
1	Dolanit	9 088	80	103	8 591	48	77	100%	100%	100%	95%	61%	74%	9 271	8 716	94%
2	Namflex	4 334	92	77	4 229	50	55	100%	100%	100%	98%	54%	72%	4 503	4 335	96%
3	Bitustring	4 598	78	131	3 459	39	102	100%	100%	100%	75%	50%	78%	4 808	3 600	75%
4	2D Skelná výztuž	6 601	125	135	5 407	69	96	100%	100%	100%	82%	55%	71%	6 861	5 572	81%
5	FORTA FI	7 351	234	117	7 631	104	81	100%	100%	100%	104%	44%	70%	7 703	7 816	101%
6	bez	5 864	125	139	5 687	51	108	100%	100%	100%	97%	41%	78%	6 129	5 847	95%

2019-2020

Úsek		2019	2020	PRŮHYB	
0	-	403	435	-32	8%
1	Dolanit	403	516	-113	28%
2	Namflex	394	488	-94	24%
3	Bitustring	300	407	-107	36%
4	2D Skelná výztuž	295	373	-78	26%
5	FORTA FI	277	336	-59	21%
6	-	274	361	-87	32%

MODUL PRUŽNOSTI FWD	
	95%
	98%
	75%
	82%
	104%
	97%

Úsek		2020			2021			2020			2021					
		AC	ŠD	P	AC	ŠD	P	AC	ŠD	P	AC	ŠD	P			
0	-	9 510	47	139	10 675	111	142	100%	100%	100%	112%	234%	102%	9 696	10 928	113%
1	Dolanit	8 591	48	77	10 389	105	101	100%	100%	100%	121%	218%	132%	8 716	10 595	122%
2	Namflex	4 229	50	55	5 276	106	81	100%	100%	100%	125%	211%	146%	4 335	5 463	126%
3	Bitustring	3 459	39	102	6 155	91	140	100%	100%	100%	178%	231%	138%	3 600	6 386	177%
4	2D Skelná výztuž	5 407	69	96	9 527	175	123	100%	100%	100%	176%	254%	128%	5 572	9 825	176%
5	FORTA FI	7 631	104	81	12 342	273	123	100%	100%	100%	162%	262%	151%	7 816	12 738	163%
6	bez	5 687	51	108	8 677	184	112	100%	100%	100%	153%	358%	103%	5 847	8 973	153%

2020-2021

Úsek		2020	2021	PRŮHYB	
0	-	435	348	87	-20%
1	Dolanit	516	392	124	-24%
2	Namflex	488	355	133	-27%
3	Bitustring	407	274	133	-33%
4	2D Skelná výztuž	373	250	123	-33%
5	FORTA FI	336	208	128	-38%
6	-	361	205	156	-43%

MODUL PRUŽNOSTI FWD	
	121%
	125%
	178%
	176%
	162%
	153%

Úsek		2021			2022			2021			2022					
		AC	ŠD	P	AC	ŠD	P	AC	ŠD	P	AC	ŠD	P			
0	-	10 675	111	142	11 873	75	143	100%	100%	100%	111%	68%	101%	10 928	12 091	111%
1	Dolanit	10 389	105	101	10 432	103	94	100%	100%	100%	100%	98%	93%	10 595	10 629	100%
2	Namflex	5 276	106	81	6 334	51	87	100%	100%	100%	120%	48%	107%	5 463	6 472	118%
3	Bitustring	6 155	91	140	5 313	65	123	100%	100%	100%	86%	71%	88%	6 386	5 501	86%
4	2D Skelná výztuž	9 527	175	123	8 953	100	122	100%	100%	100%	94%	57%	99%	9 825	9 175	93%
5	FORTA FI	12 342	273	123	9 990	170	111	100%	100%	100%	81%	62%	90%	12 738	10 271	81%
6	bez	8 677	184	112	8 683	80	160	100%	100%	100%	100%	43%	143%	8 973	8 923	99%

2021-2022

Úsek		2021	2022	PRŮHYB	
0	-	348	348	0	0%
1	Dolanit	392	382	10	-3%
2	Namflex	355	350	5	-1%
3	Bitustring	274	297	-23	8%
4	2D Skelná výztuž	250	244	6	-2%
5	FORTA FI	208	213	-5	2%
6	-	205	240	-35	17%

