



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NAVRHOVÁNÍ NÍZKOTEPLTNÍCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

DESIGN OF LOW-TEMPERATURE ASPHALT MIXTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jana Líšková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jana Líšková
Název	Navrhování nízkoteplotních asfaltových směsí
Vedoucí práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

TP238 Nízkoteplotní asfaltové směsi

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108.

Zkušební normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 12697.

Publikace: Technologie stavby vozovek - Jan Zajíček a kol.

Internetové zdroje.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

1. Teoretické zpracování problematiky
2. Odběry asfaltových směsí na obalovně
3. Laboratorní zkoušení se zaměřením na stanovení teplotních závislostí
4. Souhrn získaných výsledků se závěry

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

V tejto diplomovej práci je riešená problematika nízkoteplotných asfaltov a spojív do asfaltových zmesí. Diplomová práca je rozdelená do dvoch častí, teoretickú a praktickú. V teoretickej časti diplomovej práci bolo cieľom spracovať prehľad technológií, ktoré umožňujú znížiť pracovnú teplotu pri výrobe a pokládke asfaltových zmesí. Cieľom praktickej časti bolo porovnať funkčné parametre dvoch typov asfaltových zmesí vyrobených v dvoch variantoch, a to s bežným asfaltovým spojivom a s pridaním prísady Licomont do asfaltovej zmesi. Pozornosť bola venovaná tuhosti, skúške vyjazdovania kolesom a nízkoteplotným parametrom.

KLÍČOVÁ SLOVA

asfaltové spojivo, asfaltová zmes, asfaltový betón, teplá asfaltová zmes, organické prísady, chemické prísady, funkčne skúšky, modul tuhosti, nízkoteplotné charakteristiky

ABSTRACT

In this diplomatic work, the issue of low-temperature asphalts and binders for asphalt mixtures is solved. Diploma work is divided into two parts, theoretical and practical. In the theoretical part of diploma work, the purpose was to process a overview of technologies that allow the reduction of working temperature in the production and laying of asphalt mixtures. The purpose of the practical part was to comparison the functional parameters of two types of asphalt mixtures made in two variants, with the common asphalt binder and adding licomont into asphalt. Attention was given to stiffness, wheel drive tests and low temperature parameters.

KEYWORDS

asphalt binding, asphalt mixture, asphalt concrete, organic additives, chemical additives, functional tests, stiff module, low-temperature characteristics, stiffness module, low-temperature characteristics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jana Líšková *Navrhování nízkoteplotních asfaltových směsí*. Brno, 2019. 64 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Navrhování nízkoteplotních asfaltových směsí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 30. 12. 2019

Bc. Jana Líšková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Navrhování nízkoteplotních asfaltových směsí* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30. 12. 2019

Bc. Jana Líšková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rada by som sa poďakovala svojmu vedúcemu diplomovej práce doc. Dr. Ing. Michalovi Varausovi za ochotu a odborné vedenie, bez ktorého by táto práca nevznikla. Moje poďakovanie patrí tiež spoločnosti OHL ŽS, a.s. a spoločnosti PORR a.s., za výrobu asfaltových zmesí, ktoré boli v rámci tejto diplomovej práce testované. Ďalej ďakujem zamestnancom laboratória Ústavu pozemných komunikácií VUT FAST v Brne, predovšetkým Pavlovi Strakovi za pomoc pri realizovaní laboratórnych skúšok. Nakoniec by som chcela poďakovať celej mojej rodine, ktorá ma podporovala behom štúdia.

OBSAH

1.	ÚVOD	10
2.	TEORETICKÁ ČASŤ	11
2.1.	Konštrukcia vozovky.....	11
2.2.	Asfaltová vrstva.....	12
2.3.	Asfalt	12
2.4.	Asfaltové zmesi	13
2.5.	Výroba za tepla spracovávaných asfaltových zmesí	14
2.6.	Znižovanie pracovných teplôt	14
2.7.	Nízkoteplotný asfalt (NTAS)	15
2.8.	Výroba za tepla spracovávaných asfaltových zmesí	16
2.9.	Prísady.....	17
2.9.1.	Organické príklady	17
2.9.2.	Chemické príklady.....	20
2.9.3.	Minerálne príklady	20
2.10.	Výhody NTAS.....	20
2.11.	Warm mix asphalt (WMA) v zahraničí	21
2.12.	Nízkoteplotné asfalty v Českej republike	23
2.13.	Nízkoteplotné asfalty na Slovensku	24
2.14.	Legislatíva	26
3.	CIEĽ PRÁCE	27
4.	PRAKTICKÁ ČASŤ	27
4.1.	Použité materiály.....	27
4.1.1.	Kamenivo.....	27
4.1.2.	Spojivo	30
4.2.	Asfaltové zmesi	30
4.2.1.	ACO 11 + 50/70.....	30

4.2.2.	ACO 11 + NT 50/70	31
4.2.3.	ACL 16 + 50/70	31
4.2.4.	ACL 16 + NT 50/70	32
4.3.	Použité skúšobne metódy	33
4.3.1.	Príprava telies rázovým zhutňovačom (Marshallova skúška).....	33
4.3.2.	Stanovenie objemovej hmotnosti	35
4.3.3.	Stanovenie maximálnej objemovej hmotnosti	36
4.3.4.	Postup zistenia požadovanej teploty hutnenia NTAS	38
4.3.5.	Popis skúšky pojazdom kolesa.....	43
4.3.6.	Postup skúšky pojazdom kolesa.....	46
4.3.7.	Výpočet prírastku hĺbky vyjazdenej koľaje	47
4.3.8.	Výpočet priemernej hĺbky vyjazdenej koľaje	47
4.3.9.	Vyhodnotenie skúšky pojazdom kolesa.....	47
4.3.10.	Popis skúšky stanovenia modulov tuhosti	49
4.3.11.	Postup skúšky stanovenia modulov tuhosti	52
4.3.12.	Výpočet modulov tuhosti	53
4.3.13.	Vyhodnotenie skúšky modulov tuhosti.....	55
5.	ZÁVER.....	58
6.	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	59
7.	ZOZNAM GRAFOV	62
8.	ZOZNAM TABULIEK.....	63
9.	ZOZNAM OBRÁZKOV	64

1. ÚVOD

Každodennou súčasťou života je doprava. Celosvetový nárast cestnej dopravy vedie k neustálym požiadavkám na konštrukcie vozovky. Najčastejšie používaným typom je vozovka s asfaltovým krytom, takzvaná netuhá. Výroba asfaltových zmesí je realizovaná pri pomerne vysokých teplotách, preto je vo zvýšenej miere venovaná pozornosť novým technologickým možnostiam výroby a pokládky hutnených asfaltových zmesí.

Výroba asfaltových zmesí je spojená s energetickou náročnosťou, s produkciou skleníkových plynov, uvoľňovaním výparov, či aerosólov z asfaltového spojiva, čo má negatívny vplyv na životné prostredie. Veľkou váhou zníženia teplôt je aj podmienka, ktorá vyplýva z procesu registrácie a schválenia o chemických látkach – REACH [17]. Je to hodnotenie všetkých chemických látok, ktoré sa uvádzajú na trh, že v zmysle rizík, nie sú nebezpečné pre životné prostredie. V súčasnej dobe, napríklad v Nemecku, nemôže presiahnuť pokládka liatych asfaltov 230°C v otvorenom priestore.

V poslednom desaťročí sa uskutočňujú prieskumy na asfaltových vozovkách, u ktorých boli použité prísady umožňujúce zníženie pracovných teplôt. Zníženie teploty je dosiahnuté pridaním chemických alebo organických prísad, ktoré znižujú viskozitu asfaltového spojiva. Zníženie pracovných teplôt býva spravidla v rozsahu 10 - 30°C. Tieto vozovky sú v prevádzke zhruba 8 rokov. Na základe tohto prieskumu sa preukázalo, že upravené asfaltové zmesi (Nízkoteplotné) sú si rovnocenné s tými tradičnými.

Cieľom mojej diplomovej práce je preukázať o akú teplotu je možné znížiť výrobu a pokládku asfaltových zmesí pridaním prísady LICOMONT a aké majú zmesi s Licomontom vlastnosti oproti bežným asfaltovým zmesiam rovnakého zloženia. Znížením teploty preukážem lepšie vlastnosti asfaltu a jeho teplotou šetrnejší dopad na životné prostredie [1] [3] [12] [21].

2. TEORETICKÁ ČASŤ

Teoretická časť diplomovej práce je venovaná výrobe nízkoteplotných asfaltov. V úvode kapitoly je uvedené základné rozdelenie asfaltových vrstiev a problematika znižovania pracovných teplôt. Hlavným cieľom diplomovej práce je zoznámiť sa s problematikou technológie nízkoteplotných asfaltov, prípravou laboratórnych zmesí a zistenie vlastností týchto zmesí.

2.1. Konštrukcia vozovky

Vozovka je spevnená časť pozemnej komunikácie, umožňujúca svojou únosnosťou a rovným povrchom bezpečnú, rýchlu a pohodlnú jazdu vozidiel.

