

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB



**HODNOCENÍ VÝKONNOSTI VLÁKEN
V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval:

Ondřej Šams

Vedoucí práce:

Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šams	Jméno: Ondřej	Osobní číslo: 458835
Zadávací katedra: katedra silničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a doprava		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Hodnocení výkonnosti vláken v asfaltových směsích	
Název bakalářské práce anglicky: Evaluation of fiber performance in asphalt mixtures	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte rešerši možnosti využití vláken v asfaltových směsích. Stanovte systém hodnocení výkonnosti asfaltových směsí. Vypracujte praktický příklad porovnání výkonnosti směsí.	
Seznam doporučené literatury: Technické normy a předpisy z oblasti asfaltových směsí a asfaltových pojiv; odborná literatura z oblasti vyztužování asfaltových směsí	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 17.2.2020	Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2020 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> Podpis vedoucího práce	<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> 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“

<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; display: inline-block;"></div> 17-02-2020 Datum převzetí zadání	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; display: inline-block;"></div> Podpis studenta(ky)
--	--

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, dne 15. 5. 2020

.....
podpis

Poděkování

Mé díky patří vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Petru Mondscheinovi Ph.D. za jeho čas, cenné rady a pomoc při vypracování této bakalářské práce, jejíž tvorba byla značně ztížena vlivem COVID19. Dále bych rád poděkoval všem zaměstnancům ze silniční laboratoře ČVUT, kteří nabídli svou pomoc. Velký dík patří Bohu za Jeho blízkost v průběhu celého studia a také mé ženě, která mi je neskutečnou oporou.

OBSAH

1	Úvod.....	9
1.1	Cíle bakalářské práce.....	9
1.2	Poruchy asfaltových vozovek	9
1.2.1	Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky	9
1.2.2	Ztráta hmoty z krytu.....	10
1.2.3	Deformace.....	10
1.2.4	Trhliny	11
2	Způsoby vyztužení asfaltových směsí	14
2.1	Plošná výztuž (geosyntetika)	15
2.1.1	Geomříže (GGR).....	15
2.1.2	Geotextilie (GTX)	15
2.1.3	Geokompozity (GCO).....	16
2.2	3D vyztužení (vlákna)	16
2.2.1	FORTA-FI.....	18
2.2.2	CIUR a.s. - NAMFLEX®	22
2.2.3	ITERCHIMICA S.r.l. – ITERFIBRA	22
3	Zkušební tělesa	23
3.1	Materiálové složení testovaných zkušebních těles	23
3.2	Výroba asfaltové směsi ACO 16 S.....	24
3.2.1	Kamenivo.....	24
3.2.2	Pojivo.....	25
3.2.3	Návrh a výběr referenční směsi.....	25
3.2.4	Výroba finálních směsí	27
3.3	Hutnění zkušebních těles rázovým zhutňovačem	29
3.3.1	Pomůcky a zařízení.....	29
3.3.2	Příprava před hutněním	31
3.3.3	Postup hutnění	31
3.4	Hutnění desek lamelovým zhutňovačem	31
3.4.1	Pomůcky a zařízení.....	32
3.4.2	Příprava před hutněním	33
3.4.3	Postup hutnění	33
4	Zkoušky provedené na zkušebních tělesech.....	34
4.1	Maximální objemová hmotnost	34
4.2	Objemová hmotnost	36

4.2.1	Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)	36
4.2.2	Objemová hmotnost – dle rozměrů	38
4.3	Mezerovitost	39
4.4	Pevnost v příčném tahu	39
4.5	Odolnost vůči vodě.....	41
4.6	Modul tuhosti.....	43
4.7	Odolnost vůči šíření trhlin	46
4.8	Odolnost vůči vzniku trvalých deformací	49
5	Výsledky zkoušek	51
5.1	Pevnost v příčném tahu	51
5.2	Odolnost vůči vodě.....	52
5.3	Modul tuhosti.....	53
5.4	Odolnost vůči šíření trhlin	56
5.5	Odolnost vůči vzniku trvalých deformací	58
6	Vyhodnocení	59
6.1	Vyhodnocení pomocí pořadí	59
6.2	Vyhodnocení dle dílčí funkce užítku	61
6.2.1	Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek	62
6.2.2	Celkový užitek alternativy – stejná váha kritérií.....	69
6.2.3	Celkový užitek alternativy – různá váha kritérií.....	71
7	Závěr	75
	Seznam literatury	76
	Seznam obrázků	79
	Seznam tabulek.....	80
	Seznam grafů	82
	Seznam příloh	83
8	Přílohy.....	84

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá výkonností vláken FORTA-FI v asfaltové směsi ACO 16 S v porovnání s variantou asfaltové směsi bez vláken a variantou směsi s polymerem modifikovaným asfaltem (PMB). Úvodní teoretická část popisuje způsoby poruch netuhých vozovek a také možnosti vyztužování vozovek (plošná výztuž a 3D výztuž). V praktické části bakalářské práce byl zpracován projekt. V rámci něho byly vyrobeny tři asfaltové směsi (ACO 16 S, ACO 16 S FI, ACO 16 S PMB 45/80-65), ze kterých byla zhotovena zkušební tělesa, na nichž byl provedena celá řada zkoušek. Cílem provedených zkoušek, resp. celé bakalářské práce bylo vyhodnotit, jak si stojí asfaltová směs obohacená vlákny oproti směsi bez vláken a směsi s modifikovaným asfaltem.

Klíčová slova:

FORTA-FI, vlákna v asfaltových směsích, 3D výztuž vozovky, plošná výztuž vozovky, vyztužení asfaltové vozovky, poruchy netuhých vozovek, životnost asfaltových vozovek, asfaltová směs, maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost, mezerovitost, pevnost v příčném tahu, odolnost vůči vodě, modul tuhosti, odolnost vůči šíření trhlin, odolnost vůči vzniku trvalých deformací

ANNOTATION

Bachelor's thesis deals with the performance of fibers FORTA-FI in asphalt mixture ACO 16 S compared to mixture variation without fibers and variation of a mixture with modified bitumen (PMB). The introduction theoretical part describes failures of flexible pavements and also the possibility of pavement reinforcement (surface reinforcement and 3D reinforcement). The practical part of the bachelor's thesis has been processed in the project. Three bitumen mixtures (ACO 16 S, ACO 16 S FI, ACO 16 S PMB 45/80-65) were produced within it. From these mixtures were made specimens on which a number of tests have been performed. Aim of the performed tests or more precisely the whole bachelor's thesis was to evaluate differences between the asphalt mixture with fibers and mixture without fibers and mixture with modified asphalt.

Key words:

FORTA-FI, fibers in asphalt mixtures, 3D pavement reinforcement, surface pavement reinforcement, pavement reinforcement, failures of flexible pavements, life of asphalt pavement, asphalt mixture, maximal bulk density, bulk density, void characteristic, indirect tensile strength, water sensitivity, stiffness, crack propagation resistance, resistance to permanent deformation

1 Úvod

1.1 Cíle bakalářské práce

Asfaltové směsi jsou v silničním stavitelství nejrozšířenějším materiálem. Tato skutečnost vede výrobce k tvorbě stále dokonalejších asfaltových směsí, které svými vlastnostmi zlepšují kvalitu vozovek i jiných ploch, na které jsou směsi aplikovány. Jednou z možných cest pro zlepšení vlastností asfaltových směsí je jejich obohacení o 3D rozptýlenou výztuž (vlákna). Vlákna směs vyztužují všemi směry, čímž se docílí významného zlepšení důležitých vlastností stavebního materiálu. V rámci této bakalářské práce je řešeno, jak si bude ve svých vlastnostech stát směs asfaltového betonu pro obrusnou vrstvu ACO 16 S oproti totožné směsi s přidanými aramidovými vlákny FORTA-FI a asfaltové směsi, do které vlákna přidána nebudou, ale asfalt bude modifikovaný – konkrétně ACO 16 S PMB 45/80-65. Konečným cílem práce je zjistit, jaké budou rozdíly ve vlastnostech zmíněných směsí a vyhodnotit je.

1.2 Poruchy asfaltových vozovek

Téma této bakalářské práce se úzce pojí se snahou zlepšit vlastnosti asfaltové směsi tak, aby bylo zabráněno nežádoucím poruchám vozovky nebo alespoň jejich porušení časově oddáleno v porovnání s nijak nevytvořenými asfaltovými směsmi. Zároveň je zde na straně druhé úsilí o nalezení optimální úrovně investice ekonomických prostředků spojených se zlepšením asfaltové směsi s jejich reálným a měřitelným dopadem na materiálové vlastnosti výsledné směsi. V této kapitole budou představeny jednotlivé poruchy asfaltových vozovek, ke kterým může docházet v průběhu jejich užívání. Modifikace asfaltových směsí mohou některé poruchy pomáhat odstranit, minimalizovat nebo časově oddálit.

Asfalt, stejně jako jiné stavební materiály, podléhá poškození a porušení, kvůli účinkům zatížením provozem, změnám teplot a klimatu. Poškození obrusné a konstrukční vrstvy vozovky se vyskytují zákonitě i náhodně. Díky správnému výběru stavebních materiálů, jejich složením a provedením lze ale ovlivnit nežádoucí vlastnosti a snížit výskyt poškození na vozovce.

V následujících odstavcích budou představeny jednotlivé poruchy netuhých a polotuhých vozovek.

1.2.1 Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky

Pojmem protismyková vlastnost povrchu vozovky se rozumí požadavek smykového tření jako odporu pneumatiky vozidla vzhledem k povrchu vozovky při zrychlování, brzdění a změně směru vozu. Čím hojněji tvarované oba povrchy jsou a čím více je materiál vozovky pevný, tím lepší a trvanlivější smykové tření se může očekávat. Ztráta protismykových vlastností vozovky nastává při ztrátě makrotextury povrchu vozovky, což znamená, že povrch se uzavře do hladké plochy bez vystupujících zrn kameniva.

K úbytku protismykových vlastností také dochází při ztrátě mikrotextury povrchu vozovky, což lze popsat jako vyhlazování zrn kameniva v povrchu vozovky vlivem dotyku s pneumatikami.

[1][2]

1.2.2 Ztráta hmoty z krytu

V důsledku účinků zatížení, působením vody, drobením kameniva a stárnutím asfaltu je narušováno spojení zrn kameniva a postupně ubývá materiál obrusné vrstvy. Nejprve dojde k uvolnění asfaltového tmelu (směs kameniva a asfaltu do 2 mm hloubky), obzvláště pokud obsahuje malé množství pojiva a tmel je proto drobivý. V důsledku ubývání tmelu dojde k obnažení hrubých zrn kameniva a následně proces vede k jejich vylamování (zrna již nejsou zaklíněna do směsi). Pokud tomuto jevu není zabráněno, dochází k postupnému ubývání obrusné vrstvy, až do jejího úplného odstranění. Ztráta hmoty poté pokračuje i do dalších vrstev krytu nebo dokonce i podkladu vozovky, jelikož tyto vrstvy nejsou tak odolné jako vrstvy obrusné.

Ztrátu hmoty z krytu lze rozdělit do různých úrovní. Ztráta tmelu je charakterizována jen povrchovou korozi, dochází k vypírání povrchu. Hloubková koroze nastává při vylamování hrubého kameniva. Výtluky se rozumí úbytek hmoty nejen v obrusných vrstvách, ale následně i v ložných a konstrukčních vrstvách.

[1]

1.2.3 Deformace

K deformaci vozovky dochází v důsledku kumulace nepružných přetvoření v asfaltových vrstvách, v nestmelených vrstvách vozovky a v podloží. K přetvořením dochází působením objemových změn v zemním tělese (včetně podloží násypu), podloží či při poruše zemního tělesa.

K trvalým deformacím krytu dochází v důsledku nepružného přetváření asfaltových vrstev při velmi vysokých teplotách (v České republice 60 °C). Aby došlo k trvalé deformaci při již zmíněné vysoké teplotě, je nutné, aby vozovka byla zatěžována. Mezi tyto druhy zatížení je zařazováno stání nebo doprava při nízké rychlosti, soustředné zatížení v jízdních stopách nebo velký počet zatížení.

Dle druhu působícího zatížení dochází k různým typům trvalé deformace krytu vozovky. Např. mohou vznikat prohlubně v místech stání vozidel. Typickým příkladem prohlubní v místech stání vozidel na vozovce jsou deformace komunikace na autobusových zastávkách. Dále lze narazit před řízenými křižovatkami na opakované prohlubně v podélném směru (roleta) přes celou šířku jízdního pruhu, které vznikají v důsledku stání vozidel. Vyjeté koleje v jízdních stopách mají svůj původ zejména v zatížení od nákladních vozidel. Příčinu nepravidelných nerovností na krytu vozovky lze dohledat v působení vodorovných sil, které vznikají při brždění, rozjíždění nebo při průjezdu vozidel oblouky.

Jiným druhem deformace je deformace snížením povrchu vozovky. Tyto deformace mohou vznikat po dohutnění podloží vrstev zemního tělesa, vozovky nebo násypu. Docházet k nim může také:

- při porušení stability zemního tělesa (např. usmýknutím),
- při opakovaných přejezdech vozidel,
- při pronikání vody do podloží propustným krytem (trhlina, špatné nebo porušené odvodnění), což vede ke ztrátě únosnosti vozovky,
- při vyplavení zemního tělesa do odvodňovacích systémů, kanalizace a chrániček kabelů.

Deformace vozovky mohou mít také formu hrbolů. Hrboly lze definovat jako lokální zvýšení povrchu vozovky. V následujících bodech je popsáno, jakým způsobem k nim dochází.

- K tvorbě nepravidelných hrbolů dochází u penetračních makadamů a nátěrů při vázání kameniva na volné pojivo, obzvláště pak při aplikaci tryskové metody na údržbu nerovností, výtluků a trhlin.
- Podélný povrchový hrbol vzniká jako důsledek opakovaných nátěrů příčné trhlina.
- V obrusné vrstvě se při vyplnění trhlin nestlačeným materiálem a následnou rozdílnou teplotní roztažností vrstev nadzdvihávají okraje vrstvy (zvláště u litých asfaltů), což je příčinou tvorby podélných hrbolů.
- V litém asfaltu na cementem stmelených podkladech mohou tlakem uzavřených par v obrusné vrstvě vznikat puchýře, ty následně tvoří hrboly.
- V konstrukci vozovky při vyplnění širokých příčných trhlin nestlačeným materiálem asfaltové vrstvy se při teplotní roztažnosti nazdvihují a obdobně jako v obrusných vrstvách následuje tvorba podélných hrbolů.
- V konstrukční vrstvě může vzniknout místní hrbol, který vzniká v důsledku lokálního přítoku vody do podkladních vrstev a následným nazdvižením vozovky mrazovým zdvihem, mrazovým zdvihem podloží apod.
- Hrboly mohou také vznikat kvůli objemovým změnám. Ve vozovkových vrstvách, násypu či podloží k nim může docházet v důsledku zvyšování objemu materiálu vrstev (např. strusky nebo úhelné hlušiny). Objemové změny v zářezích vznikají bobtnáním jílu.

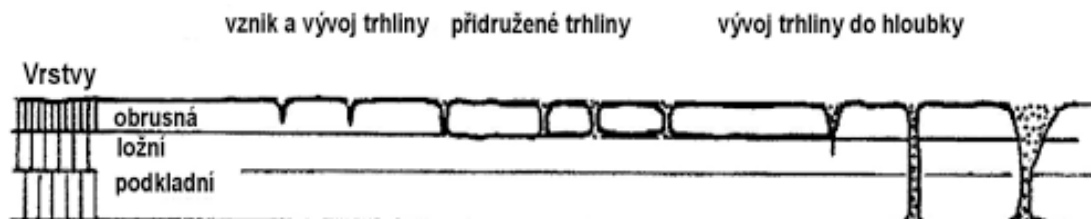
[1]

1.2.4 Trhlina

Mrazové trhlina

V asfaltu při velmi nízkých teplotách dochází ke smršťování. Při poklesu teploty pod -20 °C, při rychlém snížení teploty povrchu či při vyšší teplotě, vzniká na povrchu smršťovací trhlina, která se následně šíří a oslabuje asfaltové vrstvy. V důsledku opakovaných poklesů teplot trhlina postupuje, až dosáhne úrovně spojení obrusné vrstvy s ložní nebo podkladní vrstvou. Poté se trhlina šíří dále do hloubky nebo naruší spojení vrstev.

Na Obr. 1 lze vidět vývoj porušení vozovky příčnou trhlinou. Nejprve vzniká úzká trhlinka na určité části šířky vozovky. Poté se úzká trhlinka rozšíří přes celou šířku. Následně dochází k větvení trhliny nebo vytváření trhlinek přidružených. Trhlinka se dále prohlubuje a vznikají široké trhliny, u kterých dochází k odlamování hran. Případně se rozvíjí další přidružené trhliny.

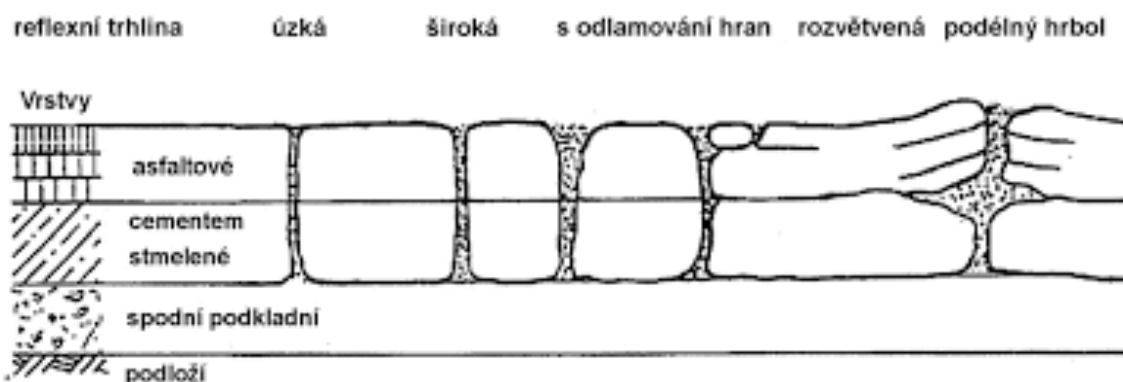


Obr. 1 Vznik a vývoj mrazových trhlin [1]

Reflexní trhliny

V rámci procesu výstavby podkladů dochází v důsledku tvrdnutí vrstvy ke smršťování podkladů stmelených hydraulickými pojivy, stejně jako u betonu. Smršťování materiálu podkladu vyvolá ve vrstvě tahové napětí. Pokud je vyšší, než je pevnost materiálu vrstvy zapříčiní vznik příčné trhliny přes celou šířku vrstvy. Čím vyšších pevností dosahuje beton nebo stmelený podklad, tím menší je následně vzdálenost mezi jednotlivými trhlinami. Jejich vzdálenost se pohybuje v rozmezí 3 až 30 m. Po vzniku smršťovací trhliny dochází vlivem teplotní roztažnosti k jejich rozevírání a uzavírání v závislosti na teplotě vrstvy. Do asfaltových vrstev spojených s tímto podkladem se přenáší pohyby zapříčiněné teplotní roztažností a trhliny postupně prorůstají až na povrch vozovky. Uzavírání a rozšiřování trhlin nadále pokračuje a vzniklými trhlinami proniká voda, také jsou zanášeny pískem a nečistotami.

Na Obr. 2 lze vypočítat jednotlivá stádia trhliny, která vznikají výše popsanými vlivy. Prvním stádiem je úzká trhlinka, postupně se rozšiřující přes celou šířku vozovky. Následně trhlinka zvětšuje svou šířku a postupně dochází k odlamování hran trhliny. Dále díky narušování spojení mezi asfaltovými vrstvami mohou vznikat podružné trhliny mozaikovitě. V důsledku vyplnění trhlin nečistotami a teplotním pohybům vrstev dochází k tvorbě hrbolů.



Obr. 2 Vývoj reflexních trhlin [1]

Nepravidelné a mozaikové trhliny

Nepravidelné a mozaikové trhliny, vznikají těmito mechanismy:

- zvýšené stárnutí asfaltu – při působení dopravního zatížení za snížené teploty dochází k vývoji nepravidelných trhlinek v průřezech, které jsou nejvíce namáhány a také v bodech jakéhokoliv oslabení vrstvy (porušené kamenivo, velké kamenivo, vyšší mezerovitost ve směsi), trhlinky tak prorůstají vrstvou zejména na okraji stopy vozidel,
- trhlinkami se do vrstvy jednodušeji dostává voda, účinkem vozidel pak pod tlakem proniká voda vrstvou, a to až na spojení vrstvy s vrstvou ložní, následuje narušení spojení,
- asfaltové vrstvy nejsou spojeny již v procesu vlastní pokládky (neproveden spojovací postřik, další vrstva byla kladena na mokrý, vlhký či znečištěný povrch apod.).

Šíření trhlinek vzniká souběžně se směrem pohybu vozidel. Trhlinky se následně prodlužují a větví, jak sledují všechna náhodná oslabení vrstvy. Následně dochází k vzájemnému spojování a zahušťování trhlinek, vznikají mozaikové trhliny jako síť trhlín o vzájemných rozestupech, které odpovídají přibližně tloušťce nespojené vrstvy. Do spojení vrstev proniká mozaikovými trhlínami voda, která je díky vlivu zatížení vytlačována (narušené části „pumpují“) a eroduje trhliny. Tento proces vede k tomu, že se trhliny dále rozšiřují a vrstva se při hranách snižuje. Tento jev podporuje tvorbu výtluků.

Vývoj mozaikových trhlín lze popsat následujícími stádii. Nejprve dochází ke vzniku krátké, téměř nepatrné nepravidelné trhlinky. Podélná nepravidelná úzká trhlina se nejčastěji tvoří vně stopy těžkých nákladních vozidel. Trhlina se dále větví do stop vozidel i mimo tuto stopu, což má za následek vznik rozvětvených trhlín. Trhlinky se spojují a dochází k tvorbě sítě trhlín. Následně se síť trhlín zahušťují a dále plošně zvětšují svou rozlohu. Nastává erodování a vylamování částí vrstvy mezi trhlínami, což vede ke vzniku výtluků mezi trhlínami.

Sítové trhliny

Sítové trhliny často vznikají dalším vývojem trhlín mozaikových. Je to typ poruchy konstrukce vozovky, jehož kompletní odstranění vyžaduje zásah do všech konstrukčních vrstev vozovky. S tím jsou spojeny také nejvyšší finanční náklady na jejich sanaci. Ke vzniku narušení spojení mezi zrnny a zárodku trhliny dochází na spodním líci asfaltových vrstev. Porušení je způsobeno opakovaným zatěžováním v místě maximálního namáhání. Vzniklá trhlina se šíří k povrchu vozovky a také do délky. Nastává zvýšené namáhání trhlínou oslabeného průřezu a dochází k vyššímu namáhání podloží. Pokud se trhlina prodere až na povrch vozovky dochází k situaci, při které se trhlínou dostává voda až do podloží. Podloží díky zvýšenému obsahu vody v důsledku rozbředání snižuje svoji únosnost. Trhliny se dále šíří a nastává jejich vzájemné spojování v síť (méně hustou nežli u mozaikových trhlín – síť odpovídá vyšší tloušťce vrstev), zejména ale dochází k trvalé deformaci zatlačováním vozovky do podloží.

Síťové trhliny se vyvíjí následovně. Na počátku vzniká podélná trhlina ve stopě vozidel, která se dále rozšiřuje, prodlužuje a větví. Dochází k tvorbě síťových trhlin a k postupné deformaci vozovky, která vede až k samotnému prolomení vozovky.

Porušení pracovních spár

K tomuto typu porušení vozovky dochází na napojení postupně pokládaných obrusných vrstev. Zde vzniká oslabení průřezu. U vrstvy prvně pokládaného pásu nelze docílit řádného zhutnění u volného okraje, protože směs uniká z pod kola hutnicího válce. Druhá vrstva se taktéž zhutňuje s obtížemi a kvůli rychlejšímu vychládání se spojované vrstvy nedokáží spojit tak dobře.

Na spoji pak dochází k poruchám ze skupiny trhlin a ztráty hmoty. K podobným poruchám dochází také na styčných plochách vysprávek. Trhliny příčné a podélné mají vývoj jako u trhlin mrazových, tedy nejprve vzniká úzká trhlina, která se postupně rozšiřuje. Následně se objevují podružné trhliny jako mozaikové trhliny a proces porušení vozovky je zakončen tvorbou výtluků. Úbytek hmoty počíná na prvně položeném pásu v místě podélné spáry a také u pásu napojeného u příčné spáry. Dochází ke ztrátě asfaltového tmelu, což má za následek hloubkovou korozi a tvorbu výtluků.

Jiné a méně časté trhliny

Existují také jiné a méně časté trhliny, kterými bude tato část popisující typy porušení vozovky uzavřena. Do této skupiny mohou být zařazeny trhliny obrusné vrstvy, které svým tvarem připomínají srp. Ty vznikají posunem nespojené obrusné vrstvy vodorovným zatížením (např. rozjíždění a brždění vozidel). Dále stojí za zmínění trhliny smykové, které lemují poruchy zemního tělesa (usmýknutím, propadem, poklesem apod.) a trhliny podélné způsobené mrazovým zdvihem středu vozovky (v případě, kdy na krajích vozovky leží sníh).

Je i mnoho dalších typů poruch, které jsou následkem různých kombinací vlivů a mechanismů porušování. Poté je nutné jeden z projevů upřednostnit a poruchu dále dle katalogu zatřídit do skupiny s náročnější opravou.

[1][3]

2 Způsoby vyztužení asfaltových směsí

Téma této bakalářské práce se sice primárně soustředí na vyztužení asfaltových vrstev pomocí vláken, avšak pro lepší pochopení problematiky vyztužování asfaltových směsí bude tato část věnována celkovému pohledu na možnosti vyztužení, přičemž detailnější pohled bude pochopitelně věnován kapitole pojednávající o vyztužení vláknou. Představeny tedy budou způsoby vyztužení jak 3D výztuží (vlákna), tak plošnou výztuží (geosyntetika). Hlavní rozdíl mezi zmíněnými způsoby vyztužování je v jejich výsledném působení nebo také ve stylu aplikování výztuh (vlákna se vmíchávají do směsi během její

výroby ve stádiu promíchávání frakcí kameniva, kdežto geosyntetika se aplikují až na staveništi mezi konstrukční vrstvy).

2.1 Plošná výztuž (geosyntetika)

Použití plošného vyztužení asfaltových vozovek může až trojnásobně prodloužit jejich životnost, protože díky vyztužení je snižována míra vzniku únavových trhlin i jejich šíření. Také dochází ke snížení vlivu tepelné roztažnosti konstrukčních vrstev a jejich deformace. V důsledku takto prodloužené doby životnosti, zmenšením únavového opotřebení a prodloužení frekvence intervalů údržby jsou náklady spojené s celou dobou životnosti vozovky nižší.

Vyztužení vozovky napomáhá přerozdělení napětí, které vzniká při jejím zatěžování. Díky vyztužným prvkům se soustředné zatížení přenáší na nezanedbatelně větší plochu asfaltového krytu. To má za následek eliminaci vzniku trhlin. Pokud již dojde ke vzniku trhliny, tak se šíří pomaleji a je užší. Díky přenesení zatížení na větší plochu se také zvětší vzdálenost mezi trhlinami.

[4]

2.1.1 Geomříže (GGR)

Geomřížemi se rozumí geosyntetický výrobek s rovinnou otevřenou strukturou, která tvoří systém vzájemně na sebe kolmých podélných a příčných žeber. Tato žebra mohou být v průřezu spojena různými způsoby (kontinuálně, svařením, lepením nebo provázáním). Obvyklá velikost otvorů geomříží se pohybuje v rozmezí mezi 10–100 milimetry. Na Obr. 3 jsou vyobrazeny jednotlivé typy geomříží dle způsobu výroby.