MODUL PRUŽNOSTI FWD	
	100%
	120%
	86%
	94%
	81%
	100%



Příloha 20 Nerovnosti v pravém pruhu ve směru Hodyně-Královec

Úsek	Staničení	Délka úsek	Výztuž	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.
(0)	km 0.000 – km 0.060	60	bez	-1,4	-4,8	1,4	4,8	2,2	4,4	2,2	4,4
(1)	km 0.060 – km 0.347	287	Dolanit	-1,1	-4,3	1,1	4,3	1,4	6,4	1,3	6,1
(2)	km 0.347 – km 0.620	273	Namflex	-1,2	-4,0	1,2	4,0	1,4	4,4	1,2	3,8
(3)	km 0.620 – km 0.877	257	Bitustring	-1,3	-4,1	1,3	4,1	1,1	5,9	0,8	3,1
(4)	km 0.877 – km 1.134	257	2D skelná výztuž	-1,2	-4,7	1,2	4,7	1,4	3,9	1,3	5,8
(5)	km 1.134 – km 1.400	266	FORTA FI	-1,8	-5,0	1,8	5,0	0,9	3,6	0,9	3,3
(6)	km 1.400 – km 1.626	266	bez	-1,7	-5,2	1,7	5,2	1,3	4,5	1	4,5
						2022		2021		2020	
Úsek	Staničení	Délka úsek	Výztuž	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.
0	km 0.000 – km 0.050	60	bez	-1,2	-3,8	1,2	3,8	2,3	4,4	2,2	4,4
0	km 0.050 – km 0.060	10	bez	-2,5	-4,8	2,5	4,8	1,3	2,1	1,9	2,7
(1)	km 0.060 – km 0.100	40	Dolanit	-1,3	-2,9	1,3	2,9	1,4	3,8	1,3	4,1
(1)	km 0.100 – km 0.150	50	Dolanit	-1,3	-4,3	1,3	4,3	1,1	2,1	0,8	2
(1)	km 0.150 – km 0.200	50	Dolanit	-0,9	-3,2	0,9	3,2	2,8	6,4	2,5	6,1
(1)	km 0.200 – km 0.250	50	Dolanit	-0,9	-2,1	0,9	2,1	1	3,3	0,9	2,8
(1)	km 0.250 – km 0.300	50	Dolanit	-1,2	-2,1	1,2	2,1	1,2	3,5	1,3	3,5
(1)	km 0.300 – km 0.347	47	Dolanit	-1,0	-3,4	1,0	3,4	1,2	3,1	1	3
(2)	km 0.347 – km 0.400	53	Namflex	-0,8	-2,2	0,8	2,2	1	4,3	0,8	2,2
(2)	km 0.400 – km 0.450	50	Namflex	-0,8	-2,9	0,8	2,9	1,3	4,4	0,9	3,8
(2)	km 0.450 – km 0.500	50	Namflex	-1,1	-3,2	1,1	3,2	1,9	3,8	1,5	3,5
(2)	km 0.500 – km 0.550	50	Namflex	-1,3	-2,9	1,3	2,9	1,7	3,6	1,7	3,8
(2)	km 0.550 – km 0.600	50	Namflex	-1,8	-4,0	1,8	4,0	1,3	3,7	1,1	3,1