Podstatou návrhu konštrukcie vozovky je výber vhodných materiálov pre jednotlivé konštrukčné vrstvy. Každá jednotlivá konštrukčná vrstva je vyrobená z jedného stavebného materiálu a jedným technologickým postupom. Konštrukčné vrstvy vozovky môžu byť nestmelené alebo stmelené vhodným spojivom. V tomto obore sa používajú spojivá na báze asfaltu alebo cementu. Príkladom stmelených vrstiev sú napr. cementobetónové kryty (tzv. tuhé vozovky), asfaltové vrstvy (netuhé).

Rozlišujeme tieto typy konštrukčných vrstiev:

- obrusná
- ložná
- podkladová
- ochranná

Každá jednotlivá asfaltová vrstva plní svoju dôležitú funkciu z hľadiska jej namáhania. Hlavné faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na konštrukciu vozovky a jej dimenzie sú dopravné zaťaženie, inžinierskogeologické podmienky v podloží a jeho únosnosť, klimatické podmienky, ako aj vlastnosti stavebných materiálov.

Pre bezpečnosť jazdy sa pri obrusných vrstvách sledujú ešte tieto požiadavky na trvanlivosť:

- odolnosť proti vyhladzovaniu a obrusovaniu od pôsobenia šmykových napätí kolies vozidla
- odolnosť proti pôsobeniu zrážkovej vody

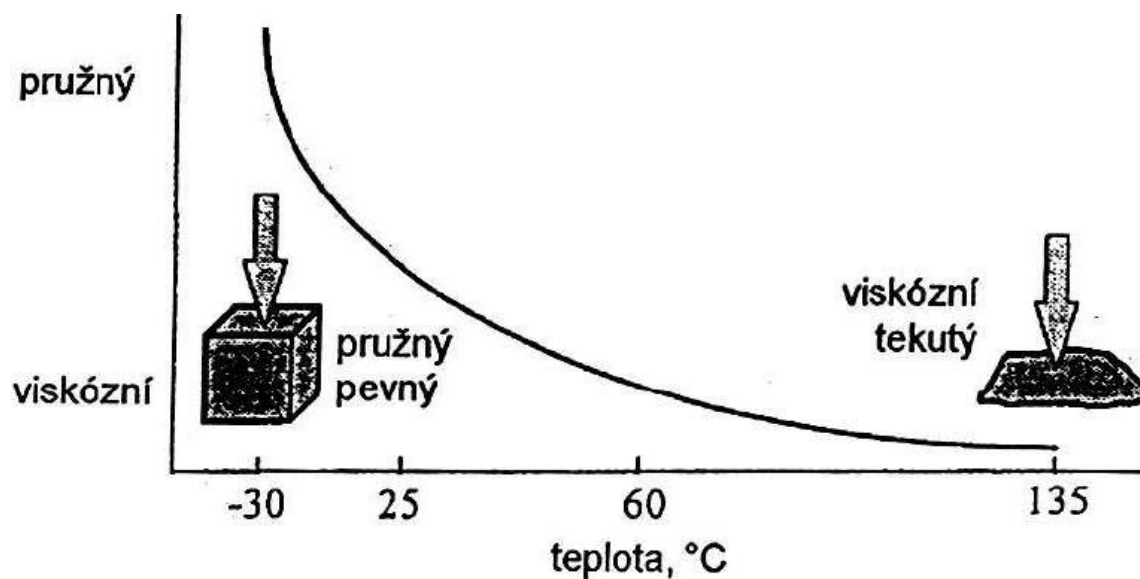
- dostatočné protišmykové vlastnosti po celú dobu životnosti
- priečny sklon pre zaistenie odtoku zrážkovej vody
- zabezpečenie nepriepustnosti vody do konštrukcie vozovky a podložia

2.2. Asfaltová vrstva

Najrozšírenejším typom vrstiev používaných pre kryt vozovky sú asfaltové vrstvy. Asfaltové vrstvy sa skladajú zo zmesi kameniva a asfaltového spojiva, prípadne ďalších prísad, ktoré zlepšujú vlastnosti tejto zmesi.

2.3. Asfalt

Asfalt, asfaltové spojivo (anglicky bitumen) je jedným zo základných stavebných materiálov, kde jeho oblasť použitia v cestnom staviteľstve je veľmi široká. Z chemického hľadiska je asfalt koloidná zmes vysoko molekulárnych uhlíkov a heteroatomických látok rôznych organických zlúčenín. Obsahuje tekuté zložky (tzv. maltény) a pevné zložky (tzv. asfaltény). Z fyzikálneho hľadiska sa jedná o amorfný, viskózo-elastický materiál, ktorého chovanie sa mení hlavne so zmenou teploty. Pri nízkych teplotách sa chová ako pružná pevná látka a pri vysokých ako tekutina.



Obrázok č. 1: Viskózo-elastické chovanie asfaltu

2.4. Asfaltové zmesi

Podľa účelu použitia existujú rôzne druhy asfaltových zmesí. Napríklad: asfaltový betón (AC), asfaltový betón pre veľmi tenké vrstvy (BBTM), asfaltový koberec mastixový (SMA), asfaltový koberec drenážny (PA), asfaltový koberec otvorený (AKO).

Asfaltovú zmes tvorí kostra zrn kameniva, ktoré sú obalené asfaltom. Táto výroba prebieha v obalovniach za vysokej teploty (150 – 200°C). Cyklus výroby sa riadi výrobným predpisom, v ktorom sú uvedené minimálne a maximálne teploty, ktoré nesmú byť prekročené

Asfaltový betón sa používa na stavbu krytu cestných a diaľničných vozoviek, letiska a iných spevnených plôch.

Asfaltová zmes s označením AC má plynulú čiaru zrnitosti (Fullerova parabola), kde na kostre zhutnenej zmesi sa podieľajú všetky frakcie kameniva vzájomným dotykom zrn.

Podľa použitia asfaltového betónu v konštrukciách vozovky sa asfalty delia na: obrusné vrstvy, ložné vrstvy a podkladové vrstvy. Asfaltový betón sa ďalej označuje podľa použitia frakcie kameniva. Obrusná vrstva má frakciu kameniva 8 alebo 11 mm. Ložná a podkladová vrstva má frakciu kameniva 16 alebo 22 mm. Hlavnú kostru vyplňa asfaltové spojivo.

Pre obrusné vrstvy je určený aj asfaltový koberec mastixový (SMA). Ten sa vyznačuje prerušovanou čiarou zrnitosti, kde nosnou kostrou zmesi je najhrubšia frakcia kameniva. Výplň je tvorená ostatným kamenivom spolu s asfaltovým spojivom a kamennou múčkou, ktoré vytvárajú asfaltovú maltu, takzvaný mastix. Výplňová malta vzájomne tmelí zrná nosnej kostry.

Obsah asfaltu v porovnaní s asfaltovým betónom je vyšší o 6 – 8%. Výhodou mastixového asfaltu je vysoká odolnosť proti tvorbe trvalých deformácií, proti tvorbe mrazových trhlin, útlm hluku dopravy a dobrá príľnavosť k podkladu. Používa sa na pozemných komunikáciách s vyšším dopravným zaťažením [1].

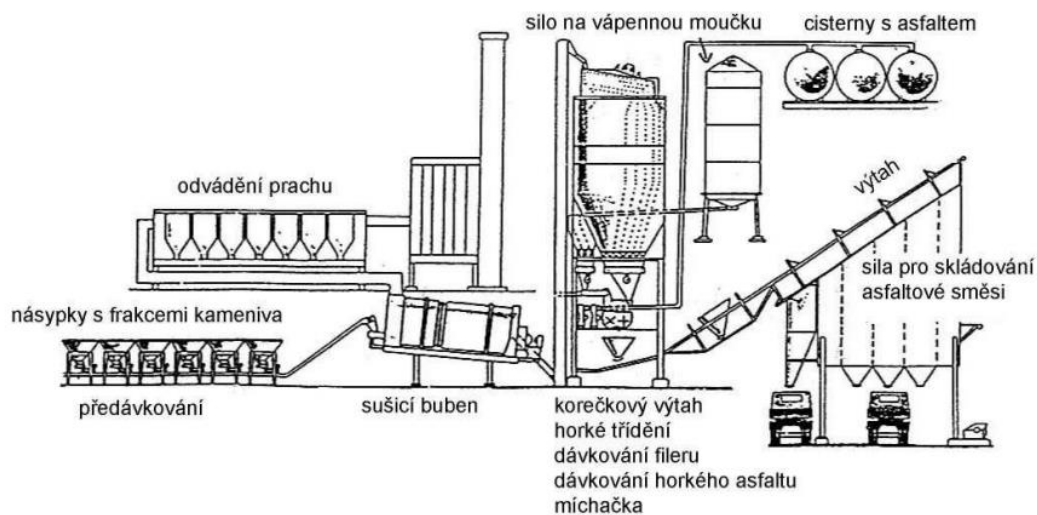
Častejším používaním asfaltového betónu (ACO) oproti asfaltovému koberci mastixovému (SMA), je aj dôvod nižšej ceny. Cena ACO sa pohybuje okolo 1050 Kč/t a SMA okolo 1600 Kč/t.

2.5. Výroba za tepla spracovávaných asfaltových zmesí

- Bežné asfalty

Rozlišujeme dva typy obal'ovien - kontinuálnu a šaržovú. Kontinuálna sa v Českej republike už nepoužíva, z dôvodu veľkej líniovej rozlohy a nutnosti použitia len jednej receptúry. Naopak v USA sa tento typ používa najčastejšie, tvorí ho zhruba 80%.