[5]



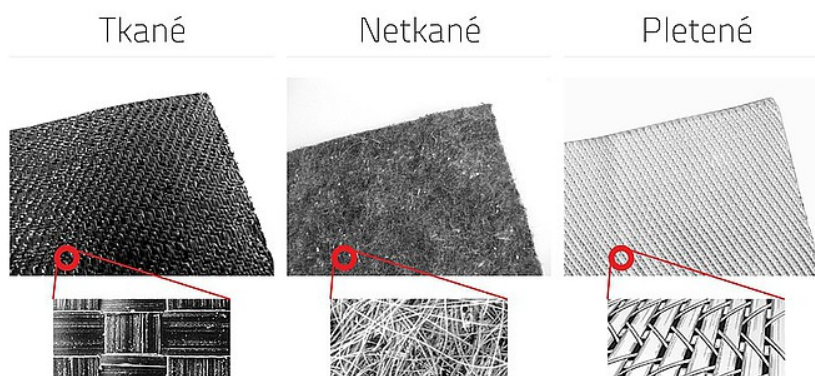
Obr. 3 Typy geomříží [5]

2.1.2 Geotextilie (GTX)

Geotextilie jsou definovány jako plošný přírodní nebo polymerní (syntetický) materiál, který z hlediska způsobu výroby může být tkaný, netkaný nebo pletený (Obr. 4). Používané jsou ve styku se zeminou nebo jinými materiály při zemních či stavebních pracích. Jsou vyráběny z polypropylenu (PP) nebo polyesteru (PES) a díky tomu nejsou napadány plísněmi a bakteriemi. Také dobře snáší alkalické (PP) i kyselé (PP, PES)

prostředí a dokáží odolávat obvyklým rozpouštědlům. Co se týče barvy, je nejčastěji černá nebo bílá. Podle funkce v konstrukci se geotextilie dělí na separační, ochranné, drenážní a výztužné, přičemž poslední zmíněný typ se používá k přenášení tahových napětí ve stavebních konstrukcích.

[6]



Obr. 4 Geotextilie dle způsobu výroby [6]

2.1.3 Geokompozity (GCO)

Geokompozit je výrobek, který kombinuje vlastnosti geomříží, geotextilií a případně i folií. Mohou zastávat funkci ochranou, drenážní i výztužnou. V běžné praxi se nejčastěji používají geokompozity s drenážní funkcí. Pro vyztužování vozovek se, jak již název napovídá, používají geokompozity s funkcí výztužnou. Ty v obvyklém případě kombinují geomříž a geotextilii. Tím se v jednom výrobku zajistí jak funkce výztužná, tak i separační a filtrační, což je v řadě případů výhodné. Mezi výztužné geokompozity se zařazují i výrobky do asfaltových vrstev.

[7]

2.2 3D vyztužení (vlákna)

Využití 3D rozptýlené výztuže je formou modifikace asfaltových směsí. Díky aplikaci vláken lze dosáhnout zlepšených vlastností konstrukce (prodloužení provozní způsobilosti). Rozptýlená výztuž má značný vliv na zvýšení tuhosti (zejména při vyšších teplotách), odolnosti proti trvalým deformacím a prodloužení životnosti. Vlákna také fungují jako nosič pojiva (SMA, BBTM, PA) a pomáhají omezit šíření trhlin. Proto je použití asfaltových směsí obohacených o různé typy vláken významné hlavně u vozovek, kde se očekávají vysoké intenzity těžkých nákladních vozidel nebo v místech, kde dochází k opakovanému zastavování a rozjíždění, resp. působení tangenciálních sil (tzn. především v oblastech křižovatek, přechodů pro chodce, ramp, stoupajících pruhů apod.).

[2][8][9]



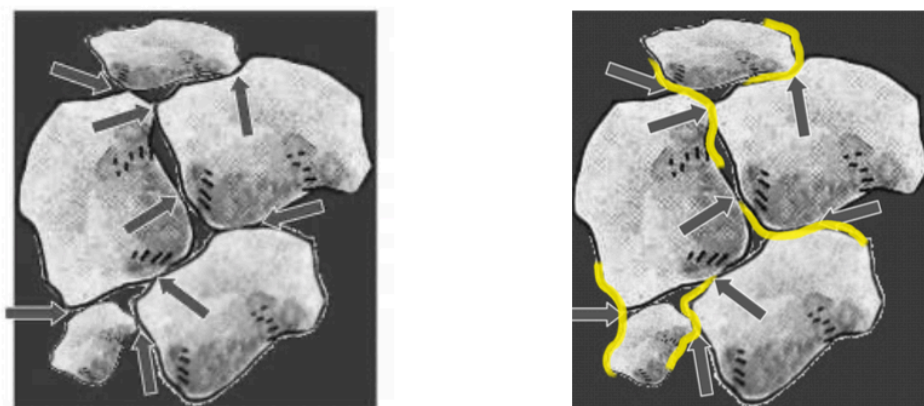
Obr. 5 Roznos sil při brždění na nevyztužené směsi [8]



Obr. 6 Roznos sil při brždění na vyztužené směsi s 3D rozptýlenou výztuží (trojrozměrné rozložení sil) [8]

Technologie založená na vyztužování asfaltových směsí vlákny má několik zásadních předností. Mezi tyto přednosti lze zařadit např. to, že se výztuž vlákny dá využít jen lokálně v dopravně nejvíce exponovaných místech (silnice, letištní VPD a další plochy, komerční a průmyslové parkovací plochy), a to i bez nutných složitých zásahů do procesu pokládky a následného hutnění asfaltové směsi. Nemusí se tedy měnit hutnicí sestava ani samotný proces hutnění. Mezi výhody lze také započíst skutečnost, že se nemusí provádět příčná spára a asfaltové vrstvy lze pokládat kontinuálně. Nevýhodou jsou pak zvýšené požadavky na logistiku na stavbě.

Při výrobě asfaltové směsi s přidáním vláken je nutno prodloužit proces míchání o cca 10 sekund. Vlákna se přisypávají do tzv. suché fáze míchání, při níž dochází k homogenizaci směsi kameniva, tedy ještě předtím, než se přidává asfaltové pojivo. V důsledku mechanických sil při míchání dojde k rovnoměrnému promíslení vláken ve směsi. Pokud se řeší případ asfaltové směsi, která není navrhována s minimálním množstvím asfaltového pojiva, není nutnost měnit složení směsi (tzv. výrobní předpis). V případě suchých směsí je obecně doporučováno zvýšit dávkování asfaltového pojiva o 0,2 % hm. z důvodu zvýšení měrného povrchu směsi.

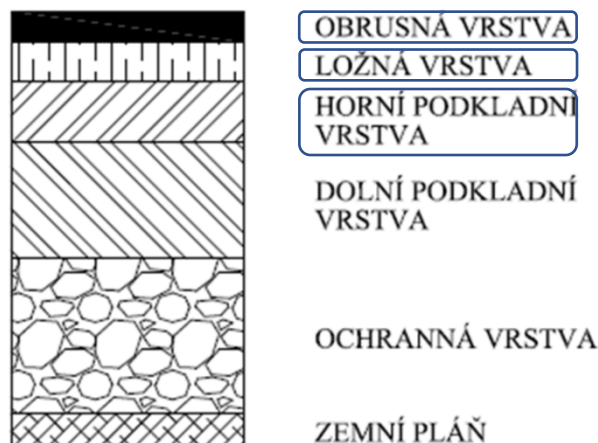


Obr. 7 Působení vláken v asfaltové směsi [2]

Rozptýlená 3D výztuž se dá použít jak v brusné vrstvě vozovky, tak ve vrstvě ložné nebo horní podkladní (Obr. 6). V brusné vrstvě dochází k lokálním poruchám jako jsou trhliny

(příčné i podélné), ztrátě mikrotextury a makrotextury, mozaikovým trhlinám, příčným a podélným deformacím a otlakům. V ložné vrstvě se po délce trasy mohou rozvíjet jak trhliny (příčné, podélné), tak příčné deformace. V horní podkladní vrstvě se v rámci trasy i lokálně mohou vyskytovat stejné poruchy, jaké byly zmíněny u ložné vrstvy. Všechny tyto typy poruch lze omezit či oddálit přidáním vláken do asfaltových směsí.

[9][2]



Obr. 8 Využití vláken v jednotlivých vrstvách vozovky [10]

2.2.1 FORTA-FI

Vlákna společnosti FORTA-FI byla aplikována do asfaltové směsi testované v rámci této bakalářské práce, proto v následující části bude FORTA-FI popsána detailněji, nežli ostatní typy 3D rozptýlené výztuže a plošné výztuže.

S možností využít syntetická, zejména aramidová vlákna (do této skupiny patří také Kevlar, který je nejznámějším zástupcem z aramidových vláken) do stavebních materiálů za účelem vyztužení přišla v roce 1978 společnost FORTA Corporation sídlící ve Spojených státech amerických. Tato společnost drží více patentů, než kterákoliv jiná společnost v odvětví a je považována za lídra ve výzkumu a vývoji syntetických vláken s úspěšnými aplikacemi do stavebních materiálů po celém světě. Dnes se aplikují směsi aramidových (Kevlar) a polyolefinových vláken. Rozdělení poměrových složek vláken závisí na teplotách, ve kterých se směs zpracovává. Používané jsou tyto tři typy směsi vláken:

- pro horké směsi, kde pracovní teploty dosahují od 121 °C do 190 °C tzv. HMA Blend (Hot Mix Asphalt),
- pro teplé směsi s pracovními teplotami od 100 °C a výše tzv. WMA Blend (Warm Mix Asphalt),
- pro všechny druhy směsí za všech pracovních podmínek tzv. PAT Blend (Hot/Cold Patch).

[8] [11]

HMA Blend
for Hot Mix Asphalt



WMA Blend
for Warm Mix Asphalt



PAT Blend
for Hot/Cold Patch



Obr. 9 Vlákna FORTA-FI [12]

Vlákna FORTA-FI® mají významný pozitivní dopad na omezení tvorby trvalých deformací. Také zabraňují vzniku a šíření teplotních a únavových trhlin. Z toho plyne prodloužená životnost asfaltových povrchů až o 50 % i v těch nejvíce náročných podmínkách. Při návrhu materiálu vozovky se tedy nabízejí možnosti, zda investor za svou prioritu považuje prvotní ekonomické náklady a chce zvýšit úspory ztenčením potřebné tloušťky asfaltu (při zachování stejných vlastností) nebo zda bude tloušťka zachována a pozornost bude věnována především prodloužení životnosti.

Shrnutí hlavních kladů a záporů asfaltové směsi se syntetickými vlákny FORTA-FI®:

Výhody	Nevýhody
Prodloužení životnosti až o 50 %.	Aplikace (personální zatížení).
Trvalé deformace omezeny až o 50 %.	Nerovnoměrné rozptýlení ve směsi.
Omezen vznik a šíření trhlin.	Vyšší prvotní ekonomické náklady.
Vlákna jsou zcela recyklovatelná.	Logistika na stavbě.
Není nutné zasahovat do způsobu výroby, pokládky či hutnění směsi.	

Tabulka 1 Výhody a nevýhody vláken FORTA-FI

[13][14]

Vlákna FORTA-FI® prošla od svého představení rozsáhlým testováním v USA (ASU), Německu (IBQ institut) i v České republice (ČVUT, EUROVIA). Výsledky získané jak z laboratoří, tak i z v reálných podmínkách prokázaly významné zlepšení vlastností a vlákna jsou proto schválena Ministerstvem dopravy ČR jako vhodný výrobek pro použití v projektech ŘSD.

Realizované stavby se nachází především v Severní Americe a Evropě. Postupně se však využití této technologie rozšiřuje po celém světě. Co se týče realizací, je třeba zmínit rekonstrukci přistávací dráhy Jackson Hole Airport (USA). Tato stavba je považována za jeden z nejvýznamnějších projektů s využitím aramidových vláken a je často společností FORTA-FI prezentována v různých marketingových materiálech. Runway má délku 1,966 km. Letiště má několik unikátních vlastností, které si vyžádaly vyztuženou

asfaltovou směs. Příkladem zdejších náročných vlivů je např. 35 tisíc letů ročně, roční sněhové srážky o výšce až 7,62 m, teploty atakující -40 °C až +40 °C atd. To jsou drsné podmínky, které vyžadovaly výborné vlastnosti použité asfaltové směsi. 5 let po aplikaci asfaltové směsi s přidanými vlákny na letištní runway byla dráha letiště překontrolována, zda nedošlo k poruchám. Výsledek kontroly potvrdil správnost užití asfaltové směsi s vlákny, protože na povrchu nebyly zjištěny žádné viditelné poruchy.

[15]



Obr. 10 Rekonstruovaná runway Jackson Hole Airport [15]

V českých podmínkách je distributorem produktů společnosti FORTA-FI firma eMZet s.r.o. Díky tomu mohlo i u nás vzniknout několik zajímavých realizací. Mezi ně patří např. užití vláken pro opravu bočních asfaltových pásů na obloucích pojezdových drah na Letišti Václava Havla nebo jejich použití na Spořilovské ulici (Praha 4), která je silně zatížena intenzitou dopravy, jelikož v současnosti představuje nejkratší spojení k dálničním komunikacím D11 a D10 na východě a severu Prahy. Z aktuálních projektů (2019) je třeba zmínit rekonstrukci ulice Evropská (Praha 6), která slouží jako hlavní spojení centra hlavního města s Letištěm Václava Havla. Denní intenzita dopravy se pohybuje okolo 41 tisíc osobních vozidel spolu s 2 tisíci nákladních vozidel a autobusů. K použití vláken bylo přistoupeno z důvodu snahy zmírnit tvorbu trhlin a vyjíždění kolejí. Očekává se zvýšení životnosti této velmi vytižené komunikace.

[16][17][18]



Obr. 11 Ulice Evropská po rekonstrukci [16]

Fyzikální vlastnosti směsi vláken FORTA-FI® jsou přehledně popsány v následující tabulce:

Materiál:	POLYPROPYLEN	ARAMID
Typ vlákna:	Fibrilované vlákno	Monofilament
Specifická váha [g/cm ³]:	0,91	1,45
Tahová pevnost [MPa]:	483	3 000
Délka [mm]:	19	19
Barva:	Béžová/černá	Žlutá
Bod tání [°C]:	157	>450

Tabulka 2 Fyzikální vlastnosti vláken FORTA-FI

Závěr této obsáhlé části věnované vláknům FORTA-FI® bude věnován tomu, jak probíhá proces dávkování. Vlákna se dávkuje obvykle v poměru 0,5 kg vláken na 1 tunu asfaltové směsi. Přidávají se do směsi v suché fázi, tedy ihned po přidání kameniva a ještě předtím, než se přidá asfaltové pojivo. Doba míchání zůstává obvykle nezměněna, protože se vlákna dobře rozmíchávají (přesto je dobré provést zkoušku pro dané složení směsi). Vlákna se prodávají v sáčcích po 0,5 kilogramech.

[13]

2.2.2 CIUR a.s. - NAMFLEX®

CIUR a.s. je česká rodinná firma o více než 200 zaměstnancích, která byla založena v roce 1991. Patří ke světové špičce v oblasti výroby celulózových vláken na bázi recyklovaného papíru. Společnost sídlí v Brandýse nad Labem, kde mají jak výrobní závod, tak logistickou základnu. Snaží se o výrobu ekologických produktů, které se dají dělit do třech hlavních směrů:

- izolace,
- průmyslová vlákna,
- TZB.

V rámci průmyslových vláken CIUR produkuje také vlákna pro silniční stavitelství. Mezi ně se řadí výztužná vlákna NAMFLEX®, která jsou vhodná jako stabilní rozptýlená výztuž do ložných i obrusných vrstev všech druhů asfaltových směsí. Doporučené dávkování vláken NAMFLEX® je 0,5 – 2 kg/t asfaltové směsi.

[19][20]



Obr. 12 Detail vláken NAMFLEX® [20]

2.2.3 ITERCHIMICA S.r.l. – ITERFIBRA

Italská společnost ITERCHIMICA S.r.l. orientující se na přísady do asfaltu byla založena v roce 1967. Její výrobky si kladou za cíl zlepšit vlastnosti asfaltových vrstev pro zvýšení bezpečnosti, udržitelnosti životního prostředí, efektivity a výkonu výsledných asfaltových směsí.

Výsledkem výzkumu prováděného v osmdesátých letech byly směsi vláken sloužící jako stabilizace asfaltového pojiva. Vyvinuté směsi v různých poměrech obsahují mikrovlákna celulózová, minerální (skelná) či syntetická (akrylátová). Směsi vláken jsou distribuovány ve formě pelet s organickým pojivem. Funkci „nosiče“ pojiva zastávají vlákna celulózová, které brání jeho stékání. Tak se docílí rovnoměrného rozložení pojiva ve směsi a zajištění požadovaných vlastností. Minerální a syntetická vlákna plní výztužnou funkci, tzn. zvyšují

odolnost a brání vzniku a šíření trhlin. Výsledný efekt 3D vyztužení asfaltové směsi směsí mikrovláken zapříčiňuje, že vrstva vozovky je schopná absorbovat vyšší deformační energii způsobenou dopravním zatížením, společně se zvýšením její životnosti a pružnosti.

[22][23]



Obr. 13 Vlákna ITERFIBRA [21]

3 Zkušební tělesa

Výroba zkušebních těles probíhala v LS akademického roku 2019/2020 na Fakultě stavební ČVUT v laboratoři katedry silničních staveb pod odborným dohledem pana Ing. Mondscheina Ph.D., za časově ztížených podmínek vlivem krize COVID19.

3.1 Materiálové složení testovaných zkušebních těles

Po dohodě s vedoucím bakalářské práce byla ke zhotovení vybrána asfaltová směs ACO 16 S, a to ve své původní variantě (ACO 16 S), ve variantě s přidanými vlákny FORTA-FI® - jednalo se o typ celožlutých vláken (ACO 16 S FI) a variantě s modifikovaným asfaltem (ACO 16 S PMB 45/80-65). Jejich vlastnosti byly stanoveny zkouškami, které jsou v této práci následně detailně popsány, vyhodnoceny a porovnány.

3.2 Výroba asfaltové směsi ACO 16 S

3.2.1 Kamenivo

Pro asfaltovou směs bylo použito kamenivo následujících frakcí:

Frakce	Lom
JMV	Velké Hydčice
0/4	Všechlapy
4/8	Všechlapy
8/11	Všechlapy
8/16	Chlum

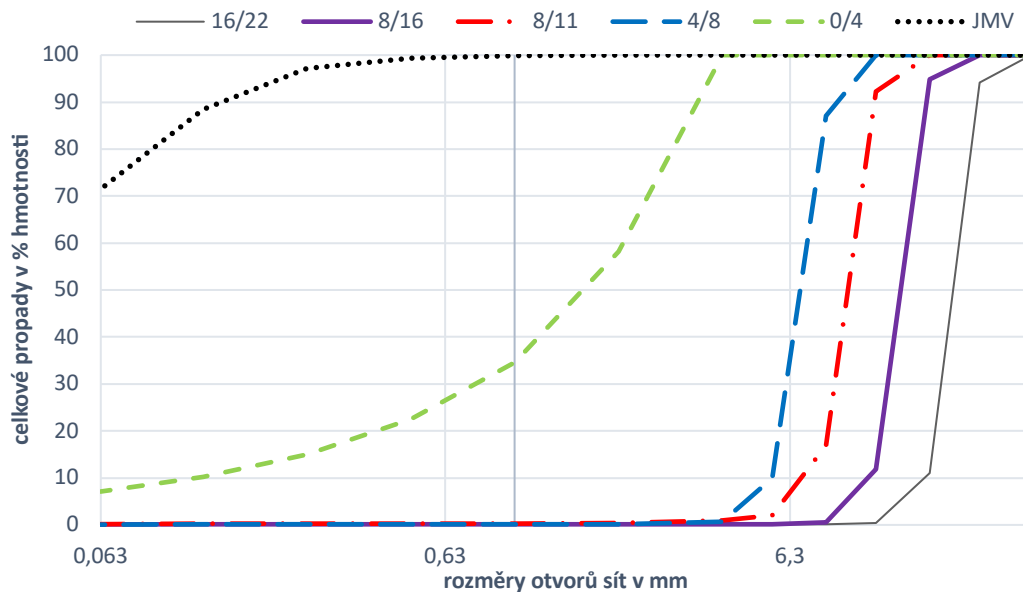
Tabulka 3 Seznam použitých frakcí kameniva

Odpovídajícími postupy byla stanovena zrnitost použitého kameniva. V následující tabulce jsou procentuálně vyjádřeny celkové zjištěné propady jednotlivými síty.

Propady %					
Síto/Frakce (mm)	8/16	8/11	4/8	0/4	JMV
31,5	100	100	100	100	100
22,4	100,00	100,00	100,00	100,00	100
16	94,79	100,00	100,00	100,00	100
11,2	11,86	92,21	100,00	100,00	100
8	0,53	16,87	87,02	100,00	100
5,6	0,19	2,10	9,93	100,00	100
4	0,19	1,00	0,73	100,00	100
2	0,18	0,35	0,16	58,16	100
1	0,17	0,27	0,11	34,63	99,9
0,5	0,17	0,26	0,10	22,49	99,4
0,25	0,15	0,25	0,09	14,98	97,2
0,125	0,13	0,22	0,07	10,21	88,4
0,063	0,11	0,16	0,06	7,11	71,5

Tabulka 4 Celkové propady kameniva síty

Grafické znázornění celkových propadů na jednotlivých frakcích:



Graf 1 Celkový propad jednotlivých frakcí kameniva

3.2.2 Pojivo

Pro výrobu nemodifikované asfaltové směsi a směsi s přidáním vlákniny bylo použito standardní pojivo – silniční asfalt 50/70. Pro směs s modifikovaným asfaltem bylo použito polymerem modifikované pojivo PmB 45/80-65 z obalovny Chvaltice. Dodavatelem a výrobcem pojiva byla firma TOTAL a.s.

3.2.3 Návrh a výběr referenční směsi

Protože finální směs by měla splňovat normou předepsané fyzikální a mechanicko-fyzikální vlastnosti, je nutné před samotným testováním požadované směsi vyrobit několik referenčních směsí, ze kterých se následně vybere ta nejvhodnější. Referenční směsi se od sebe liší procentuálním zastoupením jednotlivých frakcí kameniva a pojiva ve směsi.

Návrh referenčních směsí je následující – nejdříve je proveden tzv. teoretický návrh asfaltové směsi. Stanoví se křivka zrnitosti (v daných mezích zrnitosti) a vypočte se množství pojiva ve směsi.

Meze zrnitosti kameniva pro směs ACO 16 S – hodnoty mezí zrnitosti u jednotlivých velikostí sít odpovídají maximálnímu (mez horní) a minimálnímu (mez dolní) procentuálnímu zastoupení jednotlivých frakcí kameniva ve směsi:

Síto (mm)	Mez horní (%)	Mez spodní (%)
31,5	100	100
22,4	100	100
16	100	90
11,2	-	-
8	75	60
5,6	-	-
4	55	38
2	40	26
1	-	-
0,5	-	-
0,25	-	-
0,125	12	5
0,063	9	4

Tabulka 5 Meze zrnitosti kameniva pro směs ACO 16 S [24]

Následně se jednotlivé referenční směsi vyrobí (postup je popsán dále v této kapitole), ale s tím rozdílem, že se oproti finálně vyráběné směsi vyprodukuje jen jejich malé množství určené k provedení zkoušek. Konkrétně se jedná o zkoušky maximální objemové hmotnosti a zhuštěné objemové hmotnosti, které jsou nutné ke stanovení mezerovitosti směsi (blíže popsáno v části 4), která musí být v předepsaných mezích. Rozdílem je také míchání, které probíhá ručně (vzhledem k malému množství směsi).

Meze mezerovitosti pro směs ACO 16 S:

Minimální mezerovitost (%)	2,5
Maximální mezerovitost (%)	4,0

Tabulka 6 Min. a max. mezerovitost ACO 16 S [24]

Bylo vyrobeno celkem 5 různých referenčních směsí (RS1-RS5), přičemž u prvních třech (RS1-RS3) byla snaha se navrženou zrnitostí přiblížit ideální čáře zrnitosti směsi kameniva a rozdíl mezi nimi byl dán procentuálním zastoupením pojiva. Ideální zrnitost byla určena dle vzorce:

$$y = \left(\frac{d}{D}\right)^w$$

kde

y propad na síť d v %

d velikost síta v mm

D velikost maximálního zrna ve směsi v mm

w empiricky zjištěný koeficient 0

[25]

U čtvrté a páté (RS4, RS5) referenční směsi bylo snahou držet se křivkou zrnitosti horní, resp. dolní meze zrnitosti. Procentuální zastoupení pojiva bylo u obou těchto směsí totožné (5,5 %).

Navržené procentuální zastoupení jednotlivých složek u zmíněných referenčních směsí:

Složky:	Referenční směs (RS) (%):				
	RS1	RS2	RS3	RS4	RS5
JMV	2,84	2,84	2,83	3,78	1,89
0/4	47,40	47,25	47,10	47,25	38,75
4/8	15,17	15,12	15,07	17,01	17,01
8/11	17,06	17,01	16,96	12,29	14,18
8/16	12,32	12,29	12,25	14,18	22,68
Asfalt 50/70	5,20	5,50	5,80	5,50	5,50

Tabulka 7 % zastoupení frakcí kameniva a pojiva v návrhových směsích

Výsledné hodnoty zjištěných maximální objemových hmotností (dle kap. 4.1), zhutněných objemových hmotností (dle kap. 4.2) a z těchto hodnot dále určených mezerovitostí (dle kap. 4.3) pro jednotlivé referenční směsi jsou přehledně znázorněny v následující tabulce:

Referenční směs:	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi (Mg/m ³)	Objemová hmotnost zkušební tělesa (Mg/m ³)	Mezerovitost směsi (%)
RS1	2,465	2,322	5,8
RS2	2,497	2,345	6,1
RS3	2,524	2,348	7,0
RS4	2,622	2,331	11,1
RS5	2,635	2,360	10,4

Tabulka 8 Max. objemová hmotnost, zhutněná objemová hmotnost a mezerovitost návrhových směsí

Na základě těchto výsledků byla pro následné zkoušky vybrána směs 1, jelikož se její mezerovitost nejvíce přibližovala k požadavkům normy pro zkoušku typu.

[26]

3.2.4 Výroba finálních směsí

Asfaltovou směs je nutné připravovat při předepsané laboratorní teplotě míchání. Doba přípravy je omezena za účelem snížení teplotní degradace pojiva a také snížení mechanické degradace kameniva. V případě ACO 16 S byla použita běžná gradace pojiva 50/70, které odpovídá referenční teplota hutnění směsi 150 °C (dle ČSN EN 12697–35+A1). Maximální teplota míchání nesmí překročit referenční o více než 20 °C. Je zde snaha zvolit takovou referenční teplotu míchání, aby se směs ochladila na referenční teplotu hutnění při zahájení hutnění.

Použité vybavení:

- Laboratorní míchačka umožňující, aby nanejvýše po 5 minutách byla všechna zrna kompletně obalena; také je nutné zvolit typ míchadla, které nezpůsobí poškození zrn kameniva
- Odvětrávaná sušárna zajišťující ohřátí asfaltu a kameniva na teplotu minimálně o 20 °C vyšší, než je referenční teplota hutnění
- Přesné laboratorní váhy
- Teploměr, který umožní udržovat žádanou předepsanou laboratorní teplotu při míchání



Obr. 14 Laboratorní míchačka [27]



Obr. 15 Navážené frakce kameniva spolu s pojivem v sušárně [27]

Postup:

Nejprve je nutné se ujistit, že se kamenivo skládá z dodané směsi kameniva, které má požadovanou zrnitost nebo z frakcí kameniva, ze kterých je možné požadovanou zrnitost sestavit. V případě, že je kamenivo vlhké, vysuší se na konstantní hmotnost v odvětrávané sušárně při teplotě 110 ± 5 °C. Konstantní hmotností se rozumí, že se hmotnost zkušební navážky ve dvou po sobě jdoucích váženích neliší o více než 0,1 % hmotnosti. Navážka kameniva odpovídá hmotnosti dávky a složení asfaltové směsi, která bude vyráběna (hmotnost dávky musí odpovídat účinné kapacitě míchačky). Kamenivo i filer se naváží s přesností na 0,1 % hmotnosti. Následně se kamenivo, filer i

pojivo temperuje v sušárně na požadovanou referenční teplotu. Pojivo je do sušárny umístěno se zpožděním, aby bylo zamezeno možné degradaci, která může být způsobena příliš dlouhým zahříváním. Proces míchání začíná tím, že se komora laboratorní míchačky předejde na požadovanou laboratorní teplotu míchání ± 5 °C, následně se do předejde míchačky vloží kromě fileru všechny frakce kameniva. V případě asfaltové směsi obohacenou o 3D rozptýlenou výztuž se do míchačky v této fázi vloží i vlákna. Poté se všechny složky nasucho promíchají. Doba promíchávání je standardně 180 sekund, avšak v případě přidaných vláken se prodlužuje o 10 sekund. V dalším kroku se do promísené směsi přidá předejde pojivo (přesnost na 0,1 % hmotnosti) v množství závislém na velikosti dávky. Následuje standardní doba míchání, po které se do směsi přidává filer. Filer se do směsi přidává až nakonec, aby nezamezoval obalení zrn kameniva pojivem. Směs obohacená o filer se promíchá a po skončení cyklu se vizuálně se posoudí, zda je homogenní, pokud ano, je asfaltová směs hotová.