(2)	km 0.600 – km 0.620	20	Namflex	-1,5	-3,0	1,5	3,0	1,1	2,9	1,4	2,2
(3)	km 0.620 – km 0.650	30	Bitustring	-1,1	-2,6	1,1	2,6	0,8	1,8	1,1	3,1
(3)	km 0.650 – km 0.700	50	Bitustring	-1,6	-3,9	1,6	3,9	0,9	2,1	0,6	2,1
(3)	km 0.700 – km 0.750	50	Bitustring	-1,5	-4,1	1,5	4,1	1,1	2,5	0,8	2,5
(3)	km 0.750 – km 0.800	50	Bitustring	-1,2	-2,9	1,2	2,9	0,8	2,3	0,8	2
(3)	km 0.800 – km 0.850	50	Bitustring	-1,3	-2,9	1,3	2,9	0,9	2,1	0,6	1,6
(3)	km 0.850 – km 0.877	27	Bitustring	-0,9	-2,1	0,9	2,1	1,5	5,9	0,7	2,1
(4)	km 0.877 – km 0.900	23	2D skelná výztuž	-0,9	-1,7	0,9	1,7	1,3	2,4	1,5	5,8
(4)	km 0.900 – km 0.950	50	2D skelná výztuž	-0,9	-1,9	0,9	1,9	1	2,5	1,3	4,3
(4)	km 0.950 – km 1.000	50	2D skelná výztuž	-1,3	-3,1	1,3	3,1	1,4	3,8	1,2	4,1
(4)	km 1.000 – km 1.050	50	2D skelná výztuž	-0,9	-2,8	0,9	2,8	1,3	3,8	1,4	3,6
(4)	km 1.050 – km 1.100	50	2D skelná výztuž	-1,3	-4,3	1,3	4,3	1,6	3,2	1	2,5
(4)	km 1.100 – km 1.134	34	2D skelná výztuž	-1,8	-4,7	1,8	4,7	1,5	3,2	1,6	2,8
(5)	km 1.134 – km 1.150	26	FORTA FI	-1,5	-3,3	1,5	3,3	1,1	2	1,2	2,6
(5)	km 1.150 – km 1.200	50	FORTA FI	-2,2	-5,0	2,2	5,0	1,3	3,9	1,2	3,3
(5)	km 1.200 – km 1.250	50	FORTA FI	-2,7	-4,8	2,7	4,8	0,9	2,3	0,9	2,9
(5)	km 1.250 – km 1.300	50	FORTA FI	-1,3	-4,0	1,3	4,0	0,8	1,6	0,8	2,1
(5)	km 1.300 – km 1.350	50	FORTA FI	-0,9	-3,2	0,9	3,2	0,9	3,6	0,7	1,9
(5)	km 1.350 – km 1.400	50	FORTA FI	-1,7	-3,9	1,7	3,9	0,9	2,8	0,9	2,8
(6)	km 1.400 – km 1.450	50	bez	-1,4	-4,3	1,4	4,3	1,1	2,9	0,9	2,6
(6)	km 1.450 – km 1.500	50	bez	-1,5	-3,5	1,5	3,5	1	2,7	0,9	2,3
(6)	km 1.500 – km 1.550	50	bez	-1,7	-4,2	1,7	4,2	0,8	1,9	0,8	2,7
(6)	km 1.550 – km 1.600	50	bez	-2,3	-5,2	2,3	5,2	1,1	3,8	1,3	4,5
(6)	km 1.600 – km 1.626	26	bez	-1,5	-3,9	1,5	3,9	1,4	2,7	1,6	4,1