V Českej a Slovenskej republike sa najčastejšie používajú šaržové obal'ovny. Ich výhodou je možná zmena receptúry asfaltovej zmesi [1].

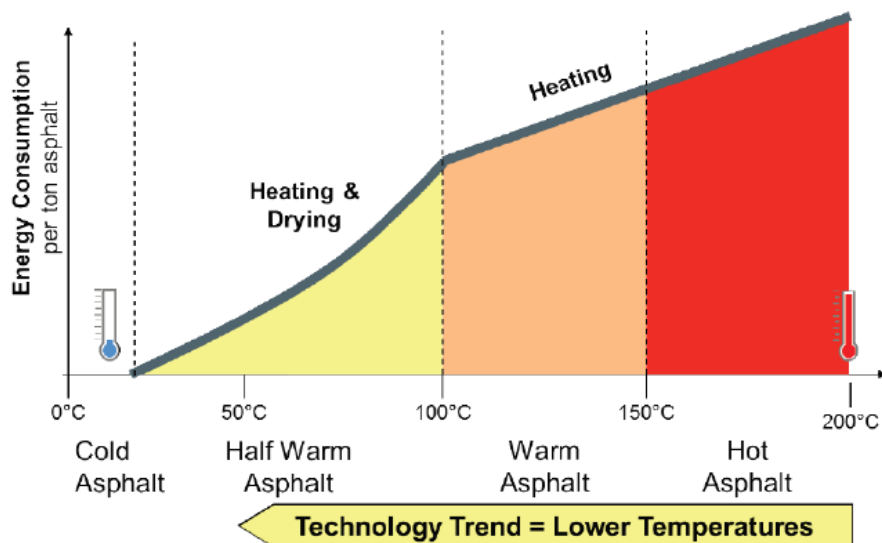


Obrázok č. 2: Schéma šaržovej obal'ovny

2.6. Znižovanie pracovných teplôt

V poslednom desaťročí je vo veľkej miere venovaná pozornosť technologickým možnostiam znižovania pracovných teplôt. Jedná sa hlavne o obmedzenie energetickej náročnosti výroby asfaltových zmesí, čím docielime menšiu produkciu CO₂, vrátane uvoľňovania výparov a aerosólov z asfaltového spojiva pri jeho spracovaní za tepla. Koncentrácia emisií závisí od teploty asfaltovej zmesi [3].

Na grafe č. 1 je vidieť krivku, ktorá znázorňuje, že vplyvom rastúcej pracovnej teploty asfaltovej zmesi rastie aj spotreba energie. Znížením pracovnej teploty nie je teda výhodou len ochrana životného prostredia, ale aj ekonomický prínos samotných výrobcov asfaltových zmesí [13].



Graf č. 1: Rozdelenie asfaltových zmesí v závislosti od výrobnjej teploty

V zahraničí tento prieskum trvá už niekoľko rokov. Posudzujú sa komunikácie v prevádzke osem a menej rokov, kde pri výrobe boli u nich použité prísady umožňujúce zníženie pracovných teplôt. Ich výsledkom je, že v porovnaní s tradičnými asfaltovými zmesami sa dajú považovať za technicky rovnocenné. Konečné posúdenie sa môže vydať po prevádzke 15 rokov. Sú preto potrebné ďalšie merania a sledovania [2].

2.7. Nízkoteplotný asfalt (NTAS)

Uplatnenie nízkoteplotných asfaltových zmesí v konštrukcií vozovky sa riadi vždy podmienkami zvoleného prvotného typu asfaltovej zmesi. Obecne môžu byť používané pre brusné, ložné, aj podkladové vrstvy vozoviek každej triedy dopravného zaťaženia a v obvyklých hrúbkach. V niektorých prípadoch môžu tieto zmesi vykazovať zlepšenie niektorých charakteristík [3] [13].

Okrem obvyklých aplikácií asfaltových zmesí sa môže tento druh asfaltu účelne použiť aj pre:

- asfaltové zmesi používané vo vnútorných priestoroch a v tuneloch (zníženie emisií)
- realizáciu ochranných vrstiev izolácií a krytov na mostoch

- spevnené letiskové a iné dopravné plochy s požiadavkou rýchlejšieho uvedenia do prevádzky
- dopravné a priemyslové plochy s extrémnym zaťažením
- stavebné práce realizované pri zhoršených poveternostných podmienkach

Technológia na výrobu NTAS ma za úlohu znížiť viskozitu asfaltu a zároveň zachovať dostatočnú schopnosť obaliť kamenivo a následne bez problémov zhutniť vozovku. Zníženie pracovnej teploty sa dá docieľiť dvoma najčastejšími spôsobmi:

- použitím viskózných spojív alebo organických, či chemických prísad znižujúcich viskozitu
- použitím minerálnych prísad

Nízkoteplotné asfalty sa označujú rovnakým spôsobom ako bežné asfalty. Ak sa jedná o tento asfalt s prísadami, ktoré boli použité priamo pri výrobe asfaltovej zmesi, sa pri aplikácii priemyselne vyrobeného nízko viskózneho asfaltového spojiva doplní znak „NV“ a „NT“.

2.8. Výroba za tepla spracovávaných asfaltových zmesí

- Nízkoteplotné asfalty (NTAS)

Môžu sa použiť len automatizované obalované súpravy. Pri výrobe NTAS je dôležité, aby potrebné zvolené prísady mali svoj zásobník s dávkovacím systémom. Dávkovacie zariadenie musí umožniť presné a plynulé hmotnosti či objemové dávkovanie danej prísady. Prípustné je taktiež dávkovanie v podobe presne navážených obaloch, ktoré sa aplikujú priamo do miešacieho zariadenia.

Požadovaná teplota zmesi pri výrobe musí byť stanovená s ohľadom na okrajové podmienky (doba prepravy, poveternostné vplyvy, spôsob pokládky) a na orientačné hodnoty teploty zmesi v mieste rozdeľovacieho slimáka finišeru (tabuľka č.1).

Pri výrobe sa organické prísady môžu pridávať v tekutej alebo granulovanej forme, pričom v tekutej forme je dosiahnuté lepšie homogénne premiešanie. Chemické prísady sa pridávajú v tekutej podobe. Pri dávkovaní je dôležité počítat' s predĺžením doby miešania o 15 sekúnd.

Je dôležité myslieť na dodržiavanie maximálnych doporučených teplôt. Pri vysokých teplotách sa to môže negatívne odraziť na výsledku pokládky (malá medzerovitosť u hutnených asfaltových zmesí) [3].

Druh směsi	Druh výchozího pojiva	Orientační hodnoty teploty směsi při výrobě	Orientační hodnoty teploty směsi při pokládce
Hutněná asfaltová směs	70/100	130 až 150 °C	min. 120 °C
	50/70	130 až 150 °C	
	30/45 (35/50)	140 až 160 °C	min. 130 °C
	PMB 45/80-55,60	140 až 160 °C	
	PMB 25/55-55,60	140 až 160 °C	min. 130 °C
	PMB 10/40-65	150 až 170 °C	min. 140 °C
Litý asfalt	30/45 (35/50)	200 až 230 °C	min. 200 °C
	20/30	200 až 230 °C	max. 230 °C
	PMB 25/55-55,60	210 až 230 °C	min. 210 °C
	PMB 10/40-65		max. 230 °C

Tabuľka č. 1: Informatívne hodnoty pracovných teplôt NTAS pre najčastejšie používané prísady – TP 238

2.9. Prísady

2.9.1. Organické prísady

Prvou technologickou možnosťou zníženia výrobnjej teploty asfaltovej zmesi je použitie organických prísad.

Organické prísady sú látky, ktoré umožňujú úpravu reologických vlastností asfaltových zmesí. Prísady nám umožňujú zníženie teploty pri výrobe a spracovaní asfaltových zmesí, ale aj zlepšujú priľnavosť asfaltu ku kamenivu. Pri dosiahnutí zníženia teploty sa zníži viskozita asfaltového spojiva, tým pádom aj celej asfaltovej zmesi. Táto úprava nám zvyšuje odolnosť proti vzniku trvalých deformácií a súčasne nastane zvýšenie hodnôt modulu tuhosti [3].

Najčastejšie používané organické prísady sú:

- Fischer-Tropschove parafíny (FT parafíny) - alifatické uhl'ovodíky s dlhým reťazcom, ktoré vznikajú syntézou zo zemného plynu. Rozsah teplôt topenia je 115 až 120 °C

- amidy mastných kyselín – alifatické uhľovodíky s dlhými reťazcami, s rozsahom teplôt topenia 140 až 145 °C
- montánne vosky – získavané spracovaním hnedého uhlia majú široký rozsah teplôt 110 až 140 °C. Používajú sa najmä na modifikácie pri výrobe liateho asfaltu [14] [15]

Aby na výrobu NTAS bolo možné použiť prísadu, musí výrobca asfaltovej zmesi objednávateľovi predložiť spolu so skúškou typu aj technický list, vydaný výrobcom prísady.