[28]

3.3 Hutnění zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Pro každou asfaltovou směs byla pomocí rázového zhutňovače vyhotovena Marshallova tělesa, podle normy ČSN EN 12697-30+A1. Zkušební tělesa mají tvar válce s výškou $63,5 \pm 2,5$ mm a průměrem $101,6 \pm 0,1$ mm. Pro všechny typy asfaltových směsí byly vytvořeny dvě odlišné navážky v závislosti na úrovni hutnění daného tělesa:

ACO 16 S	6 těles 2x75 úderů (1200 g) 8 těles 2x25 úderů (1100 g)
ACO 16 S FI	6 těles 2x75 úderů (1200 g) 8 těles 2x25 úderů (1100 g)
ACO 16 S PMB	6 těles 2x75 úderů (1200 g) 8 těles 2x25 úderů (1100 g)

3.3.1 Pomůcky a zařízení

- Rázový zhutňovač s ocelovou podkladní deskou
- Laboratorní sušárna
- Laboratorní váhy
- Špachtle
- Lopatka
- Zednické fanky, do kterých se naváží požadovaná hmotnost směsi pro jednotlivá zkušební tělesa
- Teploměr
- Válcové formy pro hutnění
- Podložka formy
- Nástavec
- Rukavice odolné proti vysokým teplotám
- Separační kolečka papíru

- Válcové podložky, na které se pokládá horká forma obsahující zhutněné zkušební těleso
- Lis sloužící k vytlačení hotových zkušebních těles z formy



Obr. 16 Rázový zhutňovač [27]



Obr. 17 Lis pro vytlačení těles [27]

3.3.2 Příprava před hutněním

Pro výrobu zkušebních těles byla použita asfaltová směs vyrobená v laboratorní míchačce. Čerstvě namíchaná směs se na laboratorních vahách naváží a rozdělí do jednotlivých fanek tak, aby zkušební těleso mělo po zhutnění požadovanou výšku ($63,5 \pm 2,5$ mm). Následně se navážená směs vloží do sušárny, která zajistí, aby byla směs vytemperována na požadovanou teplotu hutnění. Spolu s fankami se v sušárně na stejnou teplotu temperuje i podložka formy, forma a nástavec. Jejich předehtím se zajistí, aby asfaltová směs při procesu hutnění příliš nevychladla. Teplota směsi je zjišťována pomocí teploměru, který se vpíchne zhruba doprostřed směsi, aby se zjistilo, zda je směs kompletně prohřátá.

3.3.3 Postup hutnění

Poté, co je asfaltová směs vytemperována na požadovanou teplotu je přistoupeno k procesu hutnění. Nejprve se sestaví forma (tzn. podložka, forma, nástavec), na jejíž dno se vloží separační papír. Následně se forma naplní asfaltovou směsí z připravené fanky a pomocí špachtle se směs urovná do roviny, načež se na takto upravenou směs vloží druhé kolečko separačního papíru. V co nejkratším čase se naplněná forma vloží pod hutnicí beran a nastaví se požadovaný počet úderů. Samotné hutnění začíná spuštěním rázového zhutňovače. To musí nastat bezodkladně (naplnění formy a zhutnění tělesa musí proběhnout do 4 minut). Po doběhnutí prvního cyklu úderů se sejme nástavec, válcová forma se obrátí a vloží „dnem vzhůru“ na podložku. Poté znovu formu osadíme nástavcem a vložíme pod hutnicí beran na druhý cyklus hutnění. Po jeho skončení se zhutněné těleso ve formě odloží na válcové podložky, kde se nechá vychladnout přibližně na teplotu 40 °C, což se pozná tak, že se na tělese dá udržet ruka. Nakonec se těleso se z formy vytlačí pomocí lisu. Tento proces se opakuje pro každé následující Marshallovo těleso, dokud není vyroben požadovaný počet těles od každé směsi.

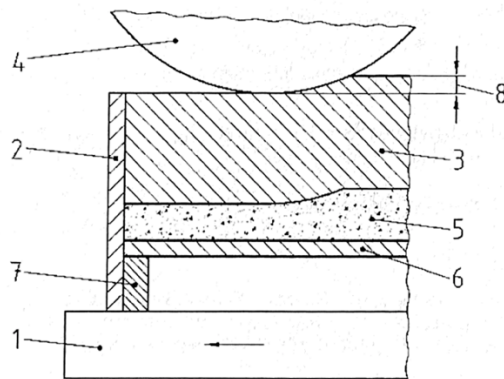
[29]

3.4 Hutnění desek lamelovým zhutňovačem

Výroba desek metodou hutnění lamelovým zhutňovačem je součástí ČSN EN 12697–33+A1. Dle této normy byla pro každou asfaltovou směs vyrobena dvě plošná zkušební tělesa, jejichž rozměry byly stanoveny tak, aby na nich mohla být provedena zkouška pojiždění kolem sloužící pro určení odolnosti směsi vůči tvorbě trvalých deformací. Rozměry desky jsou dle ČSN EN 12697-22+A1 určeny na základě typu zkušebního zařízení a maximální velikosti zrna kameniva v asfaltové směsi. Ve směsi ACO 16 S je maximální velikost zrna 16 mm, a proto byla určena tloušťka desky 60 mm. Konečné rozměry vyráběných desek byly tedy stanoveny na 320x260x60 mm.

3.4.1 Pomůcky a zařízení

- lamelový zhutňovač
- laboratorní sušárna
- rukavice
- lopatka
- špachtle
- nádoby na směs
- teploměr
- sprejový silikonový olej pro vymazání plechu
- separační plech, který se dává mezi směs a lamely



Legenda

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

Obr. 18 Detail schematického řezu lamelového zhutňovače [30]



Obr. 19 Lamelový zhutňovač [27]

3.4.2 Příprava před hutněním

Poté, co se v míchačce vyhotoví asfaltová směs, následuje její navážení do nádob. Do každé nádoby se vloží přesné množství navážky směsi na jednu desku (M), která se stanoví dle výpočtu:

$$M = 10^{-6} \times L \times l \times e \times \rho_b$$

kde

M hmotnost desky asfaltové směsi (kg)

L vnitřní délka formy (mm)

l vnitřní šířka formy (mm)

e konečná tloušťka desky (mm)

ρ_b maximální objemová hmotnost asfaltové směsi (kg/m^3)

Po navážení se nádoby s asfaltovou směsí vloží do sušárny a zde jsou temperovány na požadovanou referenční teplotu. Teplota směsi se průběžně kontroluje vpíchnutím teploměru do středu směsi. Zároveň se v sušárně přehřívá na požadovanou teplotu hutnění i forma, podkladní deska a separační plech, a to po dobu nejméně dvou hodin.

3.4.3 Postup hutnění

Po dosažení požadované teploty směsi je možné přejít k procesu hutnění. Nejdříve se forma a podkladní deska lehce postříká silikonovým olejem ve spreji a poté se do připravené formy nasype asfaltová směs. Směs se opatrně rozprostře pomocí špachtle rovnoměrným způsobem, aby nedošlo k lokálnímu přehutnění směsi. Směs se upěchuje tak, aby se vyplnily všechny rohy formy a zároveň, aby byl před zahájením samotného hutnění povrch co nejrovnější. Poté je na povrch vložen olejem ostříkaný separační plech a jsou vyskládány všechny lamely. V tomto okamžiku je vše připraveno na samotné hutnění, které probíhá následně popsáním způsobem. V prvním kroku jsou lamely vtlačeny do formy poježděním válce, a to do té míry, že přesahují cca o 2,5 mm nad horní hranu formy. Dochází zde k nejvýznamnějšímu zhutnění. Následně se odměří osmiminutová pauza. V druhém kroku jsou lamely válcem zcela zatlačeny. Díky tomu je v této fázi dosaženo takřka stoprocentního zhutnění. Zmíněné zatlačení lamel lze popsat jako stav, při kterém je horní hrana formy ve stejné výšce jako horní hrana lamel. Po tomto zatlačení znovu následuje přestávka 8 minut stejně jako v prvním kroku. Proces hutnění je zakončen třetím krokem, při kterém je povrch desky vyhlazen díky 15 pojezdům hutnicího válce. Poté se hotové těleso může vyjmout z formy. Těleso se spolu s podkladní deskou nechá vychladnout a je označeno pro snadnou identifikaci.

[30]

4 Zkoušky provedené na zkušebních tělesech

4.1 Maximální objemová hmotnost

Stanovení maximální objemové hmotnosti bylo provedeno na základě normy ČSN EN 12697-5, která uvádí tři různé možnosti, jak stanovit maximální objemovou hmotnost – postup volumetrický, hydrostatický nebo matematický. Zmíněné zkušební metody jsou vhodné pro nezhotovené asfaltové směsi obsahující silniční asfalty, modifikované asfalty nebo jiná asfaltová pojiva používaná pro asfaltové směsi, které jsou vyráběny za horka.

Proveden byl postup volumetrický, ke kterému byly použity následující **zkušební pomůcky**:

- Sušárna s nucenou ventilací
- Špachtle určená k uvolňování a oddělování vzorků
- Laboratorní váhy
- Teploměr (přesnost měření min na 0,1 °C)
- Pyknometr s těsně přiléhajícím nástavcem
- Vývěva s manometrem (umožňující vytěsnění vzduchu z pyknometru na tlak 4 kPa či méně)



Obr. 20 Zařízení sloužící k odsání vzduchu z pyknometru [27]



Obr. 21 Rozdělený asfaltový vzorek [27]

Postup zkoušky:

Vzorek asfaltové směsi se nechá v sušárně vysušit až do konstantní hmotnosti při teplotě, která nepřevyšuje 110 ± 5 °C. Následně se vzorky rozdělí. Samotné dělení spočívá v tom, že se vzorek musí rozdrobit a rozdělit na hrubé částice a shluky. Maximální rozměr shluku nesmí být větší než 6 mm. Poté se zváží prázdný pyknometr s nástavcem (m_1) o známém objemu (V_p). Další vážení (m_2) proběhne poté, co se vysušený zkušební vzorek umístí do pyknometru s nástavcem a je temperován na okolní teplotu. V dalším kroku se pyknometr se zkušebním vzorkem naplní destilovanou vodou do výšky maximálně 30 milimetrů pod okraj. Vhodným nástrojem se pak vzorek v pyknometru promíchá, aby bylo dosaženo alespoň částečného uvolnění vzduchových bublin. Vzduch, který je v nádobě i po promíchání nadále přítomný se odstraňuje použitím částečného vakua, které má zbytkový tlak 4 kPa nebo méně, po dobu (15 ± 1) min. Po odstranění bublin se na pyknometr nasadí nástavec a po referenční značku nástavce se dolije destilovaná voda tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu. Nakonec se provede poslední třetí vážení – pyknometr + nástavec + odvzdušněný zkušební vzorek + destilovaná voda (m_3).

Výpočet:

Výpočet maximální objemové hmotnosti (ρ_{mv}) dle volumetrického postupu se počítá s přesností na 0,001 Mg/m³ dle rovnice:

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

kde

ρ_{mv} maximální objemová hmotnost stanovená volumetrickým postupem v megagramech na kubický metr (Mg/m³) s přesností 0,001 Mg/m³

m_1 hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny v gramech (g)

m_2 hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a zkušebního vzorku v gramech (g)

m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, zkušebního vzorku a destilované vody v gramech (g)

V_p objem pyknometru při jeho naplnění po referenční značku nástavce, metrech kubických (m³)

ρ_w hustota destilované vody při zkušební teplotě v megagramech na kubický metr (Mg/m³) s přesností 0,001 Mg/m³ dle následujícího vzorce:

$$\rho_w = 1,000\ 25205 + \left(\frac{7,59 \times t - 5,32 \times t^2}{10^6} \right)$$

kde

ρ_w hustota vody v megagramech na kubický metr (Mg/m³)

t teplota vody ve stupních Celsia (°C)

[31]

4.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost zhutněného neporušeného asfaltového zkušební tělesa se stanovuje z objemu a hmotnosti zkušební tělesa. Existují následující postupy:

1. Objemová hmotnost – suchá
2. Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)
3. Objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso
4. Objemová hmotnost dle rozměrů

Pro určení objemové hmotnosti zkušebních vzorků vyrobených pro potřebu této bakalářské práce byly stanoveno tyto postupy: „nasycený suchý povrch (SSD)“ a „podle rozměrů“.

4.2.1 Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)

Podstatou této zkoušky jsou dle ČSN EN 12697-6 rozdílné hmotnosti zkušebních těles – nejprve suchého na vzduchu, poté ve vodě, a nakonec nasyceného vodou s povrchovým osušením a znovu zváženého na vzduchu.

Zkušební pomůcky:

- Váhy s váživostí, která bude dostatečná pro vážení zkušební tělesa na vzduchu i ve vodě (např. s pomocí drátěného koše) s přesností minimálně $\pm 0,1$ g
- Vodní lázeň, která udržuje stejnou teplotu s přesností min. ± 1 °C a její objem přesahuje trojnásobně objem zkušebních těles
- Teploměr
- Vlhká jelenice, která slouží k povrchovému osušení a otření zkušební tělesa



Obr. 22 Tělesa sytící se vodou [27]

Postup zkoušky:

Je nutné dbát na to, aby všechny naměřené hmotnosti byly uvedeny v gramech s přesností na 0,1 g. Nejprve se určí hmotnost suchého tělesa (m_1). Dále se stanoví hustota vody při zkušební teplotě s přesností na 0,000 1 Mg/m³. Poté následuje krok, ve kterém se zkušební těleso ponoří do vodní lázně, která je udržována při známé zkušební teplotě. Těleso se ponoří do vody na dostatečně dlouhou dobu (obecně se doporučuje doba v rozmezí 30 minut až 3 hodin), aby se jeho nasycená hmotnost mohla ustálit na konstantní hodnotě. Po době ponoření nutné pro nasycení se stanoví jeho hmotnost (m_2). Je nutné při tom dbát na to, aby na tělese při vážení neulpívaly nebo z něj nevycházely žádné vzduchové bubliny. Následně se těleso vyjme a povrchově osuší (odstraní se kapky z povrchu) otřením vlhkou jelenicí. Ihned poté se provede poslední měření, kde se určí hmotnost osušeného tělesa nasyceného vodou na vzduchu (m_3).

Výpočet:

Objemová hmotnost SSD zkušebního tělesa (ρ_{bssd}) se počítá s přesností na 0,001 Mg/m³ dle následujícího vzorce:

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

kde

ρ_{bssd} objemová hmotnost SSD v megagramech na kubický metr (Mg/m³)

m_1 hmotnost suchého zkušebního tělesa v gramech (g)

m_2 hmotnost zkušebního tělesa ve vodě v gramech (g)

m_3 hmotnost povrchově osušeného zkušebního tělesa nasyceného vodou v gramech (g)

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě v megagramech na kubický metr (Mg/m³)

Tento postup je vhodný, pokud se zjišťuje objemová hmotnost zkušebních těles asfaltové směsi s uzavřenou zrnitostí, mající nízkou nasákavost či pomalý odvod absorbované vody. K nasycenému a povrchově osušenému tělesu je nutné přistupovat s výjimečnou pečlivostí, protože nadměrný film vody na povrchu by vedl k menším hodnotám objemové hmotnosti. Kvůli tomu by došlo k nadhodnocení objemu mezer a k podhodnocení množství mezer vyplněných pojivem ve zkušebním tělese. Na druhou stranu by ale přílišné odstranění vody z povrchu tělesa vedlo k nadhodnocení objemové hmotnosti, respektive k podhodnocení mezerovitosti.

4.2.2 Objemová hmotnost – dle rozměrů

Podstatou zkoušky je stanovení objemové hmotnosti zkušební tělesa pravoúhlého tvaru či tvaru válce z jeho hmotnosti na vzduchu a objemu.

Zkušební pomůcky:

- Posuvné měřítko pro měření rozměrů zkušební tělesa s přesností měření alespoň $\pm 0,1$ mm
- laboratorní váhy

Postup zkoušky:

Každé z měření musí být stanoveno v jednotkách milimetrů s přesností 0,1 mm. Postup je prostý – nejprve se stanoví rozměry tělesa v milimetrech podle normy EN 12697-29 a následně se zkušební těleso zváží, čímž se vyzíská hmotnost suchého tělesa (m_1).

Výpočet:

Pro zkušební vzorek ve **tvaru válce** se objemová hmotnost ($\rho_{b,dim}$) vypočte s přesností na 0,001 Mg/m³ vzorcem:

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

kde

$\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v megagramech na kubický metr (Mg/m³)

m_1 hmotnost suchého zkušební tělesa v gramech (g)

h výška zkušební tělesa v milimetrech (mm)

d průměr zkušební tělesa v milimetrech (mm)

Pro zkušební vzorek s **pravoúhlým tvarem** se objemová hmotnost ($\rho_{b,dim}$) vypočte s přesností na 0,001 Mg/m³ vzorcem:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{h \times l \times w} \times 10^3$$

kde

$\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v megagramech na kubický metr (Mg/m³)

m_1 hmotnost suchého zkušební tělesa v gramech (g)

h výška zkušební tělesa v milimetrech (mm)

l délka zkušební tělesa v milimetrech (mm)

w šířka zkušební tělesa v milimetrech (mm)

Stanovení objemové hmotnosti dle rozměrů je vhodné použít pro asfaltová zkušební tělesa, u kterých se nebere ohled na jejich mezerovitost. Je nutné, aby zkušební tělesa měla pravidelný povrch a celkový geometrický tvar umožňoval měření rozměrů. Tento postup je vhodné použít pro měření mezerovitosti, která je vyšší než 15 % objemu. Podstatné je mít na paměti fakt, že při tomto postupu jsou mezery v textuře povrchu považovány za součást vnitřních mezer tělesa. To následně vede k podhodnocení objemové hmotnosti či nadhodnocení mezerovitosti. Tyto údaje jsou důležité zejména při zkoušení laboratorně připravovaných vzorků.

[32]

4.3 Mezerovitost

Výpočet mezerovitosti asfaltového zkušební tělesa vychází ze zkoušek stanovení zhutněné objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti. Celkový popis stanovení hodnoty mezerovitosti je uveden v ČSN EN 12697-8.

Výpočet:

Výpočet mezerovitosti se uvádí s přesností na 0,1 % následně popsáním vzorcem:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100\%$$

kde

V_m mezerovitost směsi s přesností 0,1 %

ρ_m maximální objemová hmotnost směsi v kg/m³

ρ_b objemová hmotnost zkušební tělesa v kg/m³

[33]

4.4 Pevnost v příčném tahu

Pevnost v příčném tahu se stanovuje na základě normy ČSN EN 12697-23 a vyjadřuje maximální tahové napětí vypočtené z maximálního zatížení, jehož účinky měly vliv na porušení zkoušeného tělesa i jeho rozměrů.

Zkušební vzorek válcovitého tvaru – Marshallovo těleso je vloženo do zatěžovacího lisu. Lis těleso zatěžuje za konstantní rychlosti podél středové osy až do okamžiku porušení vzorku.

Zkušební pomůcky:

- Zkušební lis (při konstantní rychlosti zatěžování 50 ± 2 mm/min je schopný vyprodukovat sílu min. 28 kN)
- Měřicí zařízení, které dokáže stanovit zatížení s přesností $\pm 0,2$ kN
- Chladicí zařízení, s jehož pomocí se zkušební tělesa vytemperují na zvolenou zkušební teplotu
- Tlačné čelisti se zatěžovacími pásy – šířka pásů je 12,7 mm a délka se musí rovnat minimálně výšce zkušební tělesa
- Digitální posuvné měřítko – přesnost na $\pm 0,01$ mm



Obr. 23 Zkušební lis [27]

Postup zkoušky:

Válcová zkušební tělesa s průměrem 100 ± 3 milimetry, které byly hutněny 2x25 úderů se nechají na vzduchu při teplotě 20 ± 5 °C. Od každé asfaltové směsi musí být vyhotovena nejméně 3 zkušební tělesa. Před započítáním samotné zkoušky se tělesa k otestování umístí do klimatizovaného prostoru s nastavitelnou teplotou. Tam se nechají temperovat na požadovanou zkušební teplotu, která byla dle normy ČSN EN 12697-23 stanovena na 15 °C. V místnosti, kde bude zkouška prováděna se teplota pohybuje v rozmezí 15 až 25 °C. Po tomto kroku se těleso umístí na zatěžovací pásy tím způsobem, aby byl průměr tělesa zatěžován tlakem. Následně se začne se stlačováním

tělesa při rychlosti 50 ± 2 mm/min až do dosažení maximálního zatížení. Tato hodnota se zaznamená společně s hodnotou deformace v době maximálního zatížení. Je nutné dbát na to, aby zkouška byla dokončena nejdéle 2 minuty poté, co bylo těleso vyjmuto z místa temperace. Výše zmíněný postup se dále znovu opakuje a konečná pevnost se vypočte jako aritmetický průměr z naměřených hodnot (minimálně ze 3 vzorků).

Výpočet:

Výpočet pevnosti v příčném tahu ITS se pro každé těleso určí dle následujícího vzorce:

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

kde

ITS pevnost v příčném tahu (MPa), která se zaokrouhluje na 3 platné číslice

P maximální zatížení (N), které se zaokrouhluje na celé číslo

D průměr zkušební tělesa (mm) s přesností na 1 desetinné místo

H průměrná výška zkušební tělesa (mm) s přesností na 1 desetinné místo

[34]

4.5 Odolnost vůči vodě

Popis zkoušky, kterou se stanoví odolnost vůči vodě je součástí normy ČSN EN 12697-12. Tato zkouška byla provedena na Marshallových tělesech. Průběh zkoušky je následující – nejprve se tělesa rozdělí do dvou skupin. Na první skupině těles se provede zkouška pevnosti v příčném tahu (ČSN EN 12697-23). Tělesa druhé skupiny se ponoří do vodní lázně, která má zvýšenou teplotu (40 °C). Zde se temperují po dobu 68-72 hodin. Následně se vloží do jiné vodní lázně a zde se temperují tak, aby měly totožnou teplotu jako první skupina. Následně se ozkouší na pevnost v příčném tahu. Poté se vypočte poměr naměřených pevností – hodnoty získané u skupiny těles temperované ve vodní lázni ku hodnotám získaným u skupiny udržovaných na vzduchu. Vypočtený poměr se vyjádří procenty.

Zkušební pomůcky:

- vodní lázeň s termostatickou regulací, která je schopna držet teplotu temperace 40 ± 1 °C
- manometr (vakuový systém), který dokáže snížit tlak vakuové komory k hodnotě $6,7 \pm 0,3$ kPa, a to po dobu 10 ± 1 min a současně udrží žádané vakuum po dobu 30 ± 5 min
- digitální posuvné měřítko, jehož přesnost měření je $\pm 0,01$ mm

- zkušební lis, tlačná čelist, termostaticky regulovaný prostor pro temperaci těles spolu s dalším vybavením potřebným pro provedení zkoušky pevnosti v příčném tahu (ČSN EN 12697-23)



Obr. 24 Tělesa temperující se po dobu 68-72 hodin [27]

Postup zkoušky:

Zkouška byla provedena na Marshallových tělesech stejného stáří (o průměru 100 ± 3 mm) hutněnými 2x25 úderů pěstí. V prvním kroku se zkušební tělesa rozdělí do dvou skupin. První skupina se temperuje na vzduchu na teplotu $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a následně je otestována na pevnost v příčném tahu (ČSN EN 12697-23). Druhá skupina těles se položí na perforovanou podložku ve vakuové komoře, která je naplněná destilovanou vodou (teploty $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$). Zde se v průběhu 10 ± 1 min vytvoří absolutní tlak $6,7 \pm 0,3$ kPa. Dále se tlak postupně snižuje na požadovanou hodnotu, ale je nutné dbát na to, aby jeho snížení nebylo skokové, protože by mohlo dojít k poškození těles rozpínajícím se vzduchem. Po dobu 30 ± 5 min se ve vakuové komoře udržuje tlak na požadované hodnotě, poté se tělesa vyndají a ponoří na dobu 68 až 72 hodin do vodní lázně, která má teplotu $40 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. V dalším kroku se tělesa z vodní lázně vyndají a nechají se pozvolna vychladnout při laboratorní teplotě. Poté se znovu vloží do vodní lázně s řízenou teplotou a temperují se na teplotu $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (stejná teplota jako u první skupiny, avšak s rozdílem teploty ve vodě). Následně se tělesa otestují na pevnost v příčném tahu (ČSN EN 12697-23), přičemž zkouška každého tělesa musí být provedena do minuty, od chvíle, kdy bylo zkušební těleso vyjmuté z vodní lázně.

Výpočet:

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

kde

$ITSR$ poměr pevností v příčném tahu (%)

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu – skupina mokrých zkušebních těles (kPa)

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu – skupina suchých zkušebních těles (kPa)

[35]

4.6 Modul tuhosti

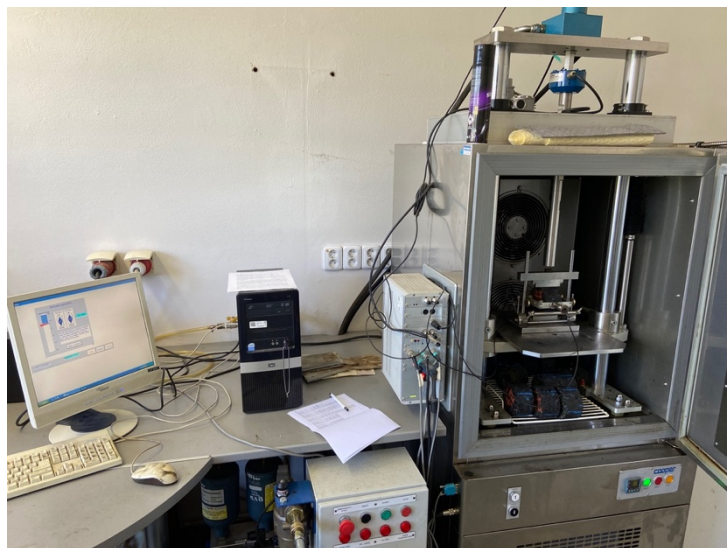
Metody stanovení modulu tuhosti asfaltové směsi jsou popsány v normě ČSN EN 12697-26. Tyto zkoušky jsou prováděny na zhutněném asfaltovém materiálu, a to při harmonickém zatížení. Zjištěný modul tuhosti se u asfaltových směsí užívá jako vodítko, které dokáže přiblížit chování směsi ve vozovce, což dále vede k určování odhadu pojednávajícím o chování celé konstrukce vozovky a k posouzení výsledných hodnot zkoušky s požadavky výrobních norem. Konkrétní výběr zkušebních podmínek závisí na pracovním rozsahu použitého zařízení a možnostech, jelikož norma nepředepisuje užití specifického typu zkušebního zařízení. Norma rozlišuje několik zkušebních metod dle namáhání zkušebního tělesa:

1. zkoušky ohybem:
 - 1.1. dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu (2PB-TR)
 - 1.2. dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého trámečku (2PB-PR)
 - 1.3. tříbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku (3PB-PR)
 - 1.4. čtyřbodový ohyb na tělesech tvaru trámečku (4PB-PR)
2. zkoušky v příčném tahu:
 - 2.1. zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT-CY)
 - 2.2. zkouška cyklickým namáháním v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (CIT-CY)
3. zkoušky jednoosým tahem a tlakem:
 - 3.1. zkouška jednoosým tahem a tlakem na válcových zkušebních tělesech (DTC-CY)
 - 3.2. zkouška v přímém tahu na válcových zkušebních tělesech (DT-CY)
 - 3.3. zkouška v přímém tahu na tělesech tvaru trámečku (DT-PR)

Pro tělesa zkoušená v rámci této bakalářské práce (Marshallova tělesa hutněná 2x75 úderů) byla vybrána nedestruktivní zkušební metoda: Zkouška v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (IT-CY), která byla provedena při teplotách 0, 15, 27 a 40 °C. Při této zkoušce dochází k zatěžování zkušebního tělesa, a to svislým tlakovým napětím. Vypůsobené napětí je přenášeno v rovině svislého průmětu tělesa, což vede k tvorbě namáhání v příčném tahu, které je situováno kolmo ke středu zatížení. Zmíněné namáhání způsobí vodorovnou deformaci, která se v rámci zkoušky měří pomocí dvou sond. Požadovaný modul tuhosti je stanoven z hodnot vstupních parametrů, kterými jsou rozměry tělesa a Poissonovo číslo, spolu s hodnotami příčné deformace a zatěžovací síly.