Příloha 21 Nerovnosti v pravém pruhu ve směru Královec-Hodyně

Úsek	Staničení	Délka úseku	Výztuž	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.
0	km 0.000 – km 0.060	60	bez	-2,2	-7,7	2,2	7,7	1,9	4,5	1,5	3,7
-1	km 0.060 – km 0.347	287	Dolanit	-1,4	-7,8	1,4	7,8	1,5	7,5	1,5	5,1
-2	km 0.347 – km 0.620	273	Namflex	-1,2	-4	1,2	4	1,6	5,1	1,7	8,6
-3	km 0.620 – km 0.877	257	Bitustring	-0,8	-2,8	0,8	2,8	1,1	3,6	1	3,6
-4	km 0.877 – km 1.134	257	2D skelná výztuž	-1,2	-3,2	1,2	3,2	1,4	4,5	1,3	3,9
-5	km 1.134 – km 1.400	266	FORTA FI	-0,8	-3,2	0,8	3,2	1,0	3,8	0,8	3,4
-6	km 1.400 – km 1.626	266	bez	-0,9	-3,5	0,9	3,5	1,3	4,5	1,3	5
						2022		2021		2020	
Úsek	Staničení	Délka úseku	Výztuž	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.	♦	MAX.
0	km 0.000 – km 0.050	60	bez	-2,3	-7,7	2,3	7,7	2,0	7,5	1,4	3,7
0	km 0.050 – km 0.060	10	bez	-1,7	-7,7	1,7	7,7	1,5	5,8	1,8	3,7
-1	km 0.060 – km 0.100	40	Dolanit	-2,4	-7,7	2,4	7,7	1,4	2,9	1,5	4,4
-1	km 0.100 – km 0.150	50	Dolanit	-1,8	-3,9	1,8	3,9	1,4	4,0	2	5,1
-1	km 0.150 – km 0.200	50	Dolanit	-0,9	-2	0,9	2	1,3	3,6	1,2	2,8
-1	km 0.200 – km 0.250	50	Dolanit	-2,4	-7,8	2,4	7,8	1,4	3,9	1,3	3,8
-1	km 0.250 – km 0.300	50	Dolanit	-1,4	-3,8	1,4	3,8	1,0	2,9	1,7	3,7
-1	km 0.300 – km 0.347	47	Dolanit	-1,2	-3,7	1,2	3,7	1,5	3,3	1	2,7
-2	km 0.347 – km 0.400	53	Namflex	-0,8	-3,1	0,8	3,1	2,4	5,1	1,2	3,8
-2	km 0.400 – km 0.450	50	Namflex	-0,9	-3,2	0,9	3,2	1,8	4,1	3	8,6
-2	km 0.450 – km 0.500	50	Namflex	-0,8	-4	0,8	4	1,4	4,1	2	4,1
-2	km 0.500 – km 0.550	50	Namflex	-1,6	-3,5	1,6	3,5	1,0	2,4	1,4	3,8
-2	km 0.550 – km 0.600	50	Namflex	-1,6	-3,2	1,6	3,2	1,1	3,6	1,1	3,3
-2	km 0.600 – km 0.620	20	Namflex	-1,2	-2,9	1,2	2,9	1,0	2,3	0,7	1,6
-3	km 0.620 – km 0.650	30	Bitustring	-0,8	-2,2	0,8	2,2	1,1	3,1	0,6	1,5
-3	km 0.650 – km 0.700	50	Bitustring	-1,3	-2,8	1,3	2,8	0,9	1,9	1,3	3,6
-3	km 0.700 – km 0.750	50	Bitustring	-0,7	-2	0,7	2	1,1	2,3	0,7	2
-3	km 0.750 – km 0.800	50	Bitustring	-0,9	-2	0,9	2	1,2	2,9	1	2,3
-3	km 0.800 – km 0.850	50	Bitustring	-0,6	-1,7	0,6	1,7	1,1	3,1	1	2,6
-3	km 0.850 – km 0.877	27	Bitustring	-0,5	-1,1	0,5	1,1	1,7	3,7	1,1	2,7
-4	km 0.877 – km 0.900	23	2D skelná výztuž	-1,1	-6,2	1,1	6,2	1,6	3,9	1	2
-4	km 0.900 – km 0.950	50	2D skelná výztuž	-1,1	-4	1,1	4	1,3	4,0	1,5	3,9
-4	km 0.950 – km 1.000	50	2D skelná výztuž	-0,7	-2,2	0,7	2,2	1,8	4,5	1,1	3,4
-4	km 1.000 – km 1.050	50	2D skelná výztuž	-1,3	-3,5	1,3	3,5	1,2	2,7	1,7	3,7
-4	km 1.050 – km 1.100	50	2D skelná výztuž	-1	-3,6	1	3,6	1,2	3,8	1,1	2,5
-4	km 1.100 – km 1.134	34	2D skelná výztuž	-1,7	-3,1	1,7	3,1	0,9	2,0	1,1	2,8
-5	km 1.134 – km 1.150	26	FORTA FI	-1	-2,4	1	2,4	1,0	2,1	1	2
-5	km 1.150 – km 1.200	50	FORTA FI	-0,8	-2,5	0,8	2,5	0,7	1,5	0,8	3,2
-5	km 1.200 – km 1.250	50	FORTA FI	-1	-3,2	1	3,2	1,1	2,8	0,5	1,3
-5	km 1.250 – km 1.300	50	FORTA FI	-0,8	-2,3	0,8	2,3	1,0	2,0	0,9	3,4
-5	km 1.300 – km 1.350	50	FORTA FI	-0,5	-1,2	0,5	1,2	1,1	1,9	0,9	2,1
-5	km 1.350 – km 1.400	50	FORTA FI	-0,8	-2,6	0,8	2,6	1,0	3,1	0,7	1,9
-6	km 1.400 – km 1.450	50	bez	-0,7	-2,4	0,7	2,4	1,0	2,5	0,8	3,1
-6	km 1.450 – km 1.500	50	bez	-0,7	-3,2	0,7	3,2	1,0	3,9	1,2	3,4
-6	km 1.500 – km 1.550	50	bez	-0,6	-2,4	0,6	2,4	1,3	3,8	1,4	4,5
-6	km 1.550 – km 1.600	50	bez	-1,2	-3,5	1,2	3,5	1,5	4,5	1,4	5
-6	km 1.600 – km 1.626	26	bez	-1	-2,4	1	2,4	1,8	3,6	1,7	3,8