Len čo však teplota zmesi klesne pod uvedený rozsah, začínajú prísady kryštalizovať a prispievajú k „tuhnutiu“ zmesi. Pri vyšších teplotách sa organické prísady plne rozpustia, vytvoria homogénnu látku a v tekutom stave znižujú viskozitu asfaltovej zmesi.

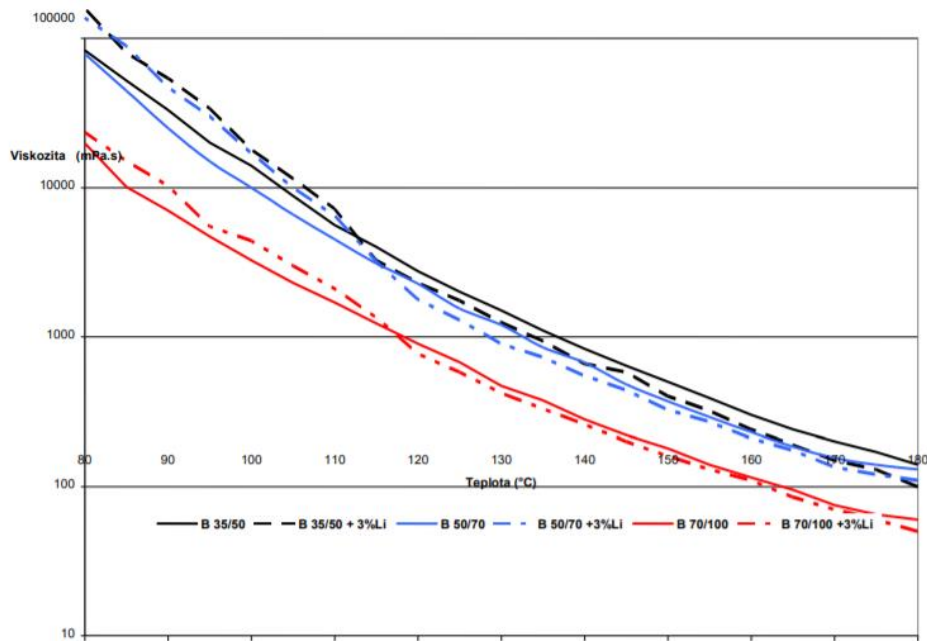
Organické prísady sa do asfaltovej zmesi alebo do asfaltového spojiva pridávajú v množstve 2-3% z hmotnosti asfaltového spojiva. Tezidy na báze amidov sa pridávajú v menšom množstve 0,3 až 1,0 % z hmotnosti asfaltového spojiva.

Prísada	Jednotka	Amidy mastných kyselín	Fischer-Tropschův parafín	Montánní vosky (+ deriváty)
Vlastnosti přísad (údaje výrobce)				
Vzhled	---	bílý prášek nebo granulát	bílý prášek, granulát nebo tekutina	šedý prášek nebo pastilky
Bod tání/ skápnutí	(°C)	140 až 145	114 až 120	110 až 120
Bod tuhnutí	(°C)	135 až 142	100 až 105	95 až 105
Dynamická viskozita	mPa.s @130°C	neměřitelný	11 až 15	20 až 80
	mPa.s @140°C	13 až 17	9 až 13	15 až 40
	mPa.s @150°C	9 až 13	8 až 12	10 až 20
Vlastnosti jsou stanoveny s využitím běžných evropských norem. Hodnoty vycházejí z ověřených poznatků výrobců daných přísad. V případě montánního vosku se jedná o aplikace pro asfaltové směsi hutněných asfaltových vrstev.				

Tabuľka č. 2: Príklad technických charakteristík u niektorých organických prísad a ich účinok na cestnom asfalte 50/70 – TP 238

Príkladom konkrétnych organických prísad sú:

- Licomont BS 100 – produkt z Nemecka od firmy Clariant SE Frankfurt a.M, jedná sa o amidový vosk, ktorý sa používa na zlepšenie vlastností a spracovateľnosti asfaltových zhutnených zmesí [14] [15],



Graf č. 2: Porovnanie dynamickej viskozity asfaltov a ich varianty s prídavkom Licomontu BS 100

- SARAWAX SX 105 a WAWAX C 1000 - zmes montánneho a amidového vosku,
- Dolanit ®AS - produkt z Nemecka od firmy DOLAN, jedná sa o akrilové vlákna a presne definovanej dĺžke a hmotnosti, používa sa na vysoko zaťažené vozovky a môže sa kombinovať aj s licomontom BS 100. Zlepšuje ťahovú a šmykovú pevnosť;

2.9.2. Chemické prísady

Ďalšou technológiou na zníženie pracovnej teploty asfaltovej zmesi, je použitie chemických prísad. Chemické prísady nemenia viskozitu asfaltového spojiva. Použitím tejto prísady sa zníži pracovná teplota o 20 až 40 °C.

Chemické prísady na aktívne látky pôsobia povrchovo na mikroskopickom rozhraní agregátov a živíc. Regulujú a znižujú trecie sily na tomto rozhraní pri teplotách medzi 140 a 85 °C. Preto je možné zmiešať živicu a agregát a zhutniť zmes pri nižšej teplote [2].

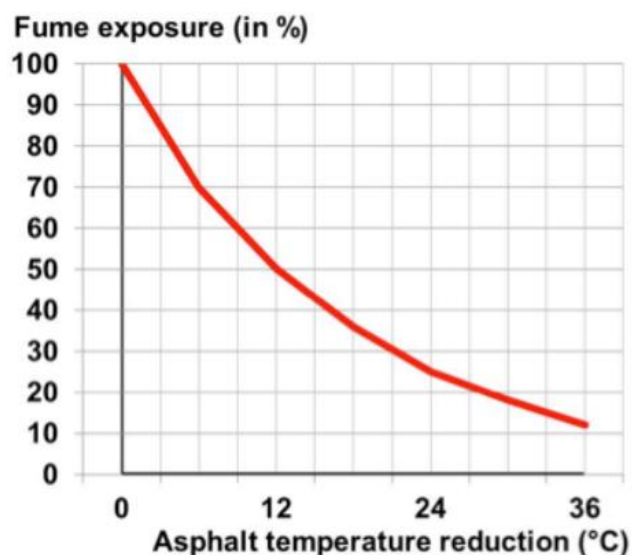
2.9.3. Minerálne prísady

Z hľadiska minerálnych prísad znižujúcich viskozitu asfaltovej zmesi sa v praxi rozvinula aplikácia zeolitov. Sú to prísady s typickou kryštalickou sústavou, ktorá obsahuje prirodzene asi 6% molekúl vody a navyše umožňuje fyzikálne viazať ďalšiu vodu v množstve rádovo 25%. Táto voda sa uvoľňuje postupne, takže pomerne významne znižuje viskozitu zmesi aj pri spracovávaní [13].

Zeolity sa spravidla dávajú v množstve 0,2 až 0,4 % hmotnosti asfaltovej zmesi v závislosti na zvolenom type zmesi. V praxi sa osvedčilo dávkovanie pred asfaltovým spojivom a je dôležité dodržať predmiešanie minimálne 5 sekúnd [3].

2.10. Výhody NTAS

- zníženie výrobných teplot (20-40 °C)
- nižšie emisie a lepšie pracovné podmienky
- menej spotrebovanej energie (cca – 15%)
- dobré obalenie a príľnavosť
- pomalšie starnutie spojiva pri výrobe
- dlhšia doba prepravy a zhutnenia
- prevádzka v skoršom štádiu



Graf č. 3: Zníženie emisií vplyvom teploty

Toto zníženie emisií je najdôležitejším dôvodom európskeho asfaltového priemyslu, ktorý stimuluje používanie teplého asfaltu [2].

2.11. Warm mix asphalt (WMA) v zahraničí

Prvé techniky WMA boli vyvinuté koncom 90. rokov. Prísady sa skúšali v Nemecku a v Nórsku sa vyvinul proces WAM-Foam®.

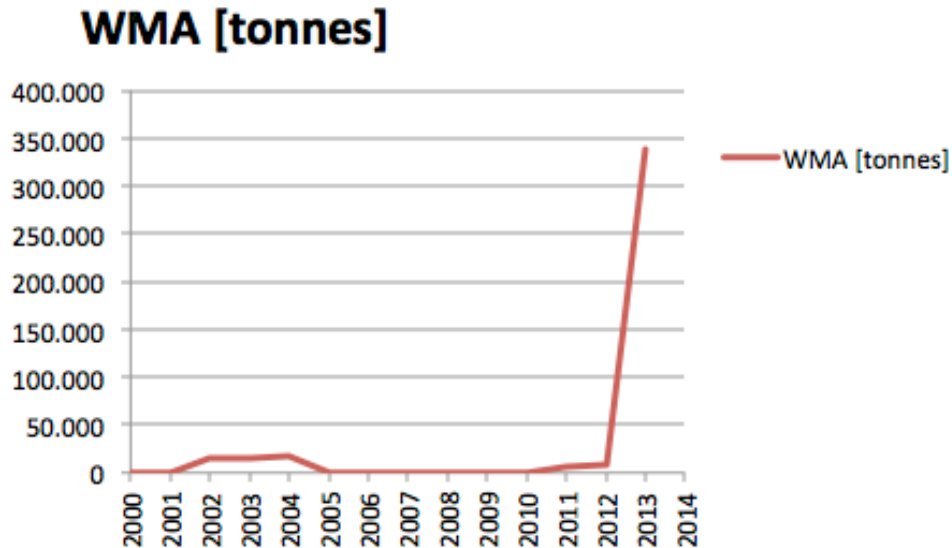
V roku 2010 sa začala asociácia výrobcov asfaltov v Nórsku zaoberať „Low temperature asphalt“ (LTA – 2011). Cieľom ich výskumu bolo hodnotenie technológie a jej vplyvu na zdravie pracovníkov a na kvalitu asfaltu. Pomocou šiestich rôznych pokusov dokázali znížiť pracovnú teplotu o 30 °C.