Zkušební pomůcky:

- zatěžovací rám z oceli
- dvojice zatěžovacích čelistí
 - konkávně zakřivené po celé šířce zkoušeného tělesa
 - hloubkové a šířkové zaoblení má závislost na průměru tělesa
 - aby se zamezilo štípání tělesa, musí být hrany zatěžovacích čelistí zaobleny
- budič síly v rámci zatěžovacího zařízení
 - zatížení je na těleso vyvinuto zatěžovacími čelistmi
 - zatěžování tělesa probíhá pulzy (stanovená doba náběhu 124 ± 4 ms, perioda opakování pulzů $3,0 \pm 0,1$ s a špičková hodnota zatížení vyhovující požadované horizontální deformaci)
- pevný rámeček s dvojicí snímačů posunu a šrouby, kterými se rámeček upne při zkoušce k tělesu
- snímač síly měřící s přesností 2 %
- podpěra pevného rámečku s možností nastavení pro umístění snímačů měřících posun vůči tělesu
- zařízení záznamu ukládající naměřené hodnoty ze snímačů
- termostatická komora s nuceným oběhem vzduchu, díky které je možné konstantně udržovat zkušební teplotu v blízkosti těles
- PC, které zpracovává získané hodnoty
- chladič zařízení pro temperaci tělesa na požadovanou teplotu
- sušárna pro temperaci tělesa na požadovanou teplotu



Obr. 25 Zařízení pro měření modulu tuhosti [27]

Postup zkoušky:

Při výpočtu tuhosti byly použity rozměry zkušebních těles, které byly naměřené v rámci zkoušky stanovení suché zhutněné objemové hmotnosti. Nejdříve byla po sobě tělesa vytemperována na požadované teploty, při kterých následně probíhalo zkoušení.

Teploty temperace byly 0, 15, 27 a 40 °C, přičemž tělesa musela v chladícím zařízení či sušárně (podle žádané teploty) zůstat po dobu minimálně 4 hodin. Následně se těleso s požadovanou teplotou vyjmullo z temperačního zařízení a instalovalo do polohy, při které bude probíhat zkouška. Prostřednictvím nastavovací podpěry se osadí pevným rámečkem a jsou na něj instalovány snímače posunu (LDVT sondy). Poté je nutné zkalibrovat zařízení, čehož je dosaženo díky desítce kontrolních pulzů, kterými je těleso zatíženo. Kalibrační proces zajišťuje volbu správné doby pulzu a velikosti zatížení, aby bylo dosaženo předem definované horizontální deformace. Pro tělesa s průměrem 100 ± 3 mm temperovaná na teplotu vyšší než 0 °C je ze zkušenosti vhodné zvolit horizontální deformaci 5 ± 2 μm, pro temperaci 0 °C 3 ± 1 μm. V dalším kroku je těleso zatíženo pěti pulsy, přičemž při každém jednotlivém pulzu je zaznamenána amplituda horizontální deformace, velikost svislého zatížení a kompletní průběh zatěžování, který slouží pro určení součinitele plochy zatížení. Součinitel plochy zatížení je veličina, která charakterizuje poměr plochy pod křivkou vymezenou startem zatěžovacího pulsu a špičkovou hodnotou zatížení k součinu doby náběhu a maximálního zatížení. Zmíněné naměřené hodnoty a hodnoty zadané do přístroje jsou podkladem pro stanovení modulu tuhosti, a to pro každý zatěžovací pulz. Tento modul tuhosti je následně upraven součinitelem plochy zatížení (0,6). Modul tuhosti je aritmetickým průměrem modulů tuhosti (spočtených předchozími výpočty) ze zmíněné pětice zatěžovacích cyklů. Popsané výpočty jsou prováděny osobním počítačem a zkušební sestavou. PC dokáže automaticky vypsát výstupní hodnoty do textového souboru. Následuje krok, při kterém se těleso ve zkušebním zařízení pootočí (podle horizontální osy) o $90 \pm 10^\circ$ a totožně se, dle předchozích kroků ozkouší. Když se průměrná změřená hodnota modulu tuhosti tělesa pohybuje v hranici od +10 % do -20 % průměrné hodnoty z předchozího měření modulu tuhosti na stejném tělese, je možné stanovit výsledný modul tuhosti, který je průměrem z těchto dvou zkoušek.

Výpočet:

Modul tuhosti se stanoví dle vzorce:

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

kde

E naměřený modul tuhosti (MPa)

F nejvyšší hodnota svislého zatížení (N)

v Poissonovo číslo, které je závislé na zkušební teplotě

z amplituda horizontální deformace při zatěžovacím cyklu (mm)

h průměrná tloušťka tělesa (mm)

Předchozí modul tuhosti se upravuje součinitelem plochy (0,6) následujícím vztahem:

$$E' = E \times (1 - 0,322 \times (\log(S_m) - 1,82) \times (0,6 - k))$$

kde

E' modul tuhosti upravený na součinitel plochy zatížení (MPa)

E naměřený modul tuhosti při součiniteli zatížení k , s uvedením teploty (°C)

k naměřený součinitel plochy zatížení (-)

[36]

4.7 Odolnost vůči šíření trhlin

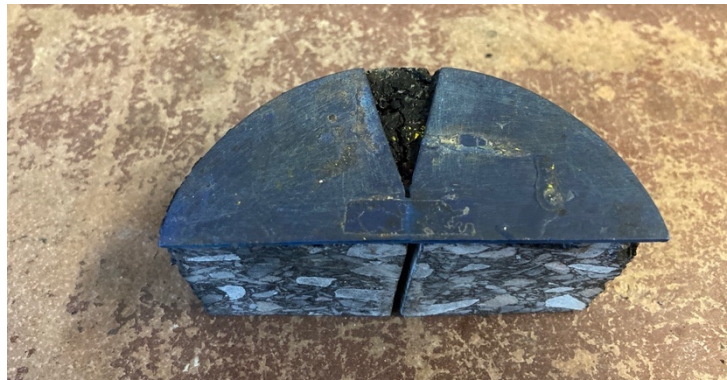
Určení odolnosti vůči šíření trhlin bylo provedeno dle normy ČSN EN 12697-44. Podstata zkoušky je následující. Půlválcové zkušební těleso s trhlinou uprostřed je zatěžováno ohybem ve třech bodech s cílem dosáhnout tahového napětí ve středu spodního líce tělesa. Deformace v průběhu zkoušky se zvyšuje při konstantní rychlosti 5 mm/min. Odpovídající zatížení se navyšuje až na maximální hodnotu F_{max} . Tato hodnota má přímý vztah s odolností tělesa vůči lomu.

Zkušební pomůcky:

- zkušební zařízení s rozsahem min 50 kN, kterým je udržována konstantní rychlost posunu $5,0 \pm 0,2$ mm/min
- zařízení schopné rozříznout Marshallova tělesa na dvě půlky, zmenšit jejich výšky na $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ a vyříznout do nich drážku (hloubka $10 \pm 1 \text{ mm}$, šířka $0,35 \pm 0,1 \text{ mm}$)
- destička s výsečí sloužící pro určení platnosti provedené zkoušky kontrolou umístění trhliny
- posuvné měřítko pro změření těles (přesnost na $\pm 0,1 \text{ mm}$)
- siloměr nebo jiný snímač pro měření síly, který umožní měření zatížení na $\pm 0,2 \text{ kN}$
- zkušební rám, který byl v tomto případě upravený pro rozměry zkušebních těles s průměrem $100 \pm 3 \text{ mm}$
- chladící zařízení zajišťující vytemperování těles na požadovanou teplotu



Obr. 26 Zkušební zařízení



Obr. 27 Trhlina ve výseči

Postup zkoušky:

Nejprve byla tělesa seříznuta na řezacím zařízení do požadovaných rozměrů (rozpůlení, nová výška 50 ± 3 mm, vytvoření drážky). Jednalo se o Marshallova tělesa hutněná 2x75 údery. Následně byla takto upravená zkušební tělesa umístěna do chladicího zařízení, kde se nechala vytemperovat na požadované zkušební teploty (0 a -10 °C). Poté byla tělesa instalována do zkušebního zařízení, na kterém bylo dále spuštěno samotné zatěžování. To za konstantní rychlosti ($5,0 \pm 0,2$ mm/min) působí na těleso až do momentu dosažení maximální síly. Hodnota této síly (kN) se zaznamená spolu s velikostí svislé deformace (mm). Proces samotného zkoušení by neměl trvat déle než 1 minutu. V dalším kroku je nutné určit, zda je výsledek zkoušky platný či nikoli. To se zjistí pomocí destičky s výsečí. V případě, že se celá trhлина nachází ve výseči, je zkouška platná a naměřené hodnoty síly a deformace mohou být započítány do vyhodnocení, v opačném případě je výsledek neplatný.

Výpočet:

Přetvoření při maximální síle, které je určováno pro každé těleso dle vzorce:

$$\varepsilon_{max,i} = \frac{\Delta W_i}{W_i} \times 100$$

kde

ε_{max} přetvoření zkušební tělesa i (%)

ΔW_i svislý posun zkušební tělesa i při max. síle (mm)

W_i výška zkušební tělesa i (mm)

Maximální napětí při porušení pro každé těleso dle vzorce:

$$\sigma_{max,i} = \frac{F_{max,i}}{D_i \times t_i}$$

kde

$\sigma_{max,i}$ maximální napětí zkušební tělesa i (N/mm²)

$F_{max,i}$ maximální síla zkušební tělesa i (N)

D_i průměr zkušební tělesa i (mm)

t_i tloušťka zkušební tělesa i (mm)

Odolnost vůči lomu pro každé zkušební těleso vzorcem:

$$K_{lc,i} = \sigma_{max,i} \times Y_1 \times \sqrt{\pi \times a_i}$$

kde

$K_{lc,i}$ odolnost vůči lomu zkušební tělesa i (N/mm^{1,5})

$\sigma_{max,i}$ maximální napětí zkušební tělesa i (N/mm²)

Y_1 faktor intenzity napětí při standardním režimu

$$Y_1 = 4,782 - 1,219 \left(\frac{a_i}{r_i} \right) + 0,063 \exp \left(7,045 \left(\frac{a_i}{r_i} \right) \right)$$

r_i poloměr zkušební tělesa (mm)

a_i hloubka drážky zkušební tělesa i (mm)

Odolnost vůči lomu požadovaného typu asfaltové směsi se vypočítá jako aritmetický průměr platných výsledků odolností vůči lomu.

[37]

4.8 Odolnost vůči vzniku trvalých deformací

Norma ČSN 12697-22+A1 (Zkouška pojíždění kolem) podává přehled o tom jaké zkušební postupy se mohou použít pro určení náchylnosti asfaltové směsi k trvalé deformaci pod účinkem zatížení při stálé teplotě. V rámci této bakalářské práce byla stanovena odolnost vůči vzniku trvalých deformací na zkušebních tělesech tvaru desek, jejichž výroba byla již dříve popsána. Zkušební metodu obsaženou ve zmíněné normě lze použít jen na směsi, u kterých se velikost maximálního zrna rovná nebo není větší než 32 mm, což bylo pro vyrobenou směs splněno.

Náchylnost směsi vůči trvalým deformacím je zkoumána v závislosti na hloubce vyjeté koleje (způsobenou pojíždějícím zatěžovacím kolem). V normě jsou zmíněné tři typy zařízení, kterými může být zkouška provedena – malá, velká a extra velká zkušební zařízení. V případě malých zařízení mohou být tělesa temperována na vzduchu i ve vodní lázni, u velkých a extra velkých zařízení jen na vzduchu. Pro stanovení odolnosti vůči vzniku trvalých deformací v rámci této práce bylo použito malé zkušební zařízení.

Zkušební pomůcky:

- malé zkušební zařízení, jehož součástí je zařízení pro regulaci teploty udržující při provádění zkoušky požadovanou teplotu s přesností ± 1 °C a zařízení pro pojíždění kolem
- prostředky sloužící pro zamezení nalepování asfaltové směsi na pojíždějící kolo
- posuvné měřítko s přesností měření ± 1 mm

Postup zkoušky:

Pro malé zkušební zařízení jsou v normě uvedené dva způsoby zkušebních postupů (A a B). Pro temperaci těles ve vodní lázni je nutné použít postup B, pro temperaci na vzduchu je možné použít oba postupy. V rámci provedeného zkoušení na dvojici vyrobených zkušebních tělesech byl použit postup B, přičemž k temperaci těles docházelo na vzduchu. Zkouška musí být provedena vždy minimálně na dvou zkušebních tělesech.

Nejdříve se změří tloušťka každého tělesa ve středech stran po obvodě tělesa. Naměřené hodnoty nesmí být rozdílné o více než 5 % při jmenovité tloušťce tělesa větší než 50 mm. Zkušební tloušťka vzorku je aritmetickým průměrem těchto čtyř měření. Poté probíhá temperace. V následujícím kroku se těleso upne do zkušebního zařízení a osadí se snímačem teploty, pro který byl v rohu desky vyvrtán otvor (minimálně 60 mm od obou stran desky). Také se povrch tělesa pokryje plastovou folií, aby bylo zamezeno přilepování asfaltové směsi na pojíždějící kolo. Poté je na řadě temperace tělesa, jejíž trvání závisí na jmenovité tloušťce. V tomto případě byla požadována doba temperace minimálně 4 hodiny (jmenovitá tloušťka tělesa ≤ 60 mm).

Po vytemperování se zařízení spustí a je zaznamenávána počáteční vertikální deformace. V první hodině zatěžování 6–7krát za hodinu a následně pokaždé minimálně každých 500

zatěžovacích cyklů. V pojíždění kolem se pokračuje až do provedení 10 000 zatěžovacích cyklů nebo do dosažení hloubky koleje 20 mm.



Obr. 28 Malé zkušební zařízení [27]

Výpočet:

Přírůstek hloubky koleje na vzduchu WTS_{AIR} :

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

kde

WTS_{AIR} přírůstek hloubky vyjeté koleje ($\text{mm}/10^3$) zatěžovacích cyklů

$d_{10\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech (mm)

$d_{5\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech (mm)

Výsledek zkoušky je aritmetickým průměrem WTS_{AIR} dvou zkušebních těles. Jestliže byla zkouška ukončena dříve, než bylo dosaženo 10 000 cyklů, pak by měl být nárůst vypočítán z lineární části křivky hloubky vyjeté koleje (za předpokladu, že lineární část pokrývá alespoň 2 000 cyklů).

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu PRD_{AIR} :

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} ve zkoušené asfaltové směsi při N zatěžovacích cyklech odpovídá hodnotě průměru hloubky vyjeté koleje (s přesností na $\pm 0,1\%$).

[38]

5 Výsledky zkoušek

Zkoušky na asfaltových směsích byly provedeny dle postupů v příslušných normách či technických podmínkách. Jak již bylo zmíněno, testovány byly směsi:

- ACO 16 S,
- ACO 16 S FI (s přidanými vlákny FORTA-FI),
- ACO 16 S PMB 45/80-65 (modifikovaný asfalt).

5.1 Pevnost v příčném tahu

Stanovení pevnosti v příčném tahu na suchých tělesech (ITS_d) bylo provedeno dle normy ČSN EN 12697-23. Popis zkoušky je zmíněn v kapitole 4.4.

V následující tabulce jsou vypsány výsledné hodnoty pevností v příčném tahu, kterých dosahovaly testované asfaltové směsi:

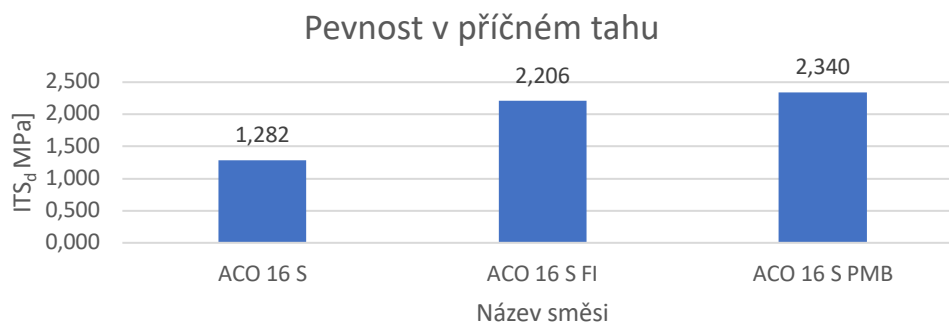
ITS_d	[MPa]	[%]
ACO 16 S	1,282	100 %
ACO 16 S FI	2,206	172 %
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,340	183 %

Tabulka 9 Výsledné pevnosti v příčném tahu (temperace na vzduchu)

Zelenou barvou je vyznačena hodnota nejvyšší, tedy nejlepší pevnosti v příčném tahu. Té dosáhla směs s modifikovaným asfaltem – ACO 16 S PMB 45/80-65. Červeně zvýrazněný výsledek značí nejhorší hodnotu, patřil referenční směsi ACO 16 S. Směs s vlákny dosahovala také vysokých hodnot, oproti směsi s modifikovaným asfaltem byla její hodnota pevnosti v příčném tahu nižší jen o 5,7 %.

Z naměřených hodnot lze vyvodit závěr, že pro maximální pevnost v příčném tahu se doporučuje použít modifikovaný asfalt, avšak s téměř totožnou účinností je vhodná aplikace směsi obohacenou o vlákna, jejíž výsledná pevnost je jen o pár procent nižší. Zároveň lze konstatovat, že přidaná vlákna v asfaltové směsi pozitivně ovlivňují pevnost v příčném tahu, a to o 72 %.

Grafické znázornění naměřených výsledků zkoušky ITS:



Graf 2 Pevnosti v příčném tahu (temperace na vzduchu)

5.2 Odolnost vůči vodě

Odolnost zkušebních těles vůči vodě se určuje na základě normy ČSN EN 12697-12. Podrobný popis zkoušky byl zmíněn v kapitole 4.5.

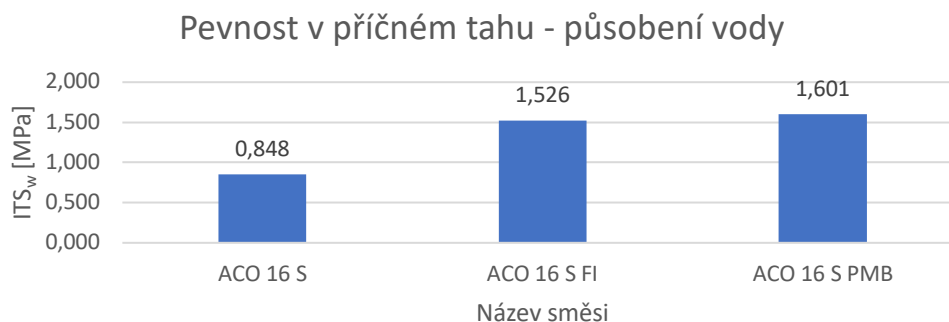
V rámci zkoušky byly testovány na pevnost v příčném tahu zkušební tělesa temperovaná na suchu a ve vodě. Výsledky pevností těles temperovaných na vzduchu jsou popsány v předešlé kapitole. V následující tabulce jsou k nahlédnutí pevnosti těles ponořených před zkoušením ve vodní lázni při 40 °C po dobu 68-72 hodin a následně temperovaných rovněž ve vodě při 15 °C.

ITS _w	[MPa]	[%]
ACO 16 S	0,848	100 %
ACO 16 S FI	1,526	180 %
ACO 16 S PMB 45/80-65	1,601	189 %

Tabulka 10 Výsledné pevnosti v příčném tahu (temperace ve vodě)

Z tabulky je patrné, že referenční směs ACO 16 S značená červenou barvou, vykazovala nejnižší hodnoty pevnosti v příčném tahu, kdežto směs ACO 16 PMB 45/80-65 dosahovala nejvyšších hodnot. Směs s přidanými vlákny svými pevnostmi mírně zaostávala za směsí s modifikovaným asfaltem, ale též její výsledky značně převyšovaly směs referenční. Zároveň stojí za povšimnutí, že procentuální rozdíly v pevnostech mezi jednotlivými směsmi se významně nelišily jak pro zkoušení těles temperovaných ve vodě (100 %, 172 %, 183 %), tak těles temperovaných na vzduchu (100 %, 180 %, 189 %).

Grafické výsledky zkoušky pevnosti v tahu na tělesech temperovaných ve vodě (ITS_w):



Graf 3 Pevnosti v příčném tahu (temperace ve vodě)

Odolnost vůči vodě (ITSR) je procentuálním vyjádřením poměrů pevností v tahu těles temperovaných ve vodě (ITS_w) ku tělesům temperovaným na vzduchu (ITS_d). Přehled výsledných hodnot je v tabulce níže:

ITSR	[%]
ACO 16 S	66,18
ACO 16 S FI	69,15
ACO 16 S PMB 45/80-65	68,41

Tabulka 11 Výsledné hodnoty odolnosti vůči vodě

Z výsledků je možné usoudit, že všechny tři testované směsi mají podobnou odolnost vůči vodě, přičemž mírně lepších výsledků dosahuje směs s přidanými vlákny a mírně horších směs referenční.

5.3 Modul tuhosti

Stanovení modulu tuhosti bylo provedeno dle normy ČSN EN 12697-26 při teplotách 0, 15, 27 a 40 °C. Konkrétně byly moduly tuhosti určovány zkouškou IT-CY. Popis zkoušky je uveden v kapitole 4.6.

Výsledné hodnoty naměřených modulů tuhosti jsou vypsány v následující tabulce:

Modul tuhosti [MPa]	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
ACO 16 S	14640	6084	2169	neměřitelné
ACO 16 S FI	21121	10325	3725	829
ACO 16 S PMB 45/80-65	20222	8725	2490	838

Tabulka 12 Moduly tuhosti [MPa]

Pokud se rozdíl naměřených hodnot vyjádří procentuálně, získají se tyto hodnoty:

Modul tuhosti [%]	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C
ACO 16 S	100,0	100,0	100,0	-
ACO 16 S FI	144,3	169,7	171,7	100,0
ACO 16 S PMB 45/80-65	138,1	143,4	114,8	101,1

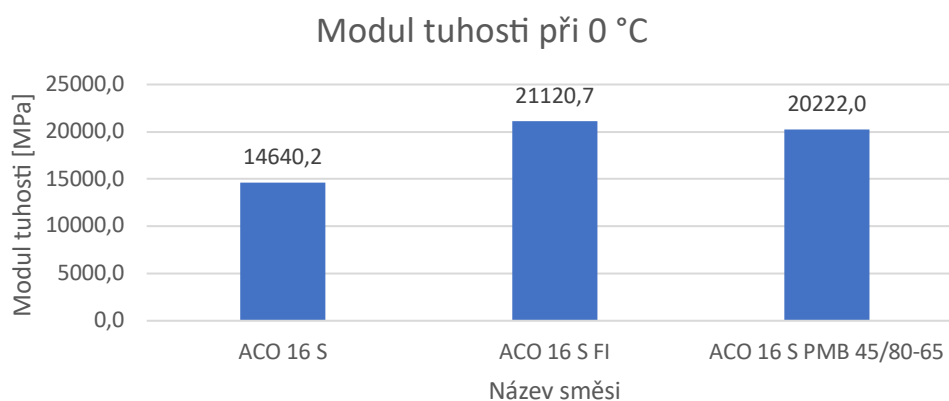
Tabulka 13 Moduly tuhosti - % porovnání

V tabulkách jsou barevně znázorněny hodnoty nejlepších, tedy nejvyšších modulů tuhosti zelenou barvou pro jednotlivé teploty. Naopak červenou barvou jsou vyznačeny nejnižší hodnoty.

Ze získaných výsledků je na první pohled patrné, že směs obohacená o vlákna (ACO 16 S FI) dosahovala nejlepších hodnot modulů tuhosti. Nejvýrazněji vyčnívala při teplotě 27 °C. Naopak při teplotě 40 °C byla její hodnota modulu tuhosti nepatrně nižší oproti směsi s modifikovaným asfaltem ACO 16 PMB 45/80-65. Při této teplotě již nebyl přístroj na měření modulů tuhosti schopný změřit hodnoty pro referenční směs ACO 16 S. Hodnoty patrně dosahovaly tak nízkých výsledků, že to již nebylo možné.

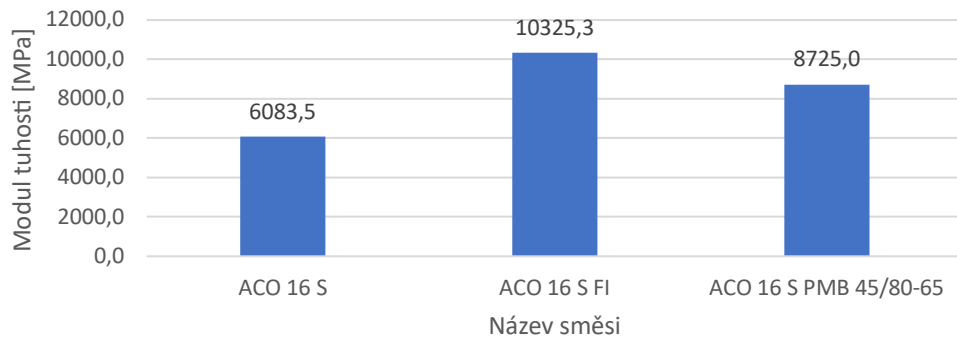
Na základě naměřených hodnot lze konstatovat, že pro dosažení vyššího modulu tuhosti asfaltové směsi je lepší použít směs s přidávanými vlákny než s modifikovaným asfaltem. Účinnost vláken ve směsi na hodnotu modulu tuhosti se však se stoupající teplotou snižuje, přičemž při 40 °C již nepřináší žádné benefity oproti modifikovanému asfaltu. Ve srovnání s referenční směsí vychází hodnoty modulů tuhosti lépe jak pro směs s vlákny, tak pro směs s modifikovaným asfaltem. Potvrdil se tedy pozitivní vliv těchto modifikací při všech teplotách.