Závery tejto štúdie boli:

- žiadne významné rozdiely v pracovnej záťažii pracovníkov
- zníženie dymu o 50%
- žiadne rozdiely v kvalite oproti bežným technológiám za tepla (medzerovitost', rovinatost', trvalé deformácie)

V roku 2012 chcel Nórsky úrad zrýchliť používanie WMA, preto pri výstavbe začal investorov finančne podporovať. Výsledkom toho bol rýchly nárast v počte vyrobených ton

nízkoteplotných zmesí, ktorý je viditeľný z obrázka číslo 9. Do konca roka 2013 vyrobili 3. dodávateľia 210 000 ton asfaltovej zmesi Warm Mix [2].



Graf č. 4: Nárast výroby teplých asfaltových zmesí v Nórsku

V roku 2013 začali Švédci experimentovať s nízkoteplotnými asfaltami. Metódu vyvinul Karl-Gunnar Olsson. Jednalo sa o asfalt Warm Mix. Nepoužívali penenie ani prísady, ale najprv potiahli hrubé frakcie bitumenom a potom pridali jemné agregáty, plnivo a piesok. Výsledkom mala byť lepšia zmes s lepším zhutnením. Od tohto roku položili vo Švédsku asi 145 000 ton asfaltovej zmesi Warm Mix.

Vo Francúzsku sa používajú všetky techniky na zníženie teploty asfaltu a rôzne štúdie ukazujú, že dosahujú dobré technické vlastnosti bez ohľadu na použitý proces. Francúzsko viac a viac prosperuje, a používa najviac R – materiálu, čo má pozitívny vplyv na environmentálne hodnotenie.

V USA sa používanie tejto technológie dostáva do popredia rýchlejšie ako v Európe. Techniky používané v USA v roku 2012 sú:

- Plant Foaming – 88,1 %
- Chemická prísada – 9,6 %
- Additive Foaming – 2,1 %
- Organická prísada – 0,2 %

Americký minister dopravy, Anthony Foxx, v januári počas výročného zasadnutia Rady pre výskum dopravy v roku 2014 uviedol, že použitie WMA, by malo do roku 2020 ušetriť náklady na energiu 3,6 miliardy dolárov.

Nasledujúca tabuľka zobrazuje údaje za rok 2009 – 2012.

Rok	Produkcia asfaltových zmesí	Produkcia WMA	
	(x 10 ⁶ t)	(x 10 ⁶ t)	%
2009	325	15,2	5
2010	326	37,3	11
2011	332	62,3	19
2012	323,5	77,1	24

Tabuľka č. 3: Podiel WMA od roku 2009 – 2012 v USA

V Dánsku spoločnosť NCC vyrába WMA pomocou inej techniky, ako je pridávanie organických, chemických alebo minerálnych prísad. Vyrába sa pomocou penovej bitumenovej techniky, pri ktorej sa penový bitumen vytvára v patentovanom penovom generátore. Táto technika sa im osvedčila na diaľnici 321 v Ulladalle, kde položili WMA za rovnakých podmienok ako obyčajný asfalt. Jednalo sa o asfalt mastixový (SMA 11), ktorý bol polymerom modifikovaný, pričom oproti tradične vyrábanom asfalte sa teplota znížila o 20°C . Spoločnosť dosiahla rovnaké objemové údaje a rovnakú priľnavosť a o niečo lepšie spracovanie pri pokládke. Po tejto úlohe NCC položilo na niekoľko ďalších úsekoch tento typ asfaltu [2].

2.12. Nízkotepelné asfalty v Českej republike

Výskum asfaltových teplých zmesí (WMA) na „Českém učení technickém v Praze“ (ČVUT) a „Technické univerzitě v Brně“ (VUT), viedol k predbežným národným špecifikáciám WMA (TP 238), ktoré vydalo „Ministerstvo dopravy České republiky“ v roku 2012.

Prvá skúsenosť s technológiou penového asfaltu bola uskutočnená v roku 2013 spoločnosťou „Froněk“. Hlavným cieľom realizovaných úsekov bolo overenie možnosti

výroby a pokládky asfaltových zmesí s využitím penového asfaltu a vyššieho podielu R - materiálu.

Výskumný projekt s názvom CESTI sa začal v roku 2013. Jedna jeho časť sa bude zameriavať na ďalší rozvoj WMA a asfaltového tmelu pri nízkych teplotách. Na tomto projekte sa zúčastňujú niektorí poprední dodávatelia a ČVUT Praha a VUT Brno.

Pri výstavbe dôležitého tunelu v Prahe, bolo z dôvodu nedostatočného vetrania a zachovania bezpečnosti pracovného prostredia pre pracovníka, nutné obmedziť množstvo výparov a exhalácií horúcich asfaltov. Práve preto bolo veľkou nutnosťou použitie technológie nízkoteplotných asfaltov. Použitím tejto technológie sa výpary znížili o 50% [2].

2.13. Nízkoteplotné asfalty na Slovensku

Do januára 2017 sme na Slovensku síce poznali a vyrábali nízkoteplotné asfaltové zmesi, no neboli používané. Zúčastnení zhotovitelia vo verejných zákazkách tvrdili, že neboli dostatočne identifikované a regulované. Bežné asfalty musia spĺňať kritéria hutnej asfaltovej zmesi na základe požiadavku ministerstva dopravy podľa TKP 6.

TKP 6 z roku 2015 obsahoval označenie NAZ (Nízkoteplotná asfaltová zmes), ale nikde ho nedefinoval. V niektorých kapitolách sa odkazoval, že dôjde k vydaniu samostatného dokumentu venovaného práve tejto problematike. V tomto medziobdobí sa na požiadanie predkladal technologický predpis na výrobu, spracovanie a kontrolu NAZ objednávateľovi stavby.

Dňa 1.1.2017 vstúpil do platnosti nový rezortný predpis Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR TKP 41: Nízkoteplotné asfaltové zmesi. Podľa nej je hutná asfaltová zmes vyrobená a spracovaná pri teplote nižšej o 10 až 30°C ako štandardná zmes rovnakého zloženia. Znížiť teploty pri výrobe a spracovaní umožňuje použitie prísad alebo technológia výroby (penoasfalt). TKP rozlišuje a definuje rôzne druhy prísad použiteľných na výrobu NAZ.

Keďže NAZ je ekologickým ekvivalentom bežnej asfaltovej zmesi, označenie alebo špecifikácia NAZ sa v projektovej dokumentácii nevyskytuje.

Vo všeobecnosti sa akceptuje fakt, že v USA sa približne 30 % asfaltových zmesí vyrába vo forme NAZ. V Európe ide približne o 10 % a aj na Slovensku máme čo doháňať.

Ako jednou z prvých firiem, ktorá začala na Slovensku implementovať túto technológiu, bola firma COLAS SK. V roku 2017 skupina COLAS prostredníctvom spoločnosti Cesty Nitra, a.s. použila technológiu speňovania. Projekt Penoašfalt sa dotkol obalovacích súprav v Mníchovej Lehote a Mojšovej Lúčke [11] [2].

Mesiac	Česká republika		COLAS SK	
	2014 (t)	2015 (t)	2015 (t)	2016 (t)
1	3 500	2 450	0	0
2	3 820	3 740	240	280
3	93 100	132 910	9 580	6 350
4	461 150	671 060	27 690	18 160
5	584 780	804 680	50 360	39 910
6	623 590	815 930	94 400	48 090
7	728 860	952 820	38 380	44 080
8	739 130	962 440	55 410	46 750
9	814 880	1 066 200	57 840	38 330
10	1 055 970	1 089 840	64 270	57 310
11	746 480	839 260	70 140	46 710
12	227 870	340 850	14 570	14 790
Spolu	6 083 140	7 682 180	482 880	360 760

Tabuľka č. 4: Produkcia asfaltových zmesí v celej Českej republike a v rámci COLAS

Slovensko v rokoch 2014 až 2016

2.14. Legislatíva

Európske výrobkové normy ČSN EN 13108 nezakazujú použitie teplých asfaltových zmesí. Tieto normy obsahujú požiadavky na maximálne výrobné teploty pre jednotlivé typy zmesí, minimálne teploty sú deklarované výrobcom. Ďalej v nich nájdeme ustanovenia, ako zaobchádzať s asfaltovými zmesami obsahujúcimi aditíva, ak takéto zmesi dosahujú ekvivalentné vlastnosti. Môžeme teda tvrdiť, že európske normy nezakazujú použitie nízko teplotných zmesí [2].

V Českej republike je platný tento predpis (Technické podmienky - TP)

Ministerstva dopravy, ktoré sa týka teplých asfaltových zmesí:

- TP 238 – Nízkoteplotní asfaltové směsi [3]

Predbežné technické podmienky Ministerstva dopravy z roku 2012 pod označením TP 238 - Nízkoteplotní asfaltové směsi platia pre návrh, výrobu, dopravu, pokládku, inšpekciu a skúšanie nízkoteplotných asfaltových zmesí, ktoré sú využiteľné pre všetky typy asfaltových úprav, aplikované v jednotlivých vrstvách konštrukcie vozovky, vrátane zmesí typu VMT definovaných v TP 151 – Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT). Nízkoteplotné asfaltové zmesi sú zmesi, ktoré sa vyrábajú a spracovávajú pri teplotách nad 100 ° C, pričom dochádza k využitiu prísad, ktoré upravujú (znižujú) viskozitu asfaltového spojiva, resp. zmesi. Oproti bežným asfaltovým zmesiam u nich možno doceliť čiastkového zníženia pracovných teplôt, spravidla v rozsahu 10 °C až 30 °C. Opísané prísady môžu v prípade nevyčerpania celého potenciálu zníženia teploty zlepšiť spracovateľnosť liateho asfaltu a mieru zhutnenia ostatných asfaltových zmesí. TP 238 uvádzajú aj niektoré základné údaje pre ich aplikáciu v konštrukciách vozoviek. Predpis popisuje technologické možnosti, ako vyrobiť teplú asfaltovú zmes použitím nízko viskózných spojív, alebo dávkovaním organických, chemických či minerálnych prísad (napr. zeolit), neopisuje ale výrobu teplej asfaltovej zmesi pomocou technológie penoasfaltu [3] [20].

3. CIEĽ PRÁCE

Cieľom diplomovej práce bolo spracovať problematiku nízkoteplotných asfaltov a spojív do asfaltových zmesí. Diplomová práca je rozdelená na dve časti, teoretickú a praktickú.

V teoretickej časti bolo cieľom spracovať prehľad technológie, ktorá umožňuje znížiť pracovnú teplotu pri výrobe a pokládke asfaltových zmesí.

V praktickej časti je cieľom porovnať dva typy asfaltových zmesí, a to s bežným asfaltovým spojivom a s asfaltovým spojivom zlepšeným o prísadu LICOMONT BS 100.

Pri skúškach je pozornosť venovaná overeniu funkčných skúšok vyrobených zmesí, a následne, či nastala kladná zmena v riešenej problematike a či na základe teoretického poznatku došlo k zníženiu pracovnej teploty a následne k vyššiemu modulu tuhosti.

4. PRAKTICKÁ ČASŤ

Praktická časť je rozdelená do niekoľkých kapitol. Na úvod sa zameriame na vstupné materiály, ktoré sú potrebné na výrobu asfaltovej zmesi. Ďalej sa rozoberú jednotlivé skúšobné metódy materiálu. Na záver tejto kapitoly budú zhrnuté výsledky jednotlivých skúšok.

4.1. Použité materiály

Každá asfaltová zmes sa skladá z kameniva a asfaltového spojiva, prípadne z ďalších prídavných materiálov na zlepšenie výsledných vlastností zmesi. K mojej diplomovej práci mi skúšobné laboratórium PORR a.s. poskytlo vzorky namiešaných asfaltových zmesí. Asfaltové zmesi sa vyrábajú v obalovni Boskovice. ACO 11 + 50/70 sa vyrába na základe skúšky typu 02/BO/16 a asfaltová zmes ACL 16 + 50/70 na základe skúšky typu 12/BO/17 [9] [10].

4.1.1. Kamenivo

Obalovňa v Boskoviciach používa na výrobu asfaltových zmesí kamenivo z lomu Lhota Rapotina. Tento lom patrí spoločnosti KAMENOLOMY ČR s.r.o., ktorý zaisťuje

ťažbu, výrobu a predaj drveného kameniva. Spoločnosť je oprávnená využívať pre svoje výrobky označenie zhody CE a je držiteľom certifikátov systému riadenia kvality ČSN EN ISO 9001. Tento kameňolom je jedným z najväčších prevádzok v Českej Republike.

Na výrobu asfaltových zmesí boli použité frakcie 0/4, 4/8, 8/11, 8/16. Ďalej bola použitá kamenná múčka (vápeneč) z cementárne v Měrotíne. Pri výrobe asfaltovej zmesi sa musíme riadiť sieťovým rozborom, ktorý nám určuje skúška typu [9] [10].

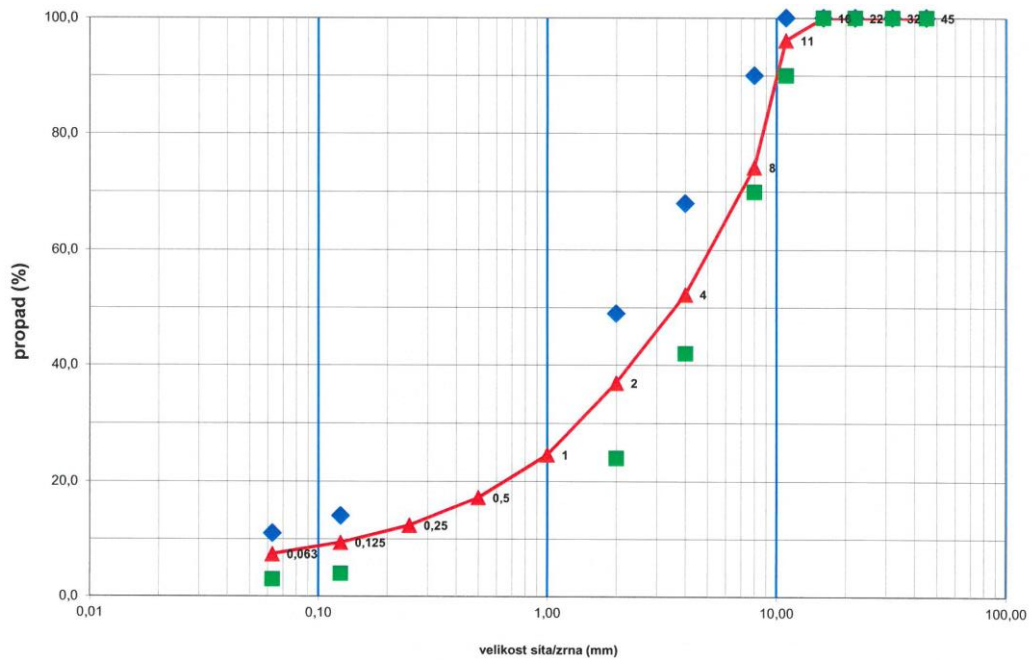
Druh kameniva	Zrnitost – propad sítím v %											obj. hmotn.	tvar. index	otlukovost
	22	16	11	8	4	2	1	05	025	0125	0,063			
HDK Lhota Rapot. 8/11		100,0	89,9	13,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	2,712	10	16
HDK Lhota Rapot. 4/8			100,0	98,8	9,5	1,6	1,3	1,2	1,1	1,0	0,8	2,712	18	
SDK Lhota Rapot. 0/4				100,0	93,4	55,0	30,9	17,9	9,8	5,3	3,2	2,740		1,67 **)
STK Žabčice 0/4 vápeneč Měrotín				100,0	97,7	86,2	61,2	30,5	8,8	2,9	1,8	2,652		77 ***)
								100,0	99,3	93,3	82,8	2,719		0,782 *)

Tabuľka č. 5: Vlastnosti kameniva ACO 11 +

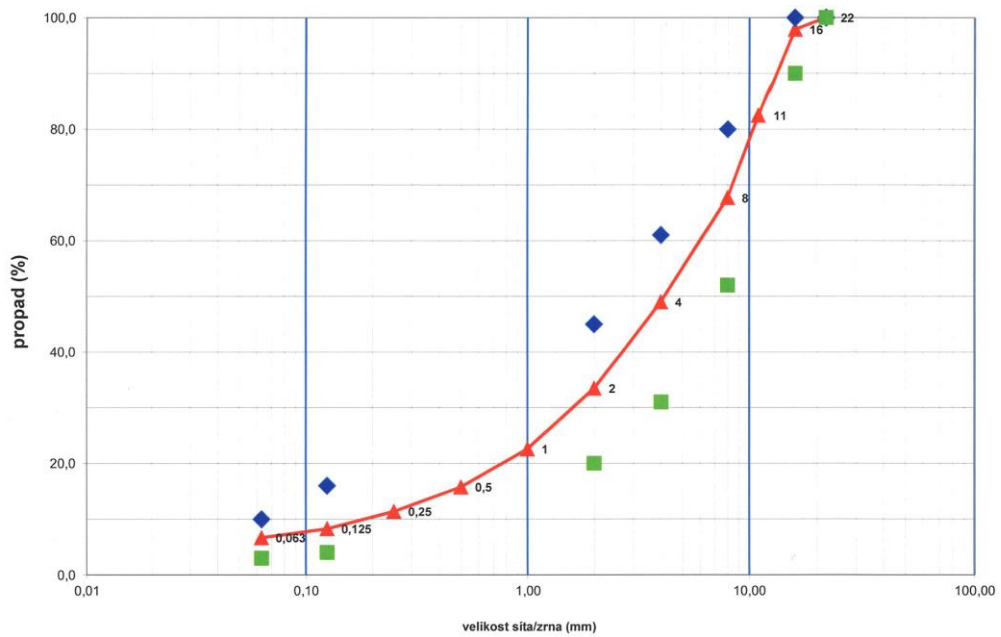
Druh kameniva	Zrnitost – propad sítím v %											obj. hmotn.	tvar. index	otlukovost
	22	16	11	8	4	2	1	05	025	0125	0,063			
HDK Lhota Rapot. 8/16	100,0	94,6	28,0	12,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,7	0,5	2,710	16	18
HDK Lhota Rapot. 4/8			100,0	94,8	4,2	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,1	2,712	19	
SDK Lhota Rapot. 0/4				100,0	91,7	55,3	33,8	21,3	13,5	6,2	1,2	2,740		3,33 *)
vápeneč Měrotín								100,0	98,2	89,4	77,2	2,719		1,67 *)

Tabuľka č. 6: Vlastnosti kameniva ACL 16 +

Zo sieťového rozboru frakcií kameniva sa môže zostrojiť čiara zrnitosti, ktorá slúži ako podklad pri výrobe asfaltových zmesí.