Následující grafy znázorňují popsané moduly tuhosti v MPa na vyrobených asfaltových směsích:



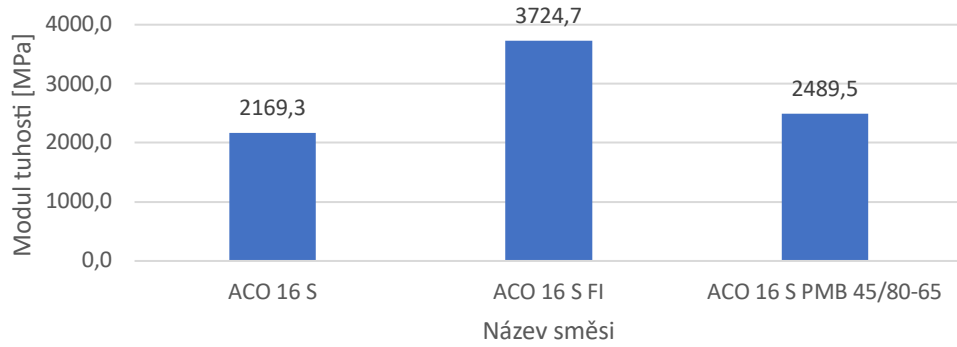
Graf 4 Moduly tuhosti při 0 °C

Modul tuhosti při 15 °C



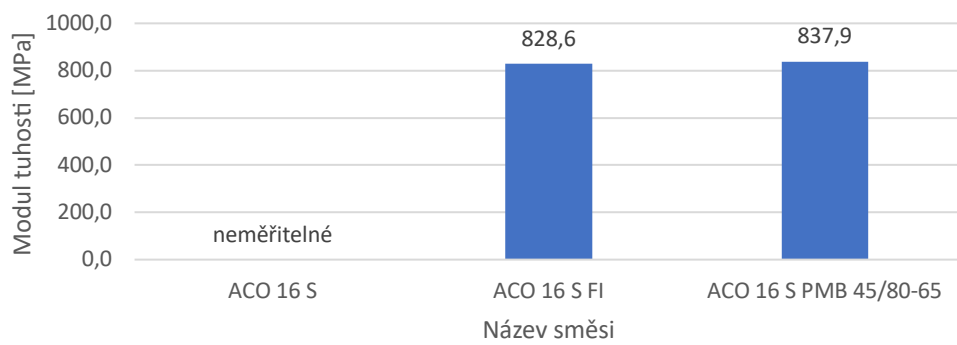
Graf 5 Moduly tuhosti při 15 °C

Modul tuhosti při 27 °C



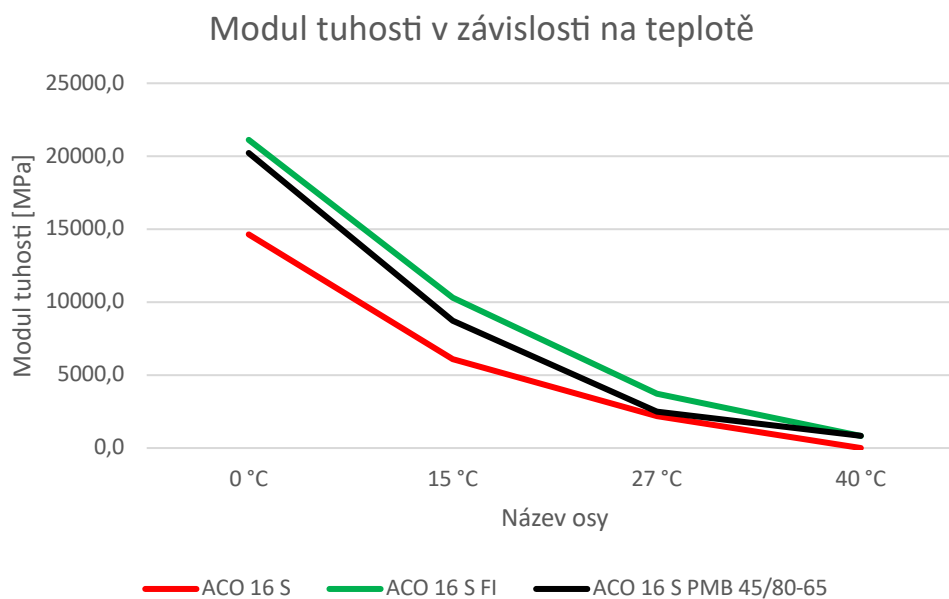
Graf 6 Moduly tuhosti při 27 °C

Modul tuhosti při 40 °C



Graf 7 Moduly tuhosti při 40 °C

Pro lepší představu, jakým způsobem klesají hodnoty modulu tuhosti s přibývajícím teplotou je přiložen následující graf:



Graf 8 Závislost modulu tuhosti na teplotě

5.4 Odolnost vůči šíření trhlin

Stanovení odolnosti vůči šíření trhlin bylo provedeno dle normy ČSN 12697-44. Zkušební vzorky byly testovány při teplotách 0 °C a -10 °C. Zkouška byla provedena na šesti půlválcových tělesech od každé směsi (s výjimkou směsi s vlákny, kdy bylo z důvodu poškození jednoho tělesa testováno na pěti tělesech). Zkoušení je podrobně popsáno v kapitole 4.7.

V následující tabulce jsou prezentovány výsledky odolnosti vůči šíření trhlin při teplotách 0 a -10 °C:

0 °C	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Průměrné relativní přetvoření	Průměrné maximální napětí	Průměrná odolnost proti lomu
	ΔW_{max} [mm]	F_{max} [kN]	ϵ_{max} [-]	σ_{max} [N/mm ²]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]
ACO 16 S	0,75	4,58	1,51	0,93	24,87
ACO 16 S FI	0,83	7,87	1,66	1,60	43,02
ACO 16 S PMB45/80-65	0,66	7,65	1,36	1,55	41,65

Tabulka 14 Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C

Z přiložené tabulky lze vyčíst, že při zkušební teplotě 0 °C vykazovala nejhorší odolnost proti lomu referenční směs ACO 16 S (vyznačeno červeně). Naopak nejlepší odolnosti dosáhla směs s vlákny ACO 16 S FI (značeno zeleně). Její odolnost vůči lomu se oproti

referenční směsi zlepšila o celých 73 %. Směs s modifikovaným asfaltem také doznala významného zlepšení oproti směsi referenční, konkrétně o 67,5 %.

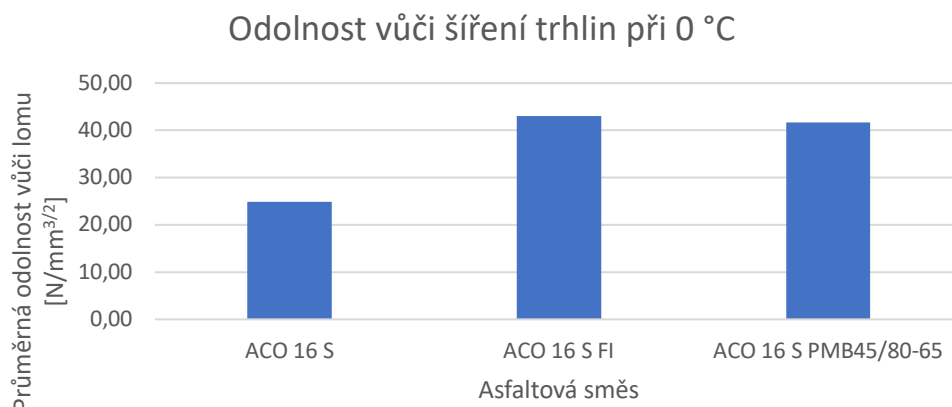
-10 °C	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Průměrné relativní přetvoření	Průměrné maximální napětí	Průměrná odolnost proti lomu
	ΔW_{max} [mm]	F_{max} [kN]	ϵ_{max} [-]	σ_{max} [N/mm ²]	K_{Ic} [N/mm ^{3/2}]
ACO 16 S	0,73	4,36	1,47	0,88	23,75
ACO 16 S FI	0,53	7,36	1,10	1,50	40,30
ACO 16 S PMB45/80-65	0,82	9,49	1,65	1,90	50,98

Tabulka 15 Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C

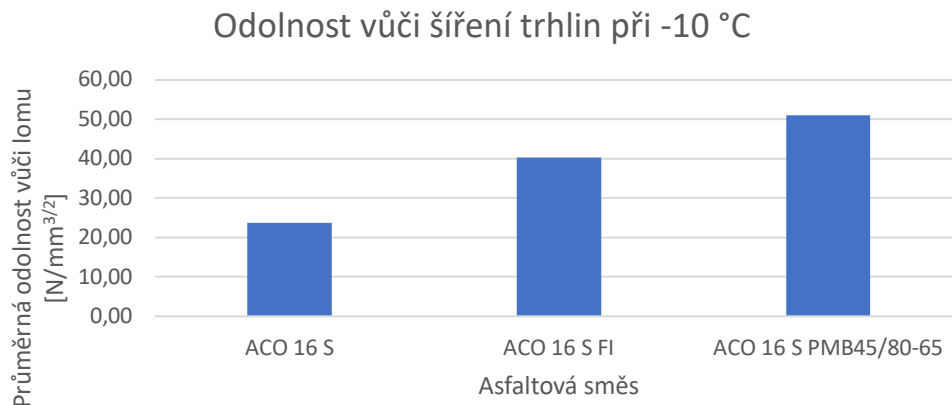
Při -10 °C zůstal zachován značný rozestup v odolnosti vůči lomu mezi referenční směsí a směsí s vlákny (rozdíl 70 %), resp. směsí modifikovanou (rozdíl 114 %). Při této teplotě vykazovala nejvyšší odolnosti modifikovaná směs, jejíž výsledná odolnost významně vzrostla oproti předchozí teplotě o 22,4 %. Zbylé dvě směsi naopak vykazovaly mírně nižší odolnosti, konkrétně směs referenční (snížení o 4,5 %) a směs s vlákny (snížení o 6,3 %).

Z výsledků lze vyvodit závěr, že jak přidání vláken, tak použití modifikovaného asfaltu je relevantní způsob, jak zvýšit odolnost vůči lomu oproti referenční nemodifikované směsi. Průměrně směs s vlákny vykazovala zlepšení o 71 % a směs modifikovaná o 90 %.

Následující grafy shrnují výsledky v grafické podobě:



Graf 9 Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C



Graf 10 Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C

5.5 Odolnost vůči vzniku trvalých deformací

Dle normy ČSN EN 12697-22+A1 byla stanovena odolnost vůči tvorbě trvalých deformací. Postup této zkoušky je popsán v kapitole 4.8.

V následující tabulce jsou naměřené hodnoty hloubky koleje po 5 a 10 tisíci cyklech, z nichž jsou vypočtené hodnoty přírůstku hloubky koleje WTS_{AIR} a průměrné poměrné hloubky vyjeté koleje PRD_{AIR} .

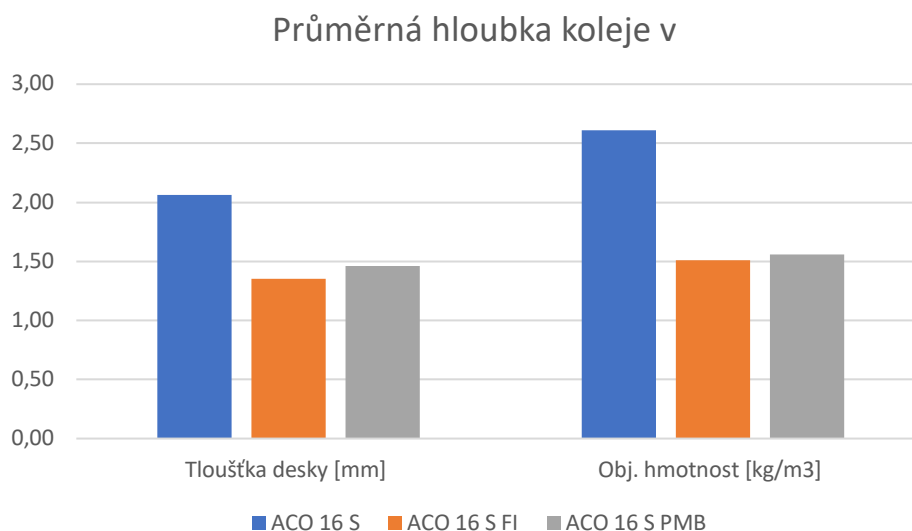
Směs	Prům. hloubka koleje po 5 000 cyklech [mm]	Prům. hloubka koleje po 10 000 cyklech [mm]	WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	PRD_{AIR} [%]
ACO 16 S	2,06	2,61	0,110	3,433
ACO 16 S FI	1,35	1,51	0,032	2,250
ACO 16 S PMB	1,46	1,56	0,020	2,433

Tabulka 16 Výsledky – odolnost vůči vzniku trvalých deformací

Z výsledků je patrné, že nejlepší hodnoty, tedy nejmenší průměrné poměrné hodnoty hloubky koleje a nejmenších hloubek kolejí po 5 000 a 10 000 cyklech, dosáhla směs s přidanými vlákny ACO 16 S FI. Nejhorší byla dle předpokladu referenční směs ACO 16 S. Modifikovaná směs dosáhla nejlepší hodnoty přírůstku hloubky koleje.

Z naměřených hodnot jasně plyne, že vlákna a modifikovaný asfalt zvyšují odolnost směsi vůči trvalým deformacím. Pro přírůstek hloubky koleje vykazuje směs s vlákny oproti referenční téměř 3,5násobné zlepšení. Ještě lepší výsledek byl naměřen u modifikované směsi. Její hodnota WTS_{AIR} se oproti referenční směsi zlepšila 5,5násobně. V porovnání s referenční směsí byla průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje pro směs s vlákny o 35 % menší a pro směs s modifikovaným asfaltem o 29 % menší.

Graficky znázorněné rozdíly v hloubce vyjeté koleje mezi směsmi po 5 a 10 tisíci cyklech:



Graf 11 Průměrná poměrná hloubka koleje směsí

6 Vyhodnocení

Vyhodnocení získaných výsledků bude provedeno třemi způsoby:

1. dle pořadí,
2. dle dílčí funkce užitku při stejné váze pro všechny výsledky zkoušek,
3. dle dílčí funkce užitku se zavedením různé váhy pro jednotlivé výsledky zkoušek.

Takto provedené vyhodnocení bude sledovat výběr nejvhodnější směsi od nejjednoduššího a nejméně přesného systému (vyhodnocení dle pořadí) až po nejkomplicovanější systém (vyhodnocení dle funkce dílčího užitku s různou vahou vstupních hodnot), který dokáže vyhodnotit testované asfaltové směsi nejpřesněji.

6.1 Vyhodnocení pomocí pořadí

Vyhodnocení dle pořadí reflektuje pořadí (první až třetí) ve všech provedených zkouškách pro každou směs. Dle pořadí v jednotlivých zkouškách se zkoušeným směsím přiřadí bodové ohodnocení:

- nejlepší výsledek = 3 body,
- střední výsledek = 2 body,
- nejhorší výsledek = 1 bod.

Po bodovém ohodnocení směsí pro každou zkoušku se tyto body jednotlivých asfaltových směsí sečtou. Jako nejlepší bude následně klasifikována směs s nejvyšším bodovým ziskem. Jak již bylo zmíněno, tato metoda je nejméně přesným systémem vyhodnocení, proto musí být na její závěry nahlíženo s určitou skepsí.

Pořadí	ACO 16 S	ACO 16 S FI	ACO 16 S PMB 45/80-65
Pevnost v příčném tahu			
ITS _d	3.	2.	1.
ITS _w	3.	2.	1.
Odolnost vůči vodě ITSR	3.	1.	2.
Modul tuhosti			
0 °C	3.	1.	2.
15 °C	3.	1.	2.
27 °C	3.	1.	2.
40 °C	3.	2.	1.
Odolnost vůči šíření trhlin			
0 °C	3.	1.	2.
-10 °C	3.	2.	1.
Odolnost vůči vzniku trvalých deformací			
PRD _{AIR}	3.	1.	2.
WTS _{AIR}	3.	2.	1.
Body			
Pevnost v příčném tahu			
ITS _d	1	2	3
ITS _w	1	2	3
Odolnost vůči vodě ITSR	1	3	2
Modul tuhosti			
0 °C	1	3	2
15 °C	1	3	2
27 °C	1	3	2
40 °C	1	2	3
Odolnost vůči šíření trhlin			
0 °C	1	3	2
-10 °C	1	2	3
Odolnost vůči vzniku trvalých deformací			
PRD _{AIR}	1	3	2
WTS _{AIR}	1	2	3
BODŮ CELKEM	11	28	27

Tabulka 17 Vyhodnocení dle pořadí

Na základě této nejjednodušší formy vyhodnocení lze vyvodit závěr, že směs s vlákny a směs s modifikovaným asfaltem dosahují téměř shodných bodových výsledků, což znamená, že je lze považovat za obdobně výkonné. Tyto směsi dosáhly téměř 2,5násobného zisku bodů než směs referenční. Z toho vyplývá, že jejich aplikace významným způsobem zlepšuje měřené vlastnosti asfaltové směsi.

6.2 Vyhodnocení dle dílčí funkce užitku

Dílčí funkce užitku reprezentuje metodu komplexního ohodnocení alternativ, jež vychází z určité soustavy axiomů, které se vztahují k chování subjektu při rozlišování preferencí alternativ hodnocení. V rámci této funkce je každé alternativě hodnocení přidělen užitek neboli ohodnocení, který je vyjádřen reálným číslem. Čím je hodnota tohoto čísla větší, tím více hodnotitel danou alternativu hodnocení preferuje.

Užitkovou funkci lze popsat následujícími vztahy:

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

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

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

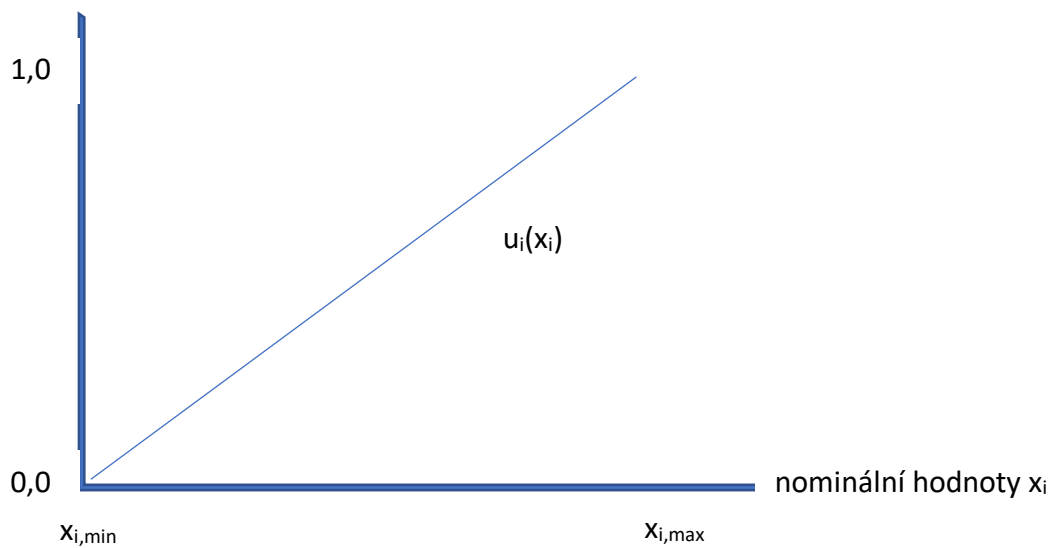
n počet kritérií hodnocení

q počet kategorií

Vztah (1) vyjadřuje užitek alternativ. Ty jsou určovány na základě znalosti dílčích funkcí užitku jednotlivých kritérií a vah kritérií hodnocení. Pokud je známá dílčí funkce užitku, je možné určit pro každou alternativu její odpovídající dílčí užitek ve vztahu ke každému kritériu. Celkový užitek alternativ je nakonec stanoven na základě vztahu (2). Je to vážený součet zmíněných dílčích užiteků.

Dílčí funkce užitku převádí ohodnocení řešení do intervalu $\langle 0; 1 \rangle$. Na vodorovné ose jsou vyneseny extrémy kritérií ($x_{i,\min}$ a $x_{i,\max}$) v měrných jednotkách, jaká jsou pro jednotlivá kritéria určena. Extrémy souvisí s funkční hodnotou 0 (nejhorší reálné řešení) a 1 (nejlepší reálné řešení).

Na základě omezeného množství dat a rozsahu práce bude předpokládán lineární průběh dílčí funkce užitku, kdy konstantní přírůstek kritériální hodnoty znamená konstantní pokles užitku. Tvar funkce se stanoví přímkou, která protíná funkční hodnotu 1 s bodem, který leží na spojnici funkční hodnoty 0,5 a normové hodnoty odpovídající hodnoty kritéria (x_i). Pokud pro dané kritérium není definována normová hodnota, tvar funkce se získá proložením přímky mezi dvěma body, přičemž první bod odpovídá funkční hodnotě 0 a 80% nejnižší hodnoty kritéria v intervalu $\langle x_{i,\min}; x_{i,\max} \rangle$, druhý bod funkční hodnotě 1 a 120% maximální hodnoty kritéria v intervalu $\langle x_{i,\min}; x_{i,\max} \rangle$.



Obr. 29 Lineární tvar užtkové funkce

[39][40]

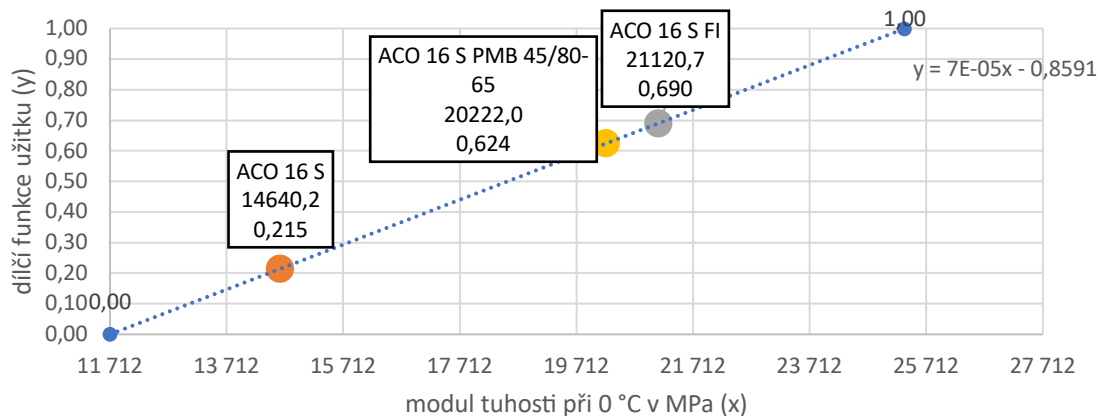
6.2.1 Dílčí funkce užtků jednotlivých zkoušek

V následující části jsou prezentovány hodnoty dílčí funkce užtku jednotlivých zkoušek, potřebné pro vyhodnocení výkonností jednotlivých směsí. V tabulce lze dohledat hodnoty, ze kterých byla stanovena lineární rovnice dílčí funkce užtku (viz kap. 6.2). Zároveň jsou zde tučně zvýrazněny vypočtené hodnoty dílčích funkcí užtku pro všechny testované asfaltové směsi. Tyto hodnoty jsou také pod každou tabulkou znázorněny graficky.

Moduly tuhosti:

	x	y
80 % MIN	11712,16	0,00
120 % MAX	25344,84	1,00
modul tuhosti 0 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [Mpa]	u [-]
ACO 16 S	14640	0,215
ACO 16 S FI	21121	0,690
ACO 16 S PMB 45/80-65	20222	0,624

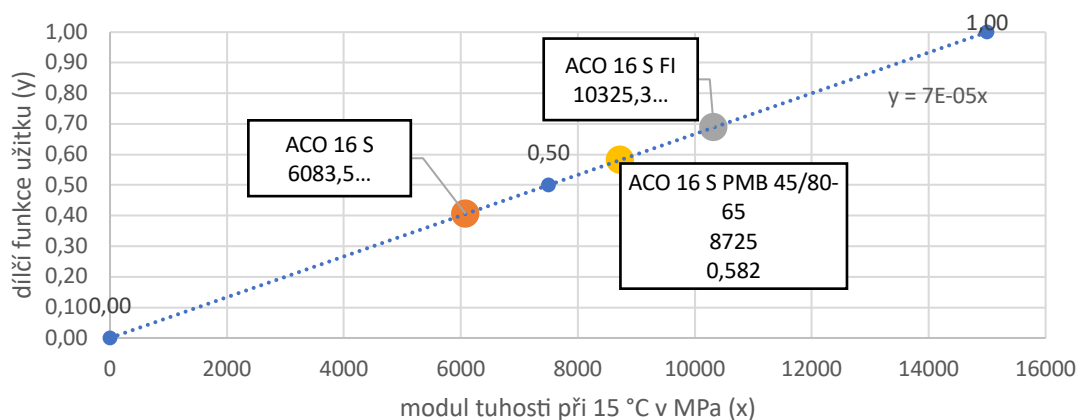
Tabulka 18 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 0 °C



Graf 12 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 0 °C

	x	y
min	0	0,00
max	15000	1,00
TP 170 (ACO 16 S)	7500	0,50
modul tuhosti 15 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [Mpa]	u [-]
ACO 16 S	6084	0,406
ACO 16 S FI	10325	0,688
ACO 16 S PMB 45/80-65	8725	0,582

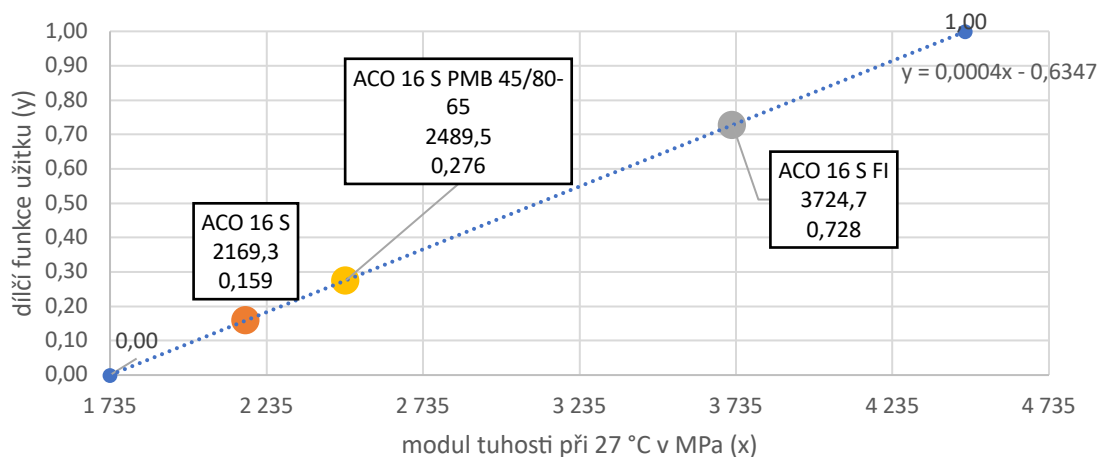
Tabulka 19 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 15 °C



Graf 13 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 15 °C

	x	y
80 % MIN	1735,44	0,00
120 % MAX	4469,64	1,00
modul tuhosti 27 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [Mpa]	u [-]
ACO 16 S	2169	0,159
ACO 16 S FI	3725	0,728
ACO 16 S PMB 45/80-65	2490	0,276

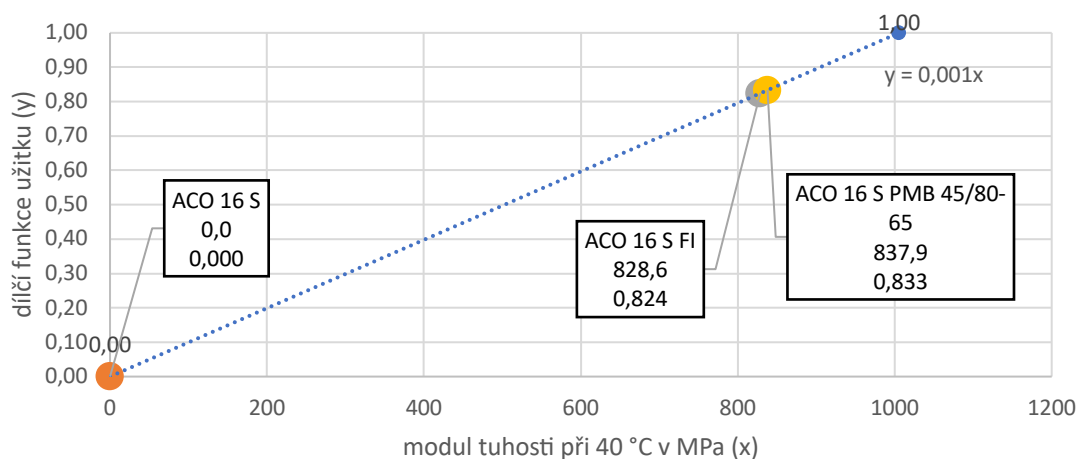
Tabulka 20 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 27 °C



Graf 14 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 27 °C

	x	y
80 % MIN	0	0,00
120 % MAX	1005,48	1,00
modul tuhosti 40 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [Mpa]	u [-]
ACO 16 S	0,0	-
ACO 16 S FI	829	0,824
ACO 16 S PMB 45/80-65	838	0,833