Graf č. 5: Požadované hodnoty a čiara zrnitosti kamennej zmesi na skúšku typu č. 02/BO/16 pre zmes ACO 11 +



Graf č. 6: Požadované hodnoty a čiara zrnitosti kamennej zmesi na skúšku typu č. 12/BO/17 pre zmes ACL 16 +

4.1.2. Spojivo

Do mojich vyššie spomínaných asfaltových zmesí bolo použité asfaltové spojivo 50/70 (LOTOS Asfalt). Vlastnosti asfaltového spojiva sú uvedené penetráciou a bodom mäknutia. Na zlepšenie priľnavosti asfaltu ku kamenivu bola použitá prísada Addibitu L 300 [9] [10].

50/70	Minimálna hodnota	Maximálna hodnota	Skúšobná vzorka
Penetrácia (p.j.)	50	70	62
Bod mäknutia	46	54	51,1

Tabuľka č. 7: Vlastnosti cestného asfaltu ACO 11 + 50/70

50/70	Minimálna hodnota	Maximálna hodnota	Skúšobná vzorka
Penetrácia (p.j.)	50	70	62
Bod mäknutia	46	54	49,6

Tabuľka č. 8: Vlastnosti cestného asfaltu ACL 16 + 50/70

4.2. Asfaltové zmesi

4.2.1. ACO 11 + 50/70

Asfaltová zmes na moju diplomovú prácu bola dodaná nezhutnená v papierových vreciach. Asfaltová zmes je určená na stavbu cestných a diaľničných vozoviek. Jedná sa o obrusnú vrstvu vozovky s veľkosťou maximálneho zrna 11 mm a cestným asfaltom 50/70. ACO 11 + 50/70 je vyrobená na základe skúšky typu 02/BO/16. V predošlom obrázku č. 14 je graficky znázornená čiara zrnitosti, ktorá je ohraničená hornou a dolnou medzou podľa ČSN EN 13108-1 a ďalej musí spĺňať kritéria Fullerovej paraboly [9].

ACO 11 + 50/70 sa skladá z :

- kameniva frakcie 0/4, 4/8, 8/11 (presný podiel kameniva tabuľka č. 9)
- pridanej vápencovej múčky
- cestného asfaltu 50/70 v množstve 5,5 %

- pridanej prísady addibit L 300 v množstve 0,2 %

síto	Síta pro FPC	Zrnitost (propad sítem)	Požadavek ČSN EN pro zkoušku typu
32			
22			
16	16	100	100
11	11	96	90-100
8	8	74	70-90
4		52	42-68
2	2	37	24-49
1		25	
0,5		17	
0,250		12	
0,125	0,125	9	4-14
0,063	0,063	7,4	3-11
Obsah rozp. asfaltu	B (% hm.)	5,5	min. 5,5
	B _{vol} (% obj.)	13,0	min. 13,0

Poznámky: 1) Výsledné výstupní složení je střední hodnotou rozborů vyráběných směsí.
2) Odchylky mezi výstupním a vstupním složením jsou minimalizovány.

Tabuľka č. 9: Výstupné zloženie zmesi ACO 11 +

4.2.2. ACO 11 + NT 50/70

Druhou skúšanou asfaltovou zmesou je typ asfaltu s označením ACO 11 + NT 50/70. Asfaltová zmes je určená na stavbu cestných a diaľničných vozoviek. Jedná sa o obrusnú vrstvu vozovky s veľkosťou maximálneho zrna 11 mm a o cestný asfalt 50/70 [9].

Asfaltová zmes ACO 11 + je totožná so zmesou ACO 11 + NT, ibaže do tejto zmesi je pridaná prísada LICOMONT. Skladá sa z :

- kameniva frakcie 0/4, 4/8, 8/11 (presný podiel kameniva tabuľka č. 9)
- pridanej vápencovej múčky
- cestného asfaltu 50/70 v množstve 5,5 %
- pridanej prísady addibit L 300 v množstve 0,2 % hmotnosti asfaltu
- prísady montánny vosk LICOMONT TBS 100 v množstve 3% hmotnosti asfaltu

4.2.3. ACL 16 + 50/70

Treťou skúšanou asfaltovou zmesou je typ asfaltového betónu s označením ACL 16 + 50/70. Ide o asfaltový betón pre ložnú vrstvu vozovky s veľkosťou maximálneho zrna 16mm. ACL 16 +50/70 je vyrobená na základe skúšky typu 12/BO/17. V predošlom

obrázku č. 15 je graficky znázornená čiara zrnitosti, ktorá je ohraničená hornou a dolnou medzou podľa ČSN EN 13108-1 a ďalej musí spĺňať kritéria Fullerovej paraboly [10].

ACL 16 + 50/70 sa skladá z:

- kameniva frakcie 0/4, 4/8, 8/16 (presný podiel kameniva tabuľka č. 10)
- pridanej vápencovej múčky
- cestného asfaltu 50/70 v množstve 5,0 %
- pridanej prísady addibit L 300 v množstve 0,2 %

Síto	Síta pro FPC	Zrnitost (propad sítem)	Požadavek ČSN EN pro zkoušku typu
32			
22		100	100
16	16	98	90-100
11		83	
8	8	68	52-80
4		49	31-61
2	2	34	20-45
1		23	
0,5		16	
0,250		11	
0,125	0,125	8	4-16
0,063	0,063	6,7	3-10
Obsah rozp. asfaltu	B (% hm.)	5,0	min. 4,1
	B _{vol} (% obj.)	11,5	min. 9,8

Poznámky: 1) Výsledné výstupní složení je střední hodnotou rozborů vyráběných směsí.
2) Odchytky mezi výstupním a vstupním složením jsou minimalizovány.

Tabuľka č. 10: Výstupné zloženie zmesi ACL 16 +

4.2.4. ACL 16 + NT 50/70

Štvrtou skúšanou asfaltovou zmesou je typ asfaltu s označením ACL 16 + NT 50/70. Asfaltová zmes je určená na stavbu cestných a diaľničných vozoviek. Jedná sa o ložnú vrstvu vozovky s veľkosťou maximálneho zrna 16 mm a cestným asfaltom 50/70 [10].

Asfaltová zmes ACL 16 + je totožná so zmesou ACL 16 + NT, ibaže do tejto zmesi je pridaná prísada LICOMONT. Skladá sa z :

- kameniva frakcie 0/4, 4/8, 8/16 (presný podiel kameniva tabuľka č. 10)
- pridanej vápencovej múčky
- cestného asfaltu 50/70 v množstve 5,5 %
- pridanej prísady addibit L 300 v množstve 0,2 % hmotnosti asfaltu

- prísady montánny vosk LICOMONT TBS 100 v množstve 3% hmotnosti asfaltu

4.3. Použité skúšobne metódy

V tejto kapitole popíšem použité skúšobné metódy na základe noriem rady ČSN 12697 pre asfaltové zmesi.

Uskutočnené skúšky na zhotovených telesách:

- Marshallove telesá – stanovenie objemovej hmotnosti, maximálnej objemovej hmotnosti [4]
- zhutnená asfaltová doska – trvalé deformácie [7]
- trapezoidy – moduly tuhosti [8]

4.3.1. Príprava telies rázovým zhutňovačom (Marshallova skúška)

Marshallova skúška je založená na empirickom spôsobe návrhu, ktorý je založený na stanovení fyzikálne mechanických veličín.

Skúška je založená na zistení výšky skúšobného telesa pri zhutňovaní asfaltovej zmesi rázovým Marshallovým zhutňovačom. Pri hutnení sa sleduje znižovanie hrúbky telesa (objemovej hmotnosti, medzerovitosti), v závislosti od počtu úderov zhutňovania. Po nameraní potrebných hodnôt sa záznamom preloží krivka, kde jej parametre charakterizujú zhutniteľnosť asfaltovej zmesi.

Pri skúške typu asfaltovej zmesi s nízko viskóznym asfaltovým spojivom je stanovenie objemovej hmotnosti inakšie ako pri obvyklých teplotách hutnenia.