Tabulka 21 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 40 °C

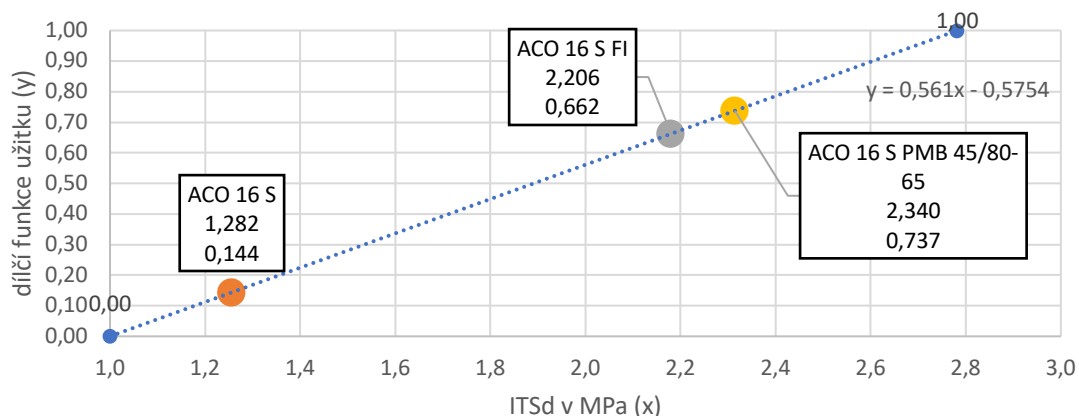


Graf 15 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 40 °C

Pevnost v příčném tahu (ITS):

	x	y
80 % MIN	1,0256	0,00
120 % MAX	2,808	1,00
Tělesa temperovaná na vzduchu (ITSd)	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [Mpa]	u [-]
ACO 16 S	1,282	0,144
ACO 16 S FI	2,206	0,662
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,340	0,737

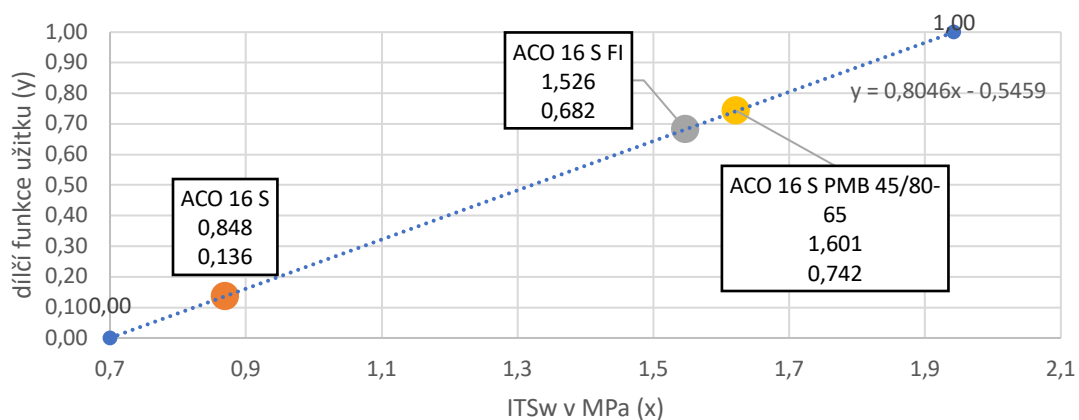
Tabulka 22 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSd



Graf 16 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSd

	x	y
80 % MIN	0,6784	0,00
120 % MAX	1,9212	1,00
Tělesa temperovaná ve vodě (ITSw)	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [Mpa]	u [-]
ACO 16 S	0,848	0,136
ACO 16 S FI	1,526	0,682
ACO 16 S PMB 45/80-65	1,601	0,742

Tabulka 23 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSw

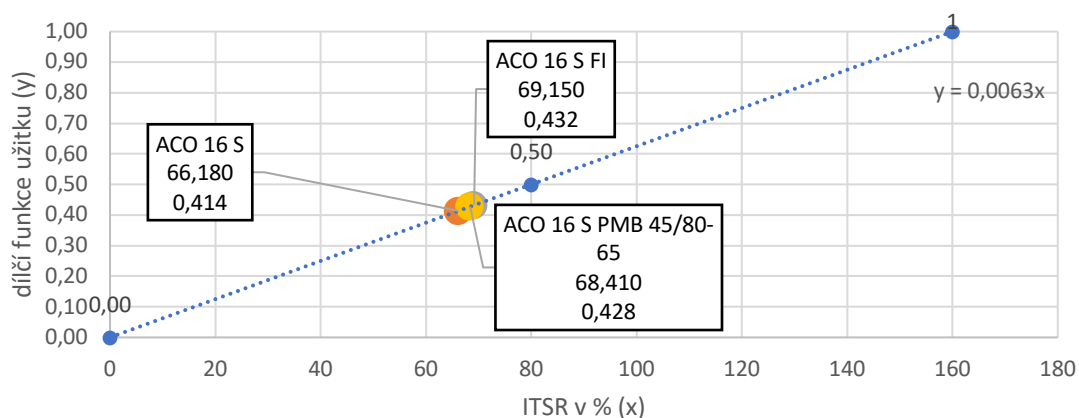


Graf 17 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSw

Odolnost vůči vodě (ITSR):

	x	y
min	0	0,00
ČSN 73 6121	80	0,50
max	160	1
ITSR	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [%]	u [-]
ACO 16 S	66,180	0,414
ACO 16 S FI	69,150	0,432
ACO 16 S PMB 45/80-65	68,410	0,428

Tabulka 24 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vodě ITSr

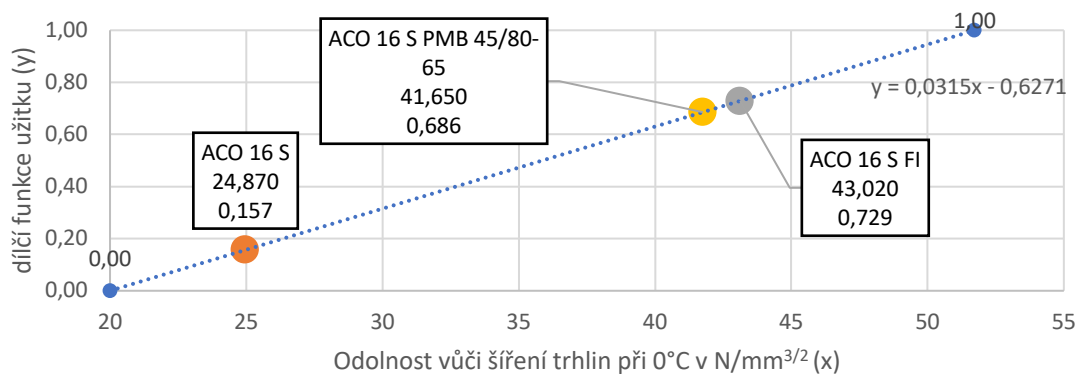


Graf 18 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vodě ITSr

Odolnost vůči šíření trhlin:

	x	y
80 % MIN	19,896	0,00
120 % MAX	51,624	1,00
Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užitku kritéria
	x [N/mm ^{3/2}]	u [-]
ACO 16 S	24,870	0,157
ACO 16 S FI	43,020	0,729
ACO 16 S PMB 45/80-65	41,650	0,686

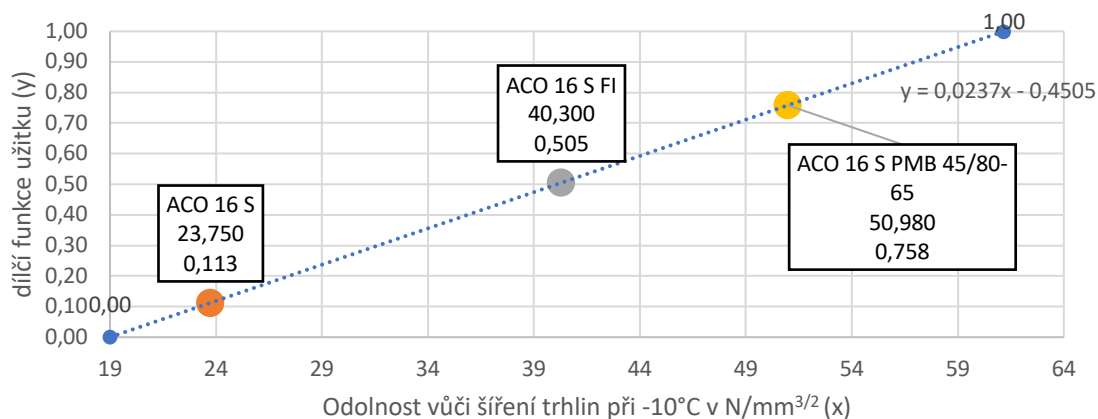
Tabulka 25 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C



Graf 19 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C

	x	y
80 % MIN	19	0,00
120 % MAX	61,176	1,00
Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítka kritéria
	x [N/mm ^{3/2}]	u [-]
ACO 16 S	23,750	0,113
ACO 16 S FI	40,300	0,505
ACO 16 S PMB 45/80-65	50,980	0,758

Tabulka 26 Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C

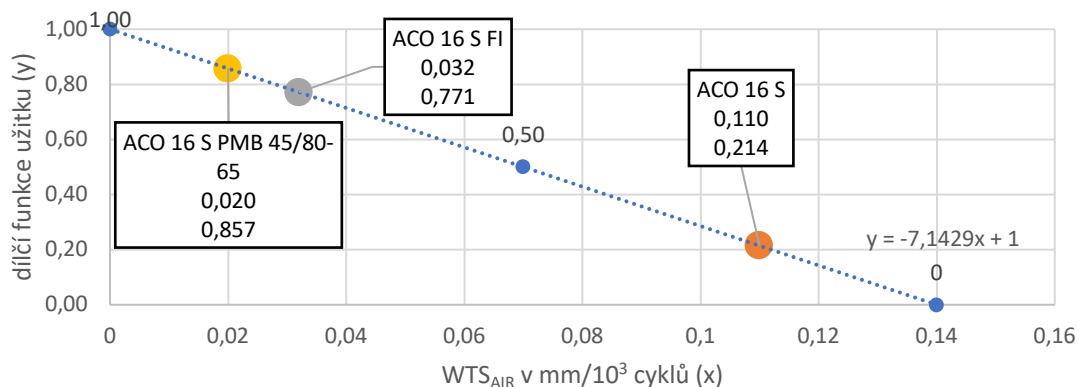


Graf 20 Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C

Odolnost vůči vzniku trvalých deformací:

	x	y
min	0	1,00
ČSN 73 6121	0,07	0,50
max	0,14	0
WTS _{AIR}	hodnota kritéria	dílčí funkce užítka kritéria
	x [mm/10 ³ cyklů]	u [-]
ACO 16 S	0,110	0,214
ACO 16 S FI	0,032	0,771
ACO 16 S PMB 45/80-65	0,020	0,857

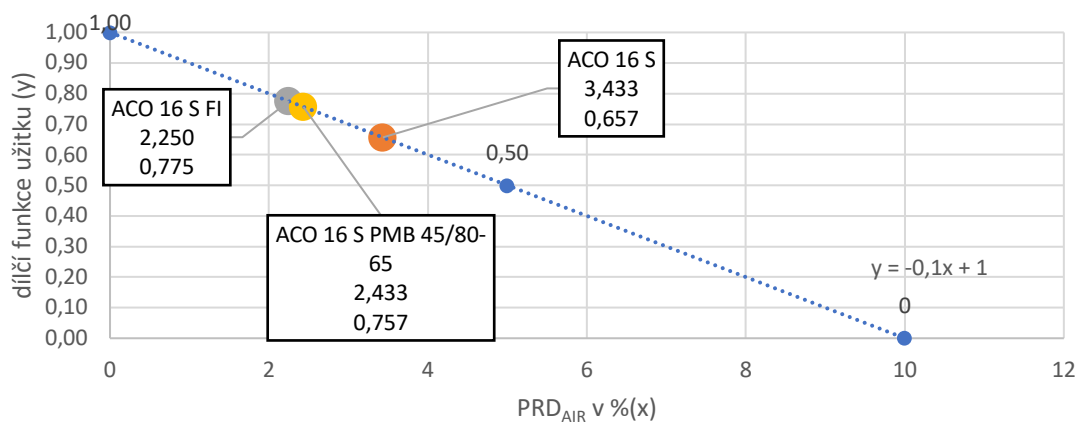
Tabulka 27 Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací WTS_{AIR}



Graf 21 Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací WTS_{AIR}

	x	y
min	0	1,00
ČSN 73 6121	5	0,50
max	10	0
PRD _{AIR}	hodnota kritéria	dílčí funkce užítka kritéria
	x [mm/10 ³ cyklů]	u [-]
ACO 16 S	3,433	0,657
ACO 16 S FI	2,250	0,775
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,433	0,757

Tabulka 28 Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací PRD_{AIR}



Graf 22 Dílčí funkce užítků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací PRD_{AIR}

6.2.2 Celkový užitek alternativy – stejná váha kritérií

V prvním případě multikriteriálního vyhodnocení byly uvažovány všechny hodnoty kritérií s totožnou hodnotou. To znamená, že se každý výsledek měření považoval za stejně prioritní.

V následujících tabulkách jsou spočteny celkové užítky jednotlivých alternativ z hlediska kategorií.

modul tuhosti 0 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	14640	0,215	9,09	1,95
ACO 16 S FI	21121	0,690	9,09	6,27
ACO 16 S PMB 45/80-65	20222	0,624	9,09	5,67

Tabulka 29 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 0 °C (stejná váha kritérií)

modul tuhosti 15 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	6084	0,406	9,09	3,69
ACO 16 S FI	10325	0,688	9,09	6,26
ACO 16 S PMB 45/80-65	8725	0,582	9,09	5,29

Tabulka 30 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 15 °C (stejná váha kritérií)

modul tuhosti 27 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	2169	0,159	9,09	1,44
ACO 16 S FI	3725	0,728	9,09	6,61
ACO 16 S PMB 45/80-65	2490	0,276	9,09	2,51

Tabulka 31 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 27 °C (stejná váha kritérií)

modul tuhosti 40 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	0	0,000	9,09	0,00
ACO 16 S FI	829	0,824	9,09	7,49
ACO 16 S PMB 45/80-65	838	0,833	9,09	7,58

Tabulka 32 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 40 °C (stejná váha kritérií)

ITSd	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	1,282	0,144	9,09	1,31
ACO 16 S FI	2,206	0,662	9,09	6,02
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,340	0,737	9,09	6,70

Tabulka 33 Celkový užitek alternativ – ITSd (stejná váha kritérií)

ITSw	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	0,848	0,136	9,09	1,24
ACO 16 S FI	1,526	0,682	9,09	6,20
ACO 16 S PMB 45/80-65	1,601	0,742	9,09	6,75

Tabulka 34 Celkový užitek alternativ – ITSw (stejná váha kritérií)

ITSR	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [%]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	66,180	0,414	9,09	3,76
ACO 16 S FI	69,150	0,432	9,09	3,93
ACO 16 S PMB 45/80-65	68,410	0,428	9,09	3,89

Tabulka 35 Celkový užitek alternativ – ITSR (stejná váha kritérií)

Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [N/mm ^{3/2}]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	24,870	0,157	9,09	1,43
ACO 16 S FI	43,020	0,729	9,09	6,63
ACO 16 S PMB 45/80-65	41,650	0,686	9,09	6,23

Tabulka 36 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C (stejná váha kritérií)

Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [N/mm ^{3/2}]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	23,750	0,113	9,09	1,02
ACO 16 S FI	40,300	0,505	9,09	4,59
ACO 16 S PMB 45/80-65	50,980	0,758	9,09	6,89

Tabulka 37 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C (stejná váha kritérií)

WTS _{AIR}	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [mm/10 ³ cyklů]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	0,110	0,214	9,09	5,97
ACO 16 S FI	0,032	0,771	9,09	7,05
ACO 16 S PMB 45/80-65	0,020	0,857	9,09	6,88

Tabulka 38 Celkový užitek alternativ – WTS_{AIR} (stejná váha kritérií)

PRD _{AIR}	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [mm/10 ³ cyklů]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	3,433	0,657	9,09	1,95
ACO 16 S FI	2,250	0,775	9,09	7,01
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,433	0,757	9,09	7,79

Tabulka 39 Celkový užitek alternativ – PRD_{AIR} (stejná váha kritérií)

Tato tabulka na závěr sčítá hodnoty celkových užítků jednotlivých alternativ z hlediska kategorií a stanovuje konečný celkový užitek řešených alternativ asfaltových směsí.

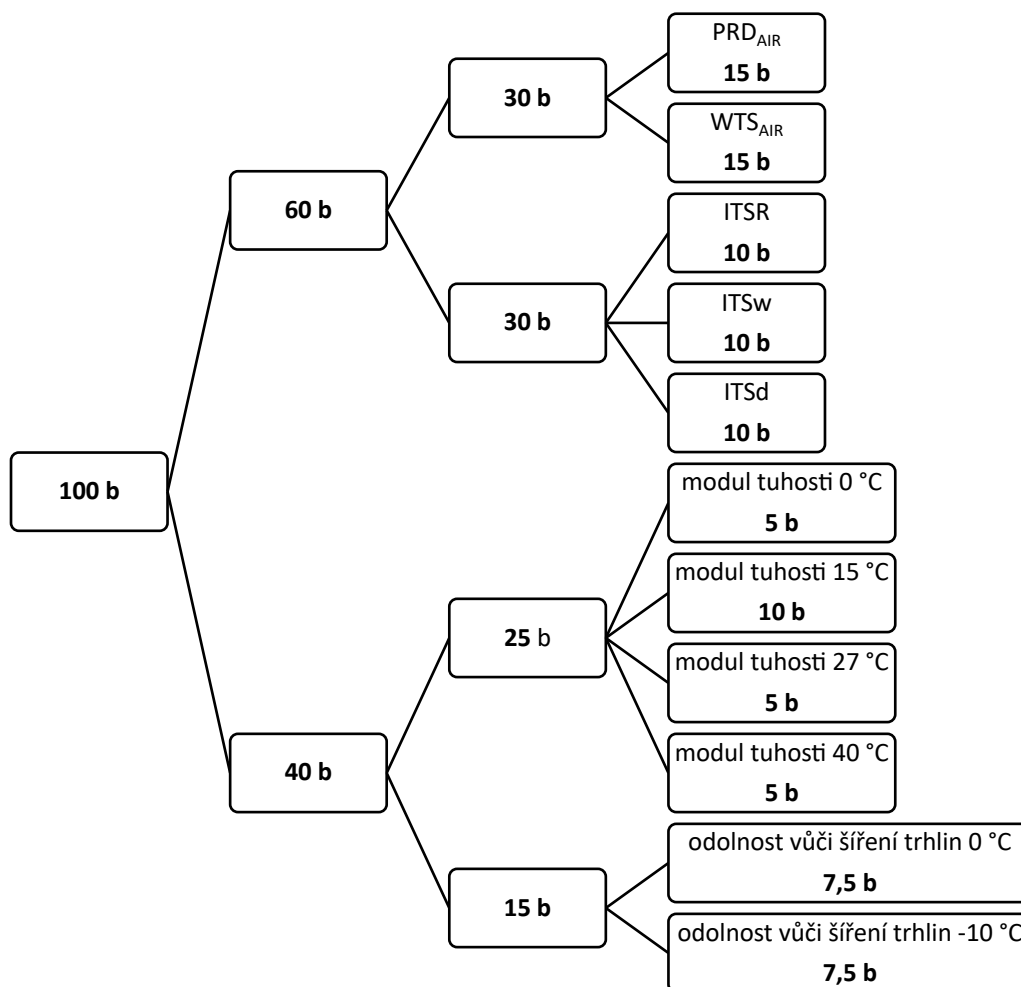
Stejná váha kritérií	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie [-]											celkový užitek alternativy [-]
	modul tuhosti				pevnost v příčném		odolnost vůči vodě	odolnost vůči šíření		odolnost vůči vzniku trvalých deformací		
	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C	ITS _d	ITS _w	ITSR	0 °C	-10 °C	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}	
váha relativní důležitosti kritérií	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09	
ACO 16 S	1,95	3,69	1,44	0,00	1,31	1,24	3,76	1,43	1,02	5,97	1,95	Σ 23,76
ACO 16 S FI	6,27	6,26	6,61	7,49	6,02	6,20	3,93	6,63	4,59	7,05	7,01	Σ 68,06
ACO 16 S PMB 45/80-65	5,67	5,29	2,51	7,58	6,70	6,75	3,89	6,23	6,89	6,88	7,79	Σ 66,18

Tabulka 40 Multikriteriální vyhodnocení (stejná váha kritérií)

Z vyhodnocení jasně vyplývá, že se přidáním vláken nebo použitím modifikovaného asfaltu jako pojiva docílí výrazného zlepšení vlastností referenční asfaltové směsi ACO 16 S. Obě tyto směsi dosáhly obdobného užítku, který téměř trojnásobně převyšuje užitek referenční směsi. Nejvyššího užítku dosáhla směs ACO 16 S FI, který převyšoval užitek směsi ACO 16 S PMB 45/80-65 o 1,88.

6.2.3 Celkový užitek alternativy – různá váha kritérií

V druhém případě multikriteriálního vyhodnocení byly použité rozdílné váhy jednotlivých kritérií. Dle důležitosti provedených zkoušek bylo určeno každé výsledné hodnotě (kritériu) bodové ohodnocení (váha relativní důležitosti kritéria). Celkový počet bodů byl stanoven na 100. Tyto body byly následně rozděleny mezi jednotlivá kritéria, podle jejich důležitosti (viz řádek v tabulce). Tento způsob vyhodnocení lze považovat ze zmíněných metod v této bakalářské práci za nejpřesnější.



Obr. 30 Rozdělení bodů jednotlivým kritériím dle důležitosti

V tabulkách níže jsou spočteny celkové užítky jednotlivých alternativ z hlediska kategorií.

modul tuhosti 0 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	14640	0,215	5	1,07
ACO 16 S FI	21121	0,690	5	3,45
ACO 16 S PMB 45/80-65	20222	0,624	5	3,12

Tabulka 41 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 0 °C (různá váha kritérií)

modul tuhosti 15 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	6084	0,406	10	4,06
ACO 16 S FI	10325	0,688	10	6,88
ACO 16 S PMB 45/80-65	8725	0,582	10	5,82

Tabulka 42 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 15 °C (různá váha kritérií)

modul tuhosti 27 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	2169	0,159	5	0,79
ACO 16 S FI	3725	0,728	5	3,64
ACO 16 S PMB 45/80-65	2490	0,276	5	1,38

Tabulka 43 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 27 °C (různá váha kritérií)

modul tuhosti 40 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	0	0,000	5	0,00
ACO 16 S FI	829	0,824	5	4,12
ACO 16 S PMB 45/80-65	838	0,833	5	4,17

Tabulka 44 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 40 °C (různá váha kritérií)

ITSd	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	1,282	0,144	10	1,44
ACO 16 S FI	2,206	0,662	10	6,62
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,340	0,737	10	7,37

Tabulka 45 Celkový užitek alternativ – ITSd (různá váha kritérií)

ITSw	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [Mpa]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	0,848	0,136	10	1,36
ACO 16 S FI	1,526	0,682	10	6,82
ACO 16 S PMB 45/80-65	1,601	0,742	10	7,42

Tabulka 46 Celkový užitek alternativ – ITSw (různá váha kritérií)

ITSR	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [%]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	66,180	0,414	10	4,14
ACO 16 S FI	69,150	0,432	10	4,32
ACO 16 S PMB 45/80-65	68,410	0,428	10	4,28

Tabulka 47 Celkový užitek alternativ – ITSR (různá váha kritérií)

Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [N/mm ^{3/2}]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	24,870	0,157	7,5	1,18
ACO 16 S FI	43,020	0,729	7,5	5,47
ACO 16 S PMB 45/80-65	41,650	0,686	7,5	5,14

Tabulka 48 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C (různá váha kritérií)

Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [N/mm ^{3/2}]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	23,750	0,113	7,5	0,84
ACO 16 S FI	40,300	0,505	7,5	3,79
ACO 16 S PMB 45/80-65	50,980	0,758	7,5	5,69

Tabulka 49 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C (různá váha kritérií)

WTS _{AIR}	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [mm/10 ³ cyklů]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	0,110	0,214	15	3,21
ACO 16 S FI	0,032	0,771	15	11,57
ACO 16 S PMB 45/80-65	0,020	0,857	15	12,86

Tabulka 50 Celkový užitek alternativ – WTS_{AIR} (různá váha kritérií)

PRD _{AIR}	hodnota kritéria	dílčí funkce užítku kritéria	váha relativní důležitosti kritéria	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie
	x [mm/10 ³ cyklů]	u [-]	v [-]	U [-]
ACO 16 S	3,433	0,657	15	9,85
ACO 16 S FI	2,250	0,775	15	11,63
ACO 16 S PMB 45/80-65	2,433	0,757	15	11,35

Tabulka 51 Celkový užitek alternativ – PRD_{AIR} (různá váha kritérií)

Závěrečná tabulka sčítá hodnoty celkových užitek jednotlivých alternativ z hlediska kategorií a stanovuje konečný celkový užitek řešených alternativ asfaltových směsí.

Různá váha kritérií	celkový užitek alternativy z hlediska kategorie [-]												celkový užitek alternativy [-]
	modul tuhosti				pevnost v příčném	odolnost vůči vodě	odolnost vůči šíření	odolnost vůči vzniku trvalých deformací					
	0 °C	15 °C	27 °C	40 °C	ITS _d	ITS _w	ITSR	0 °C	-10 °C	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}		
váha relativní důležitosti kritérií	5	10	5	5	10	10	10	7,5	7,5	15	15		
ACO 16 S	1,07	4,06	0,79	0,00	1,44	1,36	4,14	1,18	0,84	9,85	3,21	Σ 27,95	
ACO 16 S FI	3,45	6,88	3,64	4,12	6,62	6,82	4,32	5,47	3,79	11,63	11,57	Σ 68,31	
ACO 16 S PMB 45/80-65	3,12	5,82	1,38	4,17	7,37	7,42	4,28	5,14	5,69	11,35	12,86	Σ 68,59	

Tabulka 52 Multikriteriální vyhodnocení (různá váha kritérií)

Výsledné hodnoty tohoto vyhodnocení se jen lehce liší od předchozího. Ještě více se srovnaly celkové užítky alternativ směsí s vlákny a s modifikovaným asfaltem. V tomto případě největšího užítku dosáhla směs s modifikovaným asfaltem, avšak jen o mizivých 0,28. Z toho vyplývá, že lze tyto dvě modifikace považovat za stejně výkonné. Zároveň v tomto vyhodnocení dosáhla lepších výsledků referenční směs, jejíž hodnoty užítku byly 2,5násobně menší než směsí modifikovaných.

7 Závěr

Tato bakalářská práce v úvodní teoretické části seznámila čtenáře s poruchami netuhých vozovek a prezentovala způsoby vyztužování asfaltových směsí, a to jak plošné, tak 3D výztuže. Následně byl v praktické části zpracován projekt, v rámci něhož byly testovány rozdíly výkonností třech variant asfaltové směsi ACO 16 S – bez vláken, s vlákny a s modifikovaným asfaltem.

Z provedených zkoušek a vyhodnocení lze potvrdit předpoklad, že vlákna FORTA-FI významně zlepšují měřené vlastnosti asfaltové směsi ACO 16 S. Zároveň bylo zjištěno, že asfaltová směs s vlákny (ACO 16 S) a asfaltová směs s modifikovaným asfaltem (ACO 16 S PMB 45/80-65) vykazují v rámci všech třech provedených vyhodnocení velmi podobnou výkonnost. Obecně se také dá říci, že tyto směsi mají v porovnání se směsí referenční pozitivní vliv na výsledné vlastnosti ve všech zkoumaných směrech.

Z toho plyne závěr, že pro zlepšení asfaltové směsi pro obrusné vrstvy ACO 16 S je vhodné použít jak vlákna FORTA-FI, tak modifikovaný asfalt 45/80-65. Na rozhodnutí, kterou variantu směsi v praxi upřednostnit můžou mít vliv různé faktory jako např. cena nebo požadavek na zlepšení jen jedné či několika konkrétních vlastností asfaltové směsi. Při stejné výkonnosti asfaltové směsi s vlákny a s modifikovaným asfaltem je při malých stavbách či lokálních opravách vhodnější použití směsi s vlákny, vzhledem k jejich jednoduché aplikaci.

SEZNAM LITERATURY

- [1] TP 82. *Katalog poruch netuhých vozovek*. PavEx Consulting, s.r.o., 2010.
- [2] Ing. Mondschein P. Phd. *Rozptýlená výztuž v asfaltu stmelovaných vrstvách vozovek*. Prezentace prezentována na Fakultě stavební ČVUT, Praha, 2019.
- [3] Wikipedie. *Výtluk* [online]. 28.2.2019 [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDtluk>
- [4] Maccaferri Česká republika. *Vyztužování asfaltových vozovek*. [online]. Copyright © Officine Maccaferri Spa 2020 [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: <https://www.maccaferri.com/cz/reseni/vyztuzovani-asfaltovych-vozovek/>
- [5] GEOMAT. *Geomříže* [online]. Copyright © 2020 Geomat, s.r.o. [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: <https://www.geomat.cz/vyroby-katalog/geomrize/>
- [6] GEOMAT. *Geotextilie* [online]. Copyright © 2020 Geomat, s.r.o. [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: <https://www.geomat.cz/vyroby-katalog/geotextilie/>
- [7] GEOMAT. *Geokompozity* [online]. Copyright © 2020 Geomat, s.r.o. [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: <https://www.geomat.cz/vyroby-katalog/geokompozity/>
- [8] FORTA Corporation. *About FORTA®* [online]. Copyright ©2020 [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: <http://www.forta-fi.com/about/>
- [9] Ing. L. Žalman, Ing. P. Špaček; Ing. P. Mondschein, Ph.D. *Možnosti aplikace vláken FORTA FI ve směsi typu ACO jako příměsi pro zlepšení životnosti asfaltové úpravy*. [online]. 2013 [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: http://www.cesti.cz/technicke_listy/tl2013/2013_WP1_TL1_1_6b.pdf
- [10] KASA, Jan. *Problematika hořlavosti živičných povrchů (asfaltů) na pozemních komunikacích tunelů v ČR* [online]. 19.12.2012 [cit. 2.5.2020]. Seminární práce. ČVUT, Fakulta stavební. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~wald/edu/134SEP_Seminar_IBS/2012/06_SP12_Kasa_Zivice.pdf
- [11] Wikipedie. *Aramidová vlákna* [online]. 18.6.2019 [cit. 2.5.2020]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [12] ScienceDirect. *Investigating the healing capability of asphalt modified with nano-zyncotherm and Forta fibers*[online]. Copyright © 2019 The Authors.

Published by Elsevier Ltd. [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509518303759>

- [13] *Aramidová vlákna FORTA-FI pro vyztužení asfaltu* [brožura]. Praha: eMZet s.r.o., 2019.
- [14] Ing. Zach P. *Aplikace a využití vláken v asfaltových směsích (zkušenosti STRABAG Asfalt s.r.o.)*. Prezentace prezentována na Fakultě stavební ČVUT, Praha, duben 2019.
- [15] FORTA Corporation. *Jackson Hole Airport – Jackson Hole, WY* [online]. Copyright ©2020 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <http://www.forta-fi.com/projects/jackson-hole-airport/>
- [16] FORTA Corporation. *Evropska Street Phase 1 - Prague, Czech Republic* [online]. Copyright ©2020 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <http://www.forta-fi.com/projects/evropska-street-phase-1-prague-czech-republic/>
- [17] *Referenční projekt 2, Postranní pásy pojezdových drah Letiště V. Havla, Praha Ruzyně* [brožura]. Praha: eMZet s.r.o., 2019.
- [18] *Referenční projekt 1, Ulice Spořilovská, Praha 4, Spořilov* [brožura]. Praha: eMZet s.r.o., 2019.
- [19] CIUR a.s. *O společnosti CIUR a.s.* [online]. Copyright ©2020 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <https://www.ciur.cz/spolecnost/obsah/predstaveni-spolecnosti>
- [20] CIUR a.s. *Výztužná vlákna* [online]. Copyright ©2020 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <https://www.ciur.cz/produkty/obsah/vyztuzna-vlakna-namflex>
- [21] ITERCHIMICA. *Fibre di Differente Natura* [online]. Copyright ©2020 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <https://iterchimica.it/tipologie/fibre-di-differente-natura/>
- [22] ITERCHIMICA. *Company profile* [online]. Copyright ©2020 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <https://iterchimica.it/en/presentation-2/>
- [23] Ing. J. Vavříčka, Ing. J. Žák, Ing. P. Mondschein, Ph.D. *Využití různých typů mikrovláken Interfibra pro zlepšení vlastností asfaltových hutněných směsí*. *ResearchGate – Find and share research* [online]. Copyright © 2008 [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/278024251_Vyuziti_ruznych_typu_mikrovlaknen_Interfibra_pro_zlepseni_vlastnosti_asfaltovych_hutnenych_smesi
- [24] ČSN 73 6121. *Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy*. Český normalizační institut, 2019.

- [25] Doc. Ing. Hela R., CSc., Ing. Sokolář R., Ph.D. *Zkušebnictví a technologie, modul BI02-MO1, Technologie betonu, Stavební keramika* [online]. [cit. 2.5.2020]. Skriptum, VUT v Brně, Fakulta stavební. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI02-Zkusebnictvi%20a%20technologie/Zkusebnictvi%20a%20technologie%20M01-Technologie%20betonu%20a%20stavebni%20keramika.pdf>
- [26] ČSN 73 6160. *Zkoušení asfaltových směsí*. Český normalizační institut, 2008.
- [27] Ondřej Šams. *Vlastní fotodokumentace*. Praha, 2020.
- [28] ČSN EN 12697-35. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 35: Laboratorní výroba směsi*. Český normalizační institut, 2018.
- [29] ČSN EN 12697-30. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*. Český normalizační institut, 2020.
- [30] ČSN EN 12697-33. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Český normalizační institut, 2020.
- [31] ČSN EN 12697-5. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Český normalizační institut, 2020.
- [32] ČSN EN 12697-6. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Český normalizační institut, 2012.
- [33] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Český normalizační institut, 2020.
- [34] ČSN EN 12697-23. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Český normalizační institut, 2019.
- [35] ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Český normalizační institut, 2019.
- [36] ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 26: Tuhost*. Český normalizační institut, 2019.
- [37] ČSN EN 12697-44. *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese*. Český normalizační institut, 2020.
- [38] ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem*. Český normalizační institut, 2008.

- [39] Olivková I. *Aplikace metod vícekritériálního rozhodování při hodnocení kvality veřejné dopravy*. [online]. 2011. [cit. 19.5.2020]. Ročník 6, Číslo IV., listopad 2011. Dostupné z: http://perverscontacts.upce.cz/23_2011/Olivkova.pdf
- [40] Kopa M. *Vícekritériální rozhodování*. [online] [citováno 19.5.2020] Dostupné z: <http://www.karlin.mff.cuni.cz/~kopa/VRfinal.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vznik a vývoj mrazových trhlin [1]	12
Obr. 2 Vývoj reflexních trhlin [1]	12
Obr. 3 Typy geomříží [5]	15
Obr. 4 Geotextilie dle způsobu výroby [6]	16
Obr. 5 Roznos sil při brzdění na nevyztužené směsi [8]	17
Obr. 6 Roznos sil při brzdění na vyztužené směsi s 3D rozptýlenou výztuží (trojrozměrné rozložení sil) [8]	17
Obr. 7 Působení vláken v asfaltové směsi [2]	17
Obr. 8 Využití vláken v jednotlivých vrstvách vozovky [10]	18
Obr. 9 Vlákná FORTA-FI [12]	19
Obr. 10 Rekonstruovaná runway Jackson Hole Airport [15]	20
Obr. 11 Ulice Evropská po rekonstrukci [16]	21
Obr. 12 Detail vláken NAMFLEX® [20]	22
Obr. 13 Vlákná ITERFIBRA [21]	23
Obr. 14 Laboratorní míchačka [27]	28
Obr. 15 Navážené frakce kameniva spolu s pojivem v sušárně [27]	28
Obr. 16 Rázový zhutňovač [27]	30
Obr. 17 Lis pro vytlačení těles [27]	30
Obr. 18 Detail schematickeho řezu lamelového zhutňovače [30]	32
Obr. 19 Lamelový zhutňovač [27]	32
Obr. 20 Zařízení sloužící k odsání vzduchu z pyknometru [27]	34
Obr. 21 Rozdělený asfaltový vzorek [27]	34
Obr. 22 Tělesa sytící se vodou [27]	36
Obr. 23 Zkušební lis [27]	40
Obr. 24 Tělesa temperující se po dobu 68-72 hodin [27]	42
Obr. 25 Zařízení pro měření modulů tuhosti [27]	44
Obr. 26 Zkušební zařízení	47
Obr. 27 Trhlina ve výseči	47
Obr. 28 Malé zkušební zařízení [27]	50
Obr. 29 Lineární tvar užtkové funkce	62
Obr. 30 Rozdělení bodů jednotlivým kritériím dle důležitosti	72

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výhody a nevýhody vláken FORTA-FI	19
Tabulka 2 Fyzikální vlastnosti vláken FORTA-FI.....	21
Tabulka 3 Seznam použitých frakcí kameniva.....	24
Tabulka 4 Celkové propady kameniva sítě	24
Tabulka 5 Meze zrnitosti kameniva pro směs ACO 16 S [24]	26
Tabulka 6 Min. a max. mezerovitost ACO 16 S [24]	26
Tabulka 7 % zastoupení frakcí kameniva a pojiva v návrhových směsích	27
Tabulka 8 Max. objemová hmotnost, zhutněná objemová hmotnost a mezerovitost návrhových směsí.....	27
Tabulka 9 Výsledné pevnosti v příčném tahu (teplota na vzduchu).....	51
Tabulka 10 Výsledné pevnosti v příčném tahu (teplota ve vodě)	52
Tabulka 11 Výsledné hodnoty odolnosti vůči vodě.....	53
Tabulka 12 Moduly tuhosti [MPa].....	53
Tabulka 13 Moduly tuhosti - % porovnání	54
Tabulka 14 Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C	56
Tabulka 15 Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C.....	57
Tabulka 16 Výsledky – odolnost vůči vzniku trvalých deformací	58
Tabulka 17 Vyhodnocení dle pořadí.....	60
Tabulka 18 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 0 °C.....	63
Tabulka 19 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 15 °C.....	63
Tabulka 20 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 27 °C.....	64
Tabulka 21 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 40 °C.....	64
Tabulka 22 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSd	65
Tabulka 23 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSw ...	65
Tabulka 24 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vodě ITSR	66
Tabulka 25 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C..	66
Tabulka 26 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C	67
Tabulka 27 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací WTS_{AIR}	67
Tabulka 28 Dílčí funkce užitků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací PRD_{AIR}	68
Tabulka 29 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 0 °C (stejná váha kritérií).....	69
Tabulka 30 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 15 °C (stejná váha kritérií).....	69
Tabulka 31 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 27 °C (stejná váha kritérií).....	69
Tabulka 32 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 40 °C (stejná váha kritérií).....	69
Tabulka 33 Celkový užitek alternativ – ITSd (stejná váha kritérií).....	70
Tabulka 34 Celkový užitek alternativ – ITSw (stejná váha kritérií).....	70
Tabulka 35 Celkový užitek alternativ – ITSR (stejná váha kritérií).....	70
Tabulka 36 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C (stejná váha kritérií)	70

Tabulka 37 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C (stejná váha kritérií).....	70
Tabulka 38 Celkový užitek alternativ – WTS_{AIR} (stejná váha kritérií)	71
Tabulka 39 Celkový užitek alternativ – PRD_{AIR} (stejná váha kritérií).....	71
Tabulka 40 Multikriteriální vyhodnocení (stejná váha kritérií)	71
Tabulka 41 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 0 °C (různá váha kritérií).....	72
Tabulka 42 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 15 °C (různá váha kritérií).....	72
Tabulka 43 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 27 °C (různá váha kritérií).....	73
Tabulka 44 Celkový užitek alternativ – modul tuhosti 40 °C (různá váha kritérií).....	73
Tabulka 45 Celkový užitek alternativ – $ITSd$ (různá váha kritérií).....	73
Tabulka 46 Celkový užitek alternativ – $ITSw$ (různá váha kritérií).....	73
Tabulka 47 Celkový užitek alternativ – $ITSR$ (různá váha kritérií)	73
Tabulka 48 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C (různá váha kritérií)	74
Tabulka 49 Celkový užitek alternativ – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C (různá váha kritérií).....	74
Tabulka 50 Celkový užitek alternativ – WTS_{AIR} (různá váha kritérií).....	74
Tabulka 51 Celkový užitek alternativ – PRD_{AIR} (různá váha kritérií)	74
Tabulka 52 Multikriteriální vyhodnocení (různá váha kritérií).....	75

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Celkový propad jednotlivých frakcí kameniva	25
Graf 2 Pevnosti v příčném tahu (temperace na vzduchu)	52
Graf 3 Pevnosti v příčném tahu (temperace ve vodě)	53
Graf 4 Moduly tuhosti při 0 °C	54
Graf 5 Moduly tuhosti při 15 °C	55
Graf 6 Moduly tuhosti při 27 °C	55
Graf 7 Moduly tuhosti při 40 °C	55
Graf 8 Závislost modulu tuhosti na teplotě.....	56
Graf 9 Odolnost vůči šíření trhlin při 0 °C.....	57
Graf 10 Odolnost vůči šíření trhlin při -10 °C	58
Graf 11 Průměrná poměrná hloubka koleje směsí	59
Graf 12 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 0 °C	63
Graf 13 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 15 °C	63
Graf 14 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 27 °C	64
Graf 15 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – modul tuhosti 40 °C	64
Graf 16 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITSd	65
Graf 17 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – pevnost v příčném tahu ITS _w	65
Graf 18 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vodě ITS _R	66
Graf 19 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin 0 °C.....	66
Graf 20 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči šíření trhlin -10 °C....	67
Graf 21 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací WTS _{AIR}	67
Graf 22 Dílčí funkce užiteků jednotlivých zkoušek – odolnost vůči vzniku trvalých deformací PRD _{AIR}	68

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Zhutněné objemové hm., max. objem. hm. a mezerovitostí při hledání vhodné receptury pro referenční směs ACO 16 S	84
Příloha 2 Objemové hmotnosti zkušebních vzorků – referenční směs ACO 16 S.....	85
Příloha 3 Objemové hmotnosti zkušebních vzorků – referenční směs ACO 16 S FI	86
Příloha 4 Objemové hmotnosti zkušebních vzorků – referenční směs ACO 16 S PMB 45/80-65.....	87
Příloha 5 Moduly tuhosti ACO 16 S	88
Příloha 6 Moduly tuhosti ACO 16 S FI	89
Příloha 7 Moduly tuhosti ACO 16 S PMB 45/80-65	90
Příloha 8 Pevnosti asfaltových směsí v příčném tahu (ITSd, ITS _w) a odolnosti proti vodě (ITSR)	91
Příloha 9 Odolnost vůči trvalým deformacím	91
Příloha 10 Zkouška opakovaného poježdění kolem – směs ACO 16 S	92
Příloha 11 Zkouška opakovaného poježdění kolem – směs ACO 16 S FI.....	93
Příloha 12 Zkouška opakovaného poježdění kolem – směs ACO 16 S PMB 45/80-65	94
Příloha 13 Odolnost proti šíření trhlin (0 a–10 °C)	95

8 Přílohy

Příloha 1 Zhutněné objemové hm., max. objem. hm. a mezerovitostí při hledání vhodné receptury pro referenční směs ACO 16 S

Stanovení referenční směsi ACO 16S							
Maximální objemová hmotnost		směs	1	2	3	4	5
hmotnost pyknometru	m1	g	720,3	707,4	690,4	700,0	696,6
hmotnost pyknometru + zkušební vzorek	m2	g	1691,9	1699,5	1773,5	1725,0	1691,3
hmotnost pyknometru + zkušební vzorek + voda	m3	g	2607,0	2616,0	2663,9	2645,4	2628,2
objem pyknometru	V _p	m3	0,00131113	0,00131552	0,00132123	0,00131359	0,0013167
teplota vody	t	°C	21,4	20,8	20,9	23,1	23,0
hustota vody	ρ _w	Mg/m3	0,99797813	0,99810828	0,99808685	0,99758857	0,99761234
maximální objemová hmotnost asphaltové směsi	ρ_m	Mg/m3	2,465	2,497	2,524	2,622	2,635
Objemová hmotnost		směs	1	2	3	4	5
hmotnost suchého zkušební tělesa	m1	g	1203,5	1213,4	1211,2	1141,0	1151,7
hmotnost zkušební tělesa ve vodě	m2	g	691,6	698,8	697,3	672,6	683,1
hmotnost zkušební tělesa nasyceného vodou + osušeného	m3	g	1209,2	1215,6	1212,4	1161,2	1170,1
teplota vody	t	°C	18,2	18,2	18,2	20,4	20,4
hustota vody při zkušební teplotě	ρ _w	Mg/m3	0,99862799	0,99862799	0,99862799	0,99819291	0,99819291
objemová hmotnost zkušební tělesa	ρ_b	Mg/m3	2,322	2,345	2,348	2,331	2,360
						0	0
Mezerovitost		směs	1	2	3	4	5
maximální objemová hmotnost asphaltové směsi	ρ_m	Mg/m3	2,465	2,497	2,524	2,622	2,635
objemová hmotnost zkušební tělesa	ρ_b	Mg/m3	2,322	2,345	2,348	2,331	2,360
mezerovitost směsi	V_m	%	5,8	6,1	7,0	11,1	10,4

ACO 16 S									Marshallova tělesa hutněná 2x75 údery								
Objemová hmotnost dle rozměrů																	
Těleso		1	2	3	4	5	6	Průměr									
Průměr tělesa [mm]	d	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60									
Výška tělesa [mm]	h	62,88	63,75	62,66	62,79	63,92	64,43	63,40									
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1170,00	1188,90	1179,40	1178,30	1188,50	1202,30	1184,57									
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,295	2,300	2,322	2,315	2,294	2,302	2,305									
Objemová hmotnost SSD																	
Těleso		1	2	3	4	5	6	Průměr									
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1170,00	1188,90	1179,40	1178,30	1188,50	1202,30	1184,57									
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	m ₂	700,40	703,90	701,80	703,90	707,90	715,60	705,58									
Hmotnost osušeného tělesa [g]	m ₃	1188,40	1201,80	1196,70	1197,90	1207,30	1219,90	1202,00									
Teplota vody [°C]	t	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00									
Hustota vody [Mg/m ³]	ρ _w	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00									
Objemová hmotnost SSD [Mg/m ³]	ρ _{b,SSD}	2,395	2,385	2,380	2,382	2,377	2,381	2,384									
Marshallova tělesa hutněná 2x25 údery																	
Objemová hmotnost dle rozměrů																	
Těleso		A	B	C	D	E	F	G	H	Průměr							
Průměr tělesa [mm]	d	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60							
Výška tělesa [mm]	h	61,89	61,02	62,18	60,67	61,72	63,56	61,97	62,72	61,97							
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1085,90	1078,80	1102,40	1082,60	1077,30	1077,90	1078,5	1114,6	1087,25							
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,164	2,181	2,187	2,201	2,153	2,092	2,147	2,192	2,165							
Desky hutněné lamelovým zhutňovačem																	
Objemová hmotnost dle rozměrů																	
Těleso		D1															
Výška tělesa [mm]	h	60,13															
Délka tělesa [mm]	l	320,00															
Šířka tělesa [mm]	w	260,00															
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	11880,10															
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,375															
Objemová hmotnost SSD																	
Těleso		D1															
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	11880,10															
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	m ₂	7156,40															
Hmotnost osušeného tělesa [g]	m ₃	11984,00															
Teplota vody [°C]	t	19,40															
Hustota vody [Mg/m ³]	ρ _w	1,00															
Objemová hmotnost SSD [Mg/m ³]	ρ _{b,SSD}	2,457															

Příloha 3 Objemové hmotnosti zkušebních vzorků – referenční směs ACO 16 S FI

ACO 16 S FI		Marshallova tělesa hutněná 2x75 údery								
Objemová hmotnost dle rozměrů										
Těleso		1	2	3	4	5	6	Průměr		
Průměr tělesa [mm]	d	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60		
Výška tělesa [mm]	h	57,88	57,48	58,21	58,15	57,47	57,98	57,86		
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1198,60	1194,50	1191,10	1196,20	1201,20	1203,70	1197,55		
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,555	2,563	2,524	2,537	2,578	2,561	2,553		
Objemová hmotnost SSD										
Těleso		1	2	3	4	5	6	Průměr		
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1198,60	1194,50	1191,10	1196,20	1201,20	1203,70	1197,55		
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	m ₂	735,80	736,90	731,70	736,60	740,90	741,20	737,18		
Hmotnost osušeného tělesa [g]	m ₃	1199,90	1195,80	1192,90	1198,10	1202,70	1205,70	1199,18		
Teplota vody [°C]	t	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00		
Hustota vody [Mg/m ³]	ρ _w	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Objemová hmotnost SSD [Mg/m ³]	ρ _{b,SSD}	2,580	2,600	2,580	2,589	2,598	2,588	2,589		
		Marshallova tělesa hutněná 2x25 údery								
Objemová hmotnost dle rozměrů										
Těleso		A	B	C	D	E	F	G	H	Průměr
Průměr tělesa [mm]	d	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Výška tělesa [mm]	h	56,57	54,72	56,23	56,71	56,48	55,61	55,14	56,37	55,98
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1097,00	1094,10	1103,70	1111,70	1100,80	1097,40	1090,10	1092,80	1098,45
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,392	2,466	2,421	2,418	2,404	2,434	2,438	2,391	2,421
		Desky hutněné lamelovým zhutňovačem								
Objemová hmotnost dle rozměrů										
Těleso		D1								
Výška tělesa [mm]	h	60,24								
Délka tělesa [mm]	l	320,00								
Šířka tělesa [mm]	w	260,00								
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	12897,70								
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,573								
Objemová hmotnost SSD										
Těleso		1								
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	12897,70								
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	m ₂	7979,20								
Hmotnost osušeného tělesa [g]	m ₃	12920,90								
Teplota vody [°C]	t	19,40								
Hustota vody [Mg/m ³]	ρ _w	1,00								
Objemová hmotnost SSD [Mg/m ³]	ρ _{b,SSD}	2,606								

ACO 16 S PMB 45/80-65		Marshallova tělesa hutněná 2x75 údery								
Objemová hmotnost dle rozměrů										
Těleso		1	2	3	4	5	6	Průměr		
Průměr tělesa [mm]	d	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60		
Výška tělesa [mm]	h	55,94	57,40	56,53	57,15	56,60	56,03	56,61		
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1194,80	1203,20	1189,00	1201,70	1193,00	1182,00	1193,95		
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,635	2,586	2,594	2,593	2,600	2,602	2,602		
Objemová hmotnost SSD										
Těleso		1	2	3	4	5	6	Průměr		
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1194,80	1203,20	1189,00	1201,70	1193,00	1182,00	1193,95		
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	m ₂	741,00	744,70	738,90	745,30	739,90	734,60	740,73		
Hmotnost osušeného tělesa [g]	m ₃	1195,80	1204,40	1190,40	1203,70	1193,80	1183,30	1195,23		
Teplota vody [°C]	t	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00		
Hustota vody [Mg/m ³]	ρ _w	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Objemová hmotnost SSD [Mg/m ³]	ρ _{b,SSD}	2,624	2,614	2,630	2,618	2,625	2,631	2,624		
		Marshallova tělesa hutněná 2x25 údery								
Objemová hmotnost dle rozměrů										
Těleso		A	B	C	D	E	F	G	H	Průměr
Průměr tělesa [mm]	d	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60	101,60
Výška tělesa [mm]	h	55,41	54,99	54,10	54,80	54,36	55,58	55,99	55,31	55,07
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	1109,90	1102,60	1089,00	1092,30	1100,90	1103,30	1107,20	1096,00	1100,15
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,471	2,473	2,483	2,459	2,498	2,448	2,439	2,444	2,465
		Desky hutněné lamelovým zhutňovačem								
Objemová hmotnost dle rozměrů										
Těleso		D1								
Výška tělesa [mm]	h	60,51								
Délka tělesa [mm]	l	320,00								
Šířka tělesa [mm]	w	260,00								
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	13068,70								
Objemová hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	ρ _{b,dim}	2,596								
Objemová hmotnost SSD										
Těleso		1								
Suchá hmotnost tělesa [g]	m ₁	13068,70								
Hmotnost ponořeného tělesa [g]	m ₂	8105,40								
Hmotnost osušeného tělesa [g]	m ₃	13095,80								
Teplota vody [°C]	t	19,40								
Hustota vody [Mg/m ³]	ρ _w	1,00								
Objemová hmotnost SSD [Mg/m ³]	ρ _{b,SSD}	2,615								

Příloha 5 Moduly tuhosti ACO 16 S

ACO 16 S

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]	
I 1	101,6	62,88	0	0,25	14,4	1431,0	125	6,1	0,64	19640	20295	16148,5	14640,2	
I 1	101,6	62,88	0	0,25	7,0	697,8	124	5,0	0,65	11599	12002			
I 2	101,6	63,75	0	0,25	8,5	833,8	126	5,0	0,64	13797	14225			14429,0
I 2	101,6	63,75	0	0,25	8,7	856,7	125	5,0	0,64	14202	14633			
I 3	101,6	62,66	0	0,25	7,9	791,9	126	5,0	0,65	13059	13533			13148,5
I 3	101,6	62,66	0	0,25	7,4	743,9	125	5,0	0,64	12365	12764			
I 4	101,6	62,79	0	0,25	8,5	852,0	124	5,1	0,64	13992	14426	15745,0		
I 4	101,6	62,79	0	0,25	9,9	992,1	127	5,0	0,64	16516	17064			
I 5	101,6	63,92	0	0,25	8,7	850,6	121	5,0	0,63	14020	14375	15644,5		
I 5	101,6	63,92	0	0,25	10,6	1037,8	124	5,3	0,65	16339	16914			
I 6	101,6	64,43	0	0,25	9,3	902,6	125	4,8	0,64	15457	15910	16343,0		
I 6	101,6	64,43	0	0,25	10,3	999,3	125	5,1	0,64	16293	16776			
I 1	101,6	62,88	15	0,31	3,0	297,6	118	4,9	0,63	5581	5698	5461,5	6083,5	
I 1	101,6	62,88	15	0,31	2,8	282,6	123	5,0	0,61	5198	5225			
I 2	101,6	63,75	15	0,31	3,8	371,6	126	4,9	0,60	6967	5982			6187,0
I 2	101,6	63,75	15	0,31	3,5	343,0	126	5,0	0,62	6328	6392			
I 3	101,6	62,66	15	0,31	3,4	341,5	124	5,0	0,61	6323	6380			6256,5
I 3	101,6	62,66	15	0,31	3,3	329,3	130	5,0	0,62	6069	6133			
I 4	101,6	62,79	15	0,31	3,2	321,0	122	5,0	0,60	5931	5946	5942,5		
I 4	101,6	62,79	15	0,31	3,2	320,8	126	5,1	0,63	5833	5939			
I 5	101,6	63,92	15	0,31	4,6	450,3	125	6,5	0,61	6424	6452	6570,0		
I 5	101,6	63,92	15	0,31	5,5	540,7	123	7,7	0,61	6632	6688			
I 6	101,6	64,43	15	0,31	3,5	337,8	129	5,0	0,62	6192	6269	6667,0		
I 6	101,6	64,43	15	0,31	3,7	358,8	129	4,8	0,62	6973	7065			
I 1	101,6	62,88	27	0,38	0,8	84,4	119	5,0	0,59	1752	1747	1716,0	2169,3	
I 1	101,6	62,88	27	0,38	0,8	83,8	110	5,1	0,58	1704	1685			
I 2	101,6	63,75	27	0,38	1,2	113,5	135	4,9	0,65	2379	2439			2378,5
I 2	101,6	63,75	27	0,38	1,1	112,0	132	5,2	0,66	2254	2318			
I 3	101,6	62,66	27	0,38	1,0	100,8	107	4,8	0,63	2199	2230			2165,5
I 3	101,6	62,66	27	0,38	1,0	104,9	121	5,2	0,61	2090	2101			
I 4	101,6	62,79	27	0,38	1,2	117,4	109	5,0	0,61	2419	2426	2290,5		
I 4	101,6	62,79	27	0,38	1,0	102,8	132	5,0	0,64	2113	2155			
I 5	101,6	63,92	27	0,38	1,1	111,7	115	5,0	0,62	2309	2329	2127,5		
I 5	101,6	63,92	27	0,38	0,9	90,4	131	5,0	0,65	1885	1926			
I 6	101,6	64,43	27	0,38	1,1	104,2	90	4,7	0,74	2305	2474	2296,0		
I 6	101,6	64,43	27	0,38	1,0	101,1	128	5,0	0,61	2105	2118			
I 1	101,6	62,88	40										neměřitelné	
I 1	101,6	62,88	40											
I 2	101,6	63,75	40											
I 2	101,6	63,75	40											
I 3	101,6	62,66	40											
I 3	101,6	62,66	40											
I 4	101,6	62,79	40											
I 4	101,6	62,79	40											
I 5	101,6	63,92	40											
I 5	101,6	63,92	40											
I 6	101,6	64,43	40											
I 6	101,6	64,43	40											

Příloha 6 Moduly tuhosti ACO 16 S FI

ACO 16 S FI

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [μm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsi [MPa]
I 1	101,6	57,88	0	0,25	10,3	1113,3	126	5,0	0,64	18434	19055	19381,0	21120,7
I 1	101,6	57,88	0	0,25	10,6	1143,1	126	5,0	0,65	19010	19707		
I 2	101,6	57,48	0	0,25	10,1	1098,8	128	5,0	0,64	18059	18671	18623,5	
I 2	101,6	57,48	0	0,25	9,9	1073,4	124	5,0	0,64	17977	18576		
I 3	101,6	58,21	0	0,25	12,0	1291,6	125	5,0	0,64	21490	22205	20391,0	
I 3	101,6	58,21	0	0,25	9,8	1056,9	123	4,9	0,66	17794	18577		
I 4	101,6	58,15	0	0,25	13,0	1397,8	127	5,0	0,65	23252	24298	21058,0	
I 4	101,6	58,15	0	0,25	935,0	1021,6	122	4,9	0,64	17291	17818		
I 5	101,6	57,47	0	0,25	13,8	1506,3	126	5,0	0,64	24778	25570	24789,0	
I 5	101,6	57,47	0	0,25	12,8	1395,6	126	5,0	0,64	23160	24008		
I 6	101,6	57,98	0	0,25	11,3	1224,0	118	4,9	0,67	20828	21985	22419,0	
I 6	101,6	57,98	0	0,25	12,3	1330,8	127	5,0	0,65	22009	22853		
I 1	101,6	57,88	15	0,31	5,0	546,3	124	4,9	0,62	10244	10382	10139,5	10325,3
I 1	101,6	57,88	15	0,31	4,9	530,7	126	5,0	0,61	9853	9897		
I 2	101,6	57,48	15	0,31	5,0	544,2	124	5,0	0,62	10059	10166	10216,5	
I 2	101,6	57,48	15	0,31	5,0	548,7	125	5,0	0,61	10169	10267		
I 3	101,6	58,21	15	0,31	5,0	539,1	125	4,9	0,62	10235	10371	9907,0	
I 3	101,6	58,21	15	0,31	4,7	508,4	124	5,0	0,61	9364	9443		
I 4	101,6	58,15	15	0,31	4,9	525,7	129	5,0	0,62	9740	9869	9692,5	
I 4	101,6	58,15	15	0,31	4,7	507,0	126	5,0	0,61	9443	9516		
I 5	101,6	57,47	15	0,31	5,1	557,0	125	4,9	0,62	10548	10675	10065,0	
I 5	101,6	57,47	15	0,31	4,6	503,1	122	5,0	0,61	9404	9455		
I 6	101,6	57,98	15	0,31	5,8	624,8	124	5,1	0,62	11440	11616	11931,5	
I 6	101,6	57,98	15	0,31	6,0	652,7	123	5,0	0,62	12114	12247		
I 1	101,6	57,88	27	0,38	1,5	158,0	121	4,9	0,62	3333	3367	3335,5	3724,7
I 1	101,6	57,88	27	0,38	1,4	156,7	128	5,0	0,62	3270	3304		
I 2	101,6	57,48	27	0,38	1,9	205,2	131	5,3	0,62	4030	4082	3660,5	
I 2	101,6	57,48	27	0,38	1,4	152,8	127	4,9	0,59	3251	3239		
I 3	101,6	58,21	27	0,38	1,8	195,1	125	4,8	0,60	4248	4240	3595,0	
I 3	101,6	58,21	27	0,38	1,3	139,5	128	4,9	0,60	2951	2950		
I 4	101,6	58,15	27	0,38	1,7	187,6	121	5,1	0,60	3818	3815	3880,5	
I 4	101,6	58,15	27	0,38	1,7	187,7	121	4,9	0,60	3946	3946		
I 5	101,6	57,47	27	0,38	1,7	187,7	121	5,0	0,60	3895	3885	3958,0	
I 5	101,6	57,47	27	0,38	1,8	196,1	123	5,1	0,61	3997	4031		
I 6	101,6	57,98	27	0,38	1,8	192,5	121	5,0	0,61	3983	4015	3627,0	
I 6	101,6	57,98	27	0,38	1,4	154,4	129	5,0	0,61	3212	3239		
I 1	101,6	57,88	40	0,45	0,3	33,3	118	4,7	0,55	806	792	829,0	828,6
I 1	101,6	57,88	40	0,45	0,3	35,8	100	4,8	0,63	856	866		
I 2	101,6	57,48	40	0,45	0,4	42,2	101	4,7	0,60	1028	1026	935,0	
I 2	101,6	57,48	40	0,45	0,3	32,2	144	4,5	0,68	820	844		
I 3	101,6	58,21	40	0,45	0,3	28,7	119	4,7	0,55	703	691	794,0	
I 3	101,6	58,21	40	0,45	0,3	36,6	113	4,6	0,55	913	897		
I 4	101,6	58,15	40	0,45	0,3	34,6	118	4,6	0,54	854	836	756,5	
I 4	101,6	58,15	40	0,45	0,2	26,6	118	4,5	0,61	675	677		
I 5	101,6	57,47	40	0,45	0,4	48,7	111	4,9	0,57	1139	1126	980,5	
I 5	101,6	57,47	40	0,45	0,3	36,0	113	4,9	0,56	846	835		
I 6	101,6	57,98	40	0,45	0,3	30,7	150	4,5	0,71	780	809	887,5	
I 6	101,6	57,98	40	0,45	0,3	37,2	100	4,4	0,58	971	966		

Příloha 7 Moduly tuhosti ACO 16 S PMB 45/80-65

ACO 16 S PMB 45/80-65

Název tělesa	Průměr tělesa [mm]	Výška tělesa [mm]	Zkušební teplota [°C]	Poissonovo číslo [-]	Vertikální síla [kN]	Horizontální napětí [kPa]	Čas zvednutí [ms]	Horizontální deformace [µm]	Load-area factor	Tuhost měřená [MPa]	Tuhost přizpůsobená [MPa]	Průměrná tuhost tělesa [MPa]	Průměrná tuhost směsí [MPa]
I 1	101,6	55,94	0	0,25	10,0	1121,5	127	5,1	0,64	18381	18973	18967,5	20222,0
I 1	101,6	55,94	0	0,25	9,8	1093,6	129	4,9	0,64	18343	18962		
I 2	101,6	57,40	0	0,25	8,2	900,3	123	5,0	0,64	14921	15344	17543,0	
I 2	101,6	57,40	0	0,25	8,3	904,5	125	3,9	0,65	19020	19742		
I 3	101,6	56,53	0	0,25	9,8	1089,5	125	5,0	0,64	18214	18720	18531,0	
I 3	101,6	56,53	0	0,25	9,7	1080,2	124	5,1	0,65	17707	18342		
I 4	101,6	57,15	0	0,25	10,4	1140,2	128	5,0	0,64	18990	19598	21037,5	
I 4	101,6	57,15	0	0,25	11,9	1301,7	125	5,0	0,64	21743	22477		
I 5	101,6	56,60	0	0,25	12,1	1336,5	126	5,0	0,64	22058	22832	22830,0	
I 5	101,6	56,60	0	0,25	12,1	1341,0	125	5,1	0,64	22030	22828		
I 6	101,6	56,03	0	0,25	12,0	1347,5	122	5,1	0,64	21801	22441	20559,5	
I 6	101,6	56,03	0	0,25	9,9	1107,8	124	5,1	0,64	18164	18678		
I 1	101,6	55,94	15	0,31	1,1	454,7	125	5,0	0,62	8462	8554	8291,5	8725,0
I 1	101,6	55,94	15	0,31	3,8	426,9	124	5,0	0,61	7950	8029		
I 2	101,6	57,40	15	0,31	3,5	380,2	125	5,0	0,61	6988	7051	7794,5	
I 2	101,6	57,40	15	0,31	4,2	453,2	124	4,9	0,61	8480	8538		
I 3	101,6	56,53	15	0,31	4,3	476,3	120	4,9	0,65	8921	9217	8914,0	
I 3	101,6	56,53	15	0,31	4,2	463,3	121	5,0	0,61	8548	8611		
I 4	101,6	57,15	15	0,31	4,6	499,2	124	5,1	0,61	9102	9135	8712,5	
I 4	101,6	57,15	15	0,31	4,0	442,5	122	5,0	0,61	8234	8290		
I 5	101,6	56,60	15	0,31	4,5	498,1	123	5,0	0,61	9305	9340	8982,0	
I 5	101,6	56,60	15	0,31	4,2	467,4	126	5,0	0,61	8575	8624		
I 6	101,6	56,03	15	0,31	4,7	530,2	123	5,1	0,61	9718	9810	8791,5	
I 6	101,6	56,03	15	0,31	3,7	412,6	127	5,0	0,61	7714	7773		
I 1	101,6	55,94	27	0,38	1	114,9	123	4,9	0,60	2415	2416	2411,0	2489,5
I 1	101,6	55,94	27	0,38	1,0	108,4	130	4,7	0,62	2386	2406		
I 2	101,6	57,40	27	0,38	1,1	117,5	128	5,0	0,60	2418	2420	2451,5	
I 2	101,6	57,40	27	0,38	1,1	122,9	124	5,2	0,61	2474	2483		
I 3	101,6	56,53	27	0,38	1,0	114,7	122	5,1	0,62	2317	2334	2233,0	
I 3	101,6	56,53	27	0,38	0,9	99,5	124	4,9	0,60	2128	2132		
I 4	101,6	57,15	27	0,38	1,0	114,4	128	5,0	0,61	2395	2404	2420,5	
I 4	101,6	57,15	27	0,38	1,1	117,0	126	5,0	0,61	2425	2437		
I 5	101,6	56,60	27	0,38	1,2	128,8	116	4,9	0,61	2701	2719	2646,0	
I 5	101,6	56,60	27	0,38	1,1	121,0	129	4,9	0,60	2575	2573		
I 6	101,6	56,03	27	0,38	1,2	134,2	130	4,9	0,61	2827	2845	2775,0	
I 6	101,6	56,03	27	0,38	1,2	130,9	130	5,0	0,59	2717	2705		
I 1	101,6	55,94	40	0,45	0,3	28,6	121	4,7	0,59	704	701	679,0	837,9
I 1	101,6	55,94	40	0,45	0,3	28,4	121	4,9	0,55	667	657		
I 2	101,6	57,40	40	0,45	0,3	35,9	123	4,7	0,55	878	861	809,5	
I 2	101,6	57,40	40	0,45	0,3	32,7	121	4,9	0,54	772	758		
I 3	101,6	56,53	40	0,45	0,3	32,2	120	4,7	0,56	793	781	791,5	
I 3	101,6	56,53	40	0,45	0,3	33,1	98	4,7	0,58	809	802		
I 4	101,6	57,15	40	0,45	0,3	34,8	161	4,6	0,72	877	914	905,5	
I 4	101,6	57,15	40	0,45	0,3	34,9	112	4,4	0,58	904	897		
I 5	101,6	56,60	40	0,45	0,3	32,2	129	4,8	0,70	772	799	868,5	
I 5	101,6	56,60	40	0,45	0,3	34,8	143	4,4	0,69	909	938		
I 6	101,6	56,03	40	0,45	0,4	44,1	116	4,8	0,54	1058	1036	1004,0	
I 6	101,6	56,03	40	0,45	0,4	40,1	122	4,6	0,54	994	972		

Příloha 8 Pevnosti asfaltových směsí v příčném tahu (ITS_d, ITS_w) a odolnosti proti vodě (ITSR)

ACO 16 S

Název tělesa	Výška tělesa [mm]	Průměr tělesa [mm]	Objemová hmotnost tělesa [Mg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost tělesa [Mg/m ³]	Maximální síla [kN]	Maximální deformace [mm]	Zkouška	Pevnost v příčném tahu [Mpa] ITS	Pevnost v příčném tahu směs [Mpa] ITS	Odolnost vůči vodě [%] ITSR
I C	62,18	101,60	2,187	2,165	12,47	3,00	ITS _D	1,257	1,282	66,18
I F	63,56	101,60	2,092		11,91	3,30	ITS _D	1,174		
I B	61,02	101,60	2,181		12,93	2,75	ITS _D	1,328		
I D	60,67	101,60	2,201		13,26	2,87	ITS _D	1,369		
I H	62,72	101,60	2,192	2,164	8,91	3,51	ITS _W	0,890	0,848	
I G	61,97	101,60	2,147		8,84	4,01	ITS _W	0,894		
I E	61,72	101,60	2,153		7,66	4,31	ITS _W	0,778		
I A	61,89	101,60	2,164		8,22	3,89	ITS _W	0,832		

ACO 16 S FI

Název tělesa	Výška tělesa [mm]	Průměr tělesa [mm]	Objemová hmotnost tělesa [Mg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost tělesa [Mg/m ³]	Maximální síla [kN]	Maximální deformace [mm]	Zkouška	Pevnost v příčném tahu [Mpa] ITS	Pevnost v příčném tahu směs [Mpa] ITS	Odolnost vůči vodě [%] ITSR
II E	56,48	101,60	2,404	2,420	19,50	3,00	ITS _D	2,164	2,206	69,15
II D	56,71	101,60	2,418		19,93	2,68	ITS _D	2,202		
II A	56,57	101,60	2,392		20,23	3,24	ITS _D	2,241		
II B	54,72	101,60	2,466		19,38	3,10	ITS _D	2,219		
II C	56,23	101,60	2,421	2,421	13,94	3,23	ITS _W	1,553	1,526	
II G	55,14	101,60	2,438		15,13	3,13	ITS _W	1,719		
II F	55,61	101,60	2,434		12,50	3,78	ITS _W	1,408		
II H	56,37	101,60	2,391		12,79	3,17	ITS _W	1,422		

ACO 16 S PMB

Název tělesa	Výška tělesa [mm]	Průměr tělesa [mm]	Objemová hmotnost tělesa [Mg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost tělesa [Mg/m ³]	Maximální síla [kN]	Maximální deformace [mm]	Zkouška	Pevnost v příčném tahu [Mpa] ITS	Pevnost v příčném tahu směs [Mpa] ITS	Odolnost vůči vodě [%] ITSR
II G	55,99	101,60	2,439	2,464	20,75	2,95	ITS _D	2,322	2,340	68,41
II D	54,80	101,60	2,459		20,41	3,50	ITS _D	2,334		
II B	54,99	101,60	2,473		19,55	3,44	ITS _D	2,228		
II C	54,10	101,60	2,483		21,37	3,40	ITS _D	2,475		
II F	55,58	101,60	2,448	2,465	15,03	3,54	ITS _W	1,694	1,601	
II A	55,41	101,60	2,471		13,67	3,61	ITS _W	1,546		
II E	54,36	101,60	2,498		13,77	3,87	ITS _W	1,587		
II H	55,31	101,60	2,444		13,90	3,62	ITS _W	1,575		

Příloha 9 Odolnost vůči trvalým deformacím

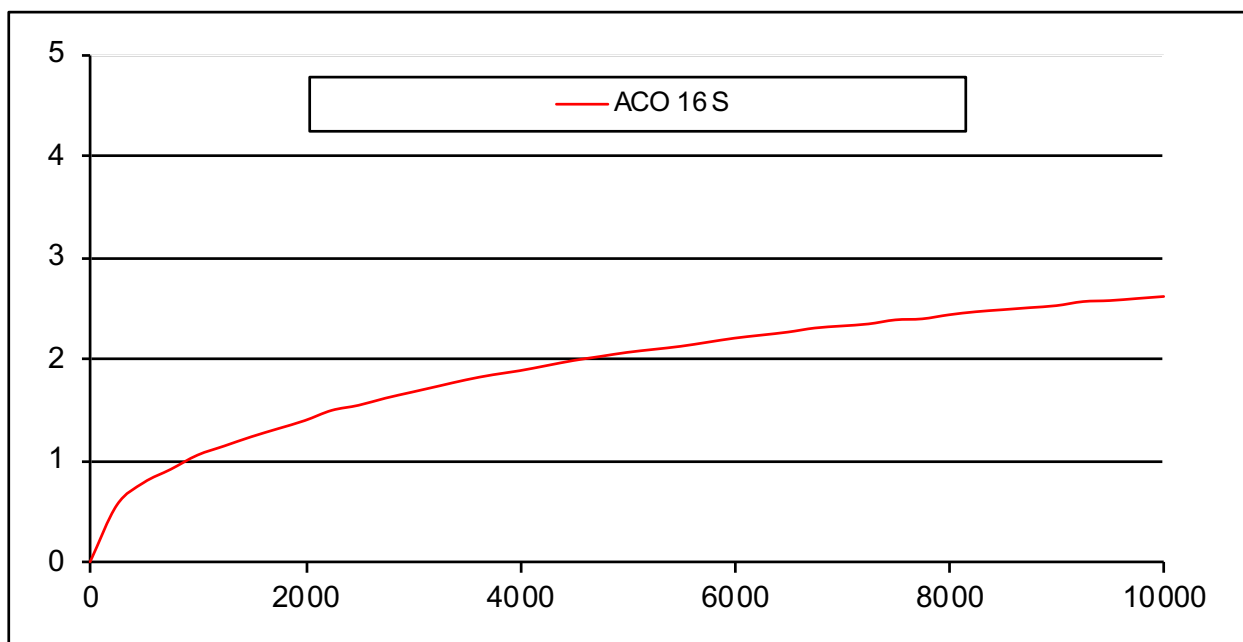
Směs	Tloušťka desky [mm]	Obj. hmotnost [kg/m ³]	Míra zhutnění [%]	Prům. hloubka koleje po 5 000 cyklech [mm]	Prům. hloubka koleje po 10 000 cyklech [mm]	WTS _{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	PRD _{AIR} [%]
ACO 16 S	60,13	2,457	103,1	2,06	2,61	0,110	3,433
ACO 16 S FI	60,24	2,606	100,6	1,35	1,51	0,032	2,250
ACO 16 S PMB	60,51	2,615	99,6	1,46	1,56	0,020	2,433

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

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



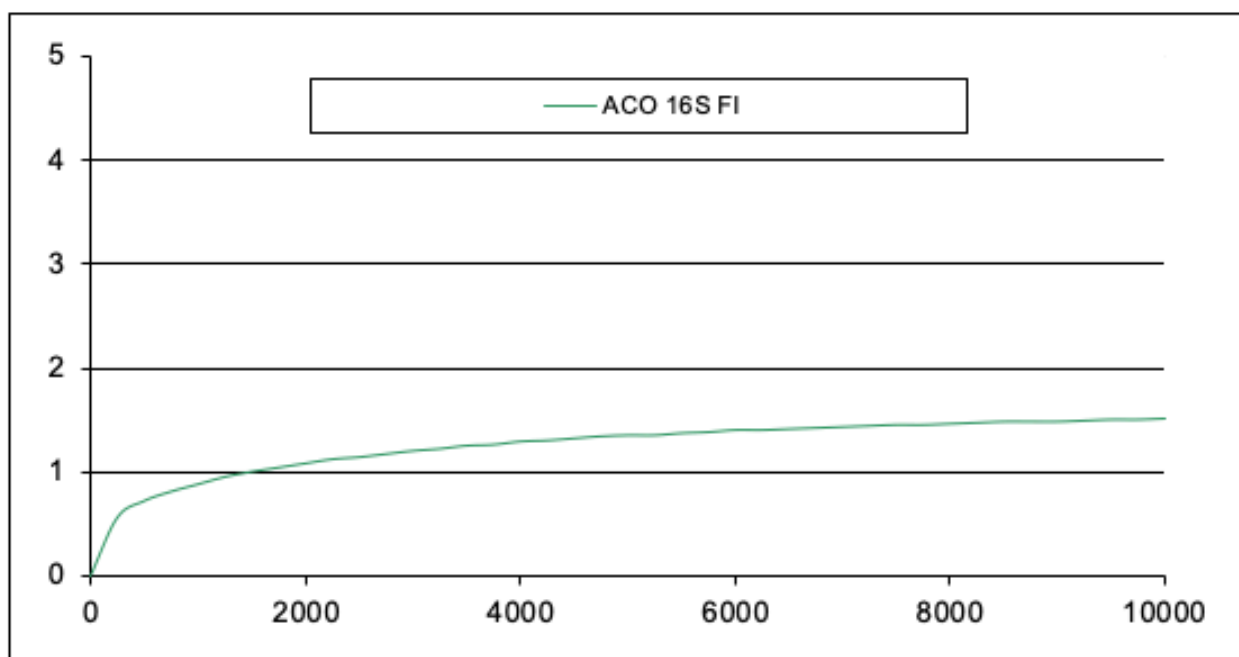
kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	2,06	2,61	0,55
průměr	2,06	2,61	0,55
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,1100 mm
	PRD_{AIR}		3,433 %

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

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



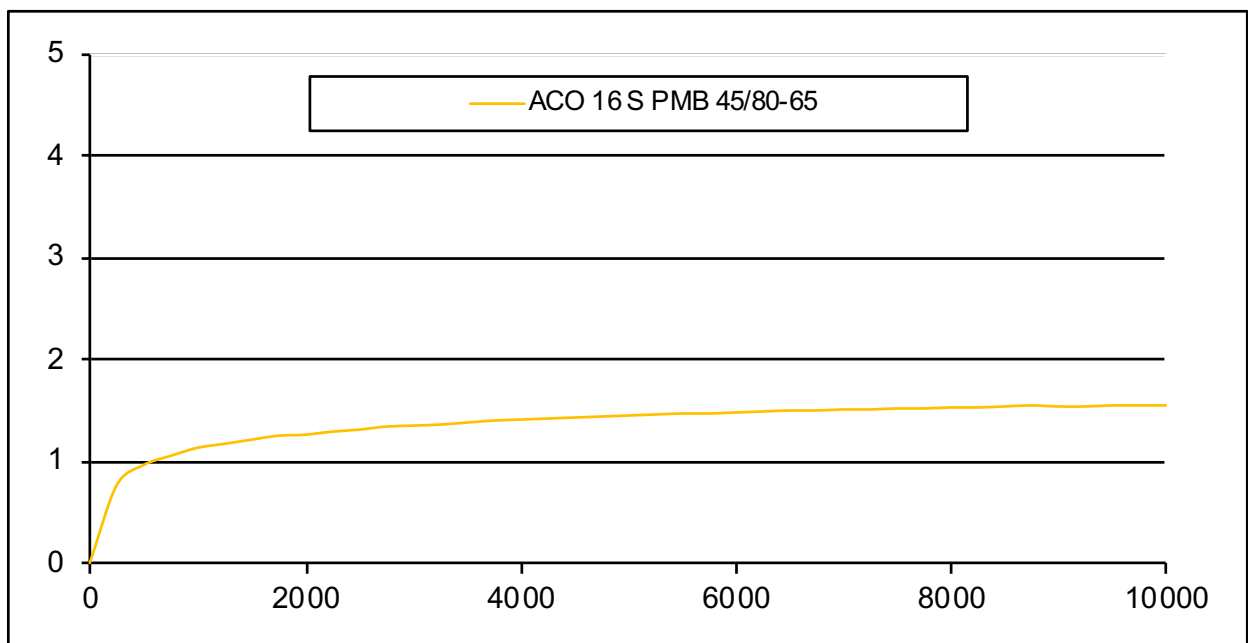
kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
2	1,35	1,51	0,16
průměr	1,35	1,51	0,16
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$	5	0,0320 mm
	PRD_{AIR}		2,250 %

Zkouška odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím

provedeno dle ČSN EN 12697-22

Zkouška opakovaného poježdění kolem

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



kolo	průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech v mm	průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech v mm	$d_{10\,000} - d_{5\,000}$ (mm)
1	1,46	1,56	0,10
průměr	1,46	1,56	0,10
přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	$\frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$		0,0200 mm
PRD_{AIR}			2,433 %

Příloha 13 Odolnost proti šíření trhlin (0 a -10 °C)

Těleso	Teplota	Průměr tělesa	Výška tělesa	Tloušťka tělesa	Maximální deformace	Maximální síla	Průměrná maximální deformace	Průměrná maximální síla	Relativní přetvoření	Průměrné relativní přetvoření	Maximální napětí	Průměrné maximální napětí	Faktor intenzity napětí	Odolnost proti lomu	Průměrná odolnost proti lomu
název	[°C]	D [mm]	W [mm]	t [mm]	ΔW_{max} [mm]	F _{max} [kN]	ΔW_{max} [mm]	F _{max} [kN]	e _{max} [-]	e _{max} [-]	σ _{max} [N/mm ²]	σ _{max} [N/mm ²]	Y ₁	KIc [N/mm ^{3/2}]	KIc [N/mm ^{3/2}]
I1	0	101,73	50,00	49,13	0,71	3,88	0,75	4,58	1,420	1,51	0,776	0,93	4,794	20,860	24,87
I2	0	101,40	48,97	47,42	0,48	4,35			0,980		0,905				
I3	0	102,77	49,07	48,02	0,78	5,19			1,590		1,052				
I4	0	103,00	50,03	48,31	0,73	4,11			1,459		0,826				
I5	0	102,28	49,45	48,81	0,99	4,98			2,002		0,998				
I6	0	102,25	49,70	48,80	0,80	4,98			1,610		0,998				
II1	0	101,30	49,09	48,82	0,70	7,84	0,83	7,87	1,426	1,66	1,585	1,60	4,794	42,602	43,02
II3	0	101,44	49,91	48,93	0,88	8,18			1,763		1,648				
II4	0	101,54	50,21	48,14	1,02	7,87			2,031		1,610				
II5	0	102,15	49,26	48,14	0,81	7,87			1,644		1,600				
II6	0	101,62	49,38	47,89	0,72	7,60			1,458		1,562				
III1	0	101,78	48,90	49,23	0,59	7,50			1,207		1,497				
III2	0	101,50	48,42	49,20	0,69	8,11	0,66	7,65	1,425	1,36	1,624	1,55	4,794	43,640	41,65
III3	0	101,46	48,02	47,71	0,74	6,94			1,541		1,434				
III4	0	101,24	48,27	48,82	0,65	7,87			1,347		1,592				
III5	0	101,52	48,79	49,00	0,70	8,19			1,435		1,646				
III6	0	101,51	49,21	47,77	0,60	7,30			1,219		1,505				
III6	0	101,51	49,21	47,77	0,60	7,30			1,219		1,505				
I1	-10	101,56	49,11	48,46	0,80	3,98	0,73	4,36	1,629	1,47	0,809	0,88	4,794	21,730	23,75
I2	-10	101,34	49,95	48,09	0,97	4,25			1,942		0,872				
I3	-10	102,40	49,96	48,13	0,47	4,79			0,941		0,972				
I4	-10	102,62	49,41	48,97	0,52	5,06			1,052		1,007				
I5	-10	101,48	48,53	48,50	0,41	3,79			0,845		0,770				
I6	-10	102,00	48,42	48,41	1,18	4,31			2,437		0,873				
II1	-10	101,47	49,08	48,74	0,65	7,13	0,53	7,36	1,324	1,10	1,442	1,50	4,794	38,741	40,30
II3	-10	100,97	47,99	47,58	0,42	5,93			0,875		1,234				
II4	-10	101,55	48,18	49,27	0,54	8,48			1,121		1,695				
II5	-10	101,89	49,23	48,51	0,57	8,47			1,158		1,714				
II6	-10	101,42	48,44	47,42	0,49	6,80			1,012		1,414				
III1	-10	102,12	50,11	50,00	1,09	9,07			2,175		1,776				
III2	-10	101,51	49,87	50,10	1,13	9,33	0,82	9,49	2,266	1,65	1,835	1,90	4,794	47,272	50,98
III3	-10	101,67	49,91	48,83	0,61	9,36			1,222		1,885				
III4	-10	101,45	49,78	49,09	0,86	10,38			1,728		2,084				
III5	-10	101,70	49,11	48,81	0,66	8,89			1,344		1,791				
III6	-10	101,62	48,94	48,39	0,58	9,89			1,185		2,011				
III6	-10	101,62	48,94	48,39	0,58	9,89			1,185		2,011				