V prvom rade je potrebné si určiť referenčnú skúšku typu asfaltovej zmesi, kde nebolo použité nízko viskózne asfaltové spojivo. Určí sa optimálne zloženie zmesi a referenčná objemová hmotnosť pri predpísanej teplote zhutnenia, ktorá je 150 °C. Referenčné Marshallove telesá sa pripravujú rovnako ako nízkoteplotné telesá. Z referenčnej sady 4. telies sa určí priemerná objemová hodnota. Postupuje sa rovnako pri oboch asfaltových zmesiach (ACO 11, ACL 16).

Keď je stanovená referenčná objemová hmotnosť, môže sa prejsť k vytváraniu skúšobných telies s použitím nízko viskózneho spojiva. Na stanovenie určujúcej teploty pre výrobu Marshallových skúšobných telies asfaltovej zmesi s nízkoteplotným asfaltovým

spojivom sa zhotovia vždy tri Marshallove telesa, pri teplote asfaltovej zmesi 110, 120, 130, 140 a 150 °C.

Do predpísanej asfaltovej zmesi, ktorá bola doručená v papierových vreciach, sa po jej rozohriatí na 170 °C v peci pridá prísada LICOMONT v množstve 3% z asfaltového spojiva. Licomont bol doručený v granulovanom stave. Rozohriata asfaltová zmes sa dá do malej miešačky, ktorá je súčasťou laboratória, kde sa pridá rozpustený vosk. Kvôli lepšej homogenizácii sa asfaltová zmes premieša z voskom trikrát. Následne je nutné asfaltovú zmes zas zahriať na potrebné teploty. Pripravené množstvo zmesi sa postupne vysype do špeciálne predhriatej valcovej formy uvedené na obrázku č. 3. Valcová forma bola temperovaná v predhriatej peci na teplotu 155 °C. Následne sa vloží do Marshallovho zhutňovača. Vycentrovaná a upevnená forma bola pomocou hutniaceho pechu zhutnená 2 x 75 ráz . Po zhutnení a vychladnutí sa telesá vytlačia z formy hydraulickým lisom (obrázok č. 4). Takto isto sa postupuje pri teplote 110, 120, 130, 140 a 150 °C. Pri jednotlivých teplotách prebieha hutnenie Marshallových telies. Po skončení prípravy Marshallových telies, sú z každej asfaltovej zmesi 3 sady, pri piatich odlišných teplotách [4] [19].



Obrázok č. 3: Príprava Marshallovho telesa



Obrázok č. 4: Pripravené Marshalllove telesá

4.3.2. Stanovenie objemovej hmotnosti

Je to hmotnosť pri danej skúšobnej teplote, pripadajúca na jednotku objemu skúšobného telesa vrátane medzier. Metóda je popísaná v norme ČSN EN 12697-6 .

Objemovú hmotnosť zhutneného skúšobného telesa stanovíme z hmotnosti telesa za sucha, saturovaného vo vodnom kúpeli a následne nasýteného. Ako prvé si odvážime teleso za sucha (m_1). Po stanovení prvej hmotnosti teleso ponoríme na 30 minút do vodného kúpeľa, teploty $18,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hustota vody pri tejto teplote je 1210 kg/m^3 . Potom stanovíme hmotnosť nasýteného telesa (m_2). Následne teleso vyberieme z vody a povrch usušíme vlhkou jelenicou. Po jemnom utretí vzorky okamžite stanovíme hmotnosť nasýteného telesa (m_3) [5].

- Stanovenie objemovej hmotnosti nasýtenej suchej vzorky (SSD)

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

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnosť SSD (kg/m^3)

m_1 je hmotnosť suchého telesa (g)

m_2 je hmotnosť telesa vo vode (g)

m_3 je hmotnosť telesa nasýteného vodou a povrchovo usušené (g)

ρ_{bssd} je hustota vody (kg /m³)



Obrázok č.5: Váženie skúšobných telies vo vode

4.3.3. Stanovenie maximálnej objemovej hmotnosti

Maximálna objemová hmotnosť sa používa k výpočtu obsahu medzier v zhutnenej vzorke a ďalších objemových vlastností asfaltových zmesí. Pri tejto skúške bol použitý volumetrický postup, pri ktorom bol objem asfaltovej zmesi meraný ako objem rozpúšťadla vytesnený v pyknometre (obrázok č. 6). Pri meraní skúšky bolo postupované podľa ČSN EN 12697-5.



Obrázok č. 6: Pycnometer

Pred začatím skúšky sa zahriata vzorka Marshallovho telesa rozbije a rozdelí na hrubé častice a zhluky. Určí sa hmotnosť prázdneho pycnometru (m_1), s nástavcom známeho objemu (V_p). Pycnometer sa naplní vysušenou vzorkou, nechá sa temperovať na okolitú teplotu a znovu sa stanoví jej hmotnosť, vrátane nástavca (m_2). Potom sa pycnometer naplní odzdušnenou (destilovanou) vodou do výšky 30 mm pod okraj. Aby sa odstránil vzduch zachytený v medzerách vzorky zmesi, umiestni sa pycnometer ešte do čiastočného vákua, ktorý má úbytkový tlak 4 kPA. Vzorka sa vytiahne a ešte sa ňou poriadne zatrasie, aby sa odstránil prebytočný vzduch. Takto pripravený pycnometer sa umiestni do vodného kúpeľa, s rovnomernou skúšobnou teplotou ($\pm 1,0$ °C), na dobu najmenej 30 minút. Je potrebné vyrovnať teplotu vzorky a vody v pycnometri, s teplotou vody vo vodnom kúpeli, ktorú dosiahneme doplnením destilovanej vody, po značku na nástavci pycnometra. Následne pycnometer vyberieme z vodného kúpeľa, usušíme a okamžite stanovíme hmotnosť (m_3) [6].

- Výpočet maximálnej objemovej hmotnosti ρ_{mv} asfaltovej zmesi v prípade volumetrického postupu:

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

kde ρ_{mv} je maximálna objemová hmotnosť asfaltovej zmesi (Mg/m^3)

m_1 je hmotnosť pyknometru, nástavca a pružiny (g)

m_2 je hmotnosť pyknometru nástavca a pružiny a skúšobného vzorku (g)

m_3 je hmot. pyknometru nástavca a pružiny, skúšobného vzorku a vody (g)

V_p je objem pyknometru pri naplnení po referenčnú značku nástavca (m^3)

ρ_w je hustota destilovanej vody (Mg/m^3)

4.3.4. Postup zistenia požadovanej teploty hutnenia NTAS

Po príprave referenčných skúšobných telies (podľa kapitoly 4.3.1.) sú v tabuľke číslo 12 a 13 stanovené objemové hmotnosti, na základe ktorých sa uskutočnil výpočet objemovej a maximálnej hmotnosti asfaltovej zmesi (podľa kapitoly 4.3.2 a 4.3.3) [3].

Skúšobné teleso	Vp (m3)	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ_{bsd} (Mg/m3)
ACL 16	1320,6	703,3	1625,3	2575,6	2508,6
ACO 11	1308,16	685,31	1540,6	2500,1	2472,85

Tabuľka č. 11: Výsledné hodnoty maximálnej objemovej hmotnosti

Teplota (°C)	Skúšobné teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m3)
150	1 teleso	1242,9	722,2	1245,3	2373
	2 teleso	1203,2	697,1	1206,1	2361
	3 teleso	1202,6	698,2	1206,5	2363
	4 teleso	1183,3	689,6	1191,2	2356
					2363

Tabuľka č. 12: Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACO 11 +

Teplota (°C)	Skúšobné teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
150	1 teleso	1187,3	690,5	1201,9	2318
	2 teleso	1202,1	694,8	1221,3	2280
	3 teleso	1199,9	698,3	1217,7	2307
	4 teleso	1176,3	679,3	1194,4	2280
					2289

Tabuľka č. 13 Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACL 16 +

Výsledkom nameraných hodnôt, je referenčná objemová hmotnosť nasýteného suchého vzorku. ACO 11 + má objemovú hmotnosť **2363 kg/m³** a ACL 16 + má **2289 kg/m³**.

Ďalej budú v tabuľke č. 14 a 15 uvedené hodnoty zmesi ACO 11 + NT a ACL 16 + NT s pridanou prísadou Licomont (podľa kapitoly 4.3.1). Výpočet objemovej a maximálnej hmotnosti asfaltovej zmesi (podľa kapitoly 4.3.2 a 4.3.3).

Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
150	1 teleso	1194,6	693,9	1196,6	2373
	2 teleso	1202,9	701,6	1203,8	2392
	3 teleso	1196,1	695,2	1198,1	2375
					2380
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
140	1 teleso	1199,9	698,5	1201,6	2382
	2 teleso	1201,7	703,7	1203,6	2401
	3 teleso	1196	692,4	1198,5	2360
					2371
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
130	1 teleso	1208,4	691,9	1210,1	2329
	2 teleso	1201,9	689,1	1202,8	2336
	3 teleso	1209,7	692,7	1210,7	2332
					2332
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
120	1 teleso	1199,5	688,1	1211,5	2289
	2 teleso	1208,6	694,2	1218,3	2303
	3 teleso	1206,6	691,2	1212,4	2312
					2301
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
110	1 teleso	1204,2	693,6	1228,4	2249
	2 teleso	1205,6	693,1	1221,4	2279
	3 teleso	1204,7	691,7	1226,9	2248
					2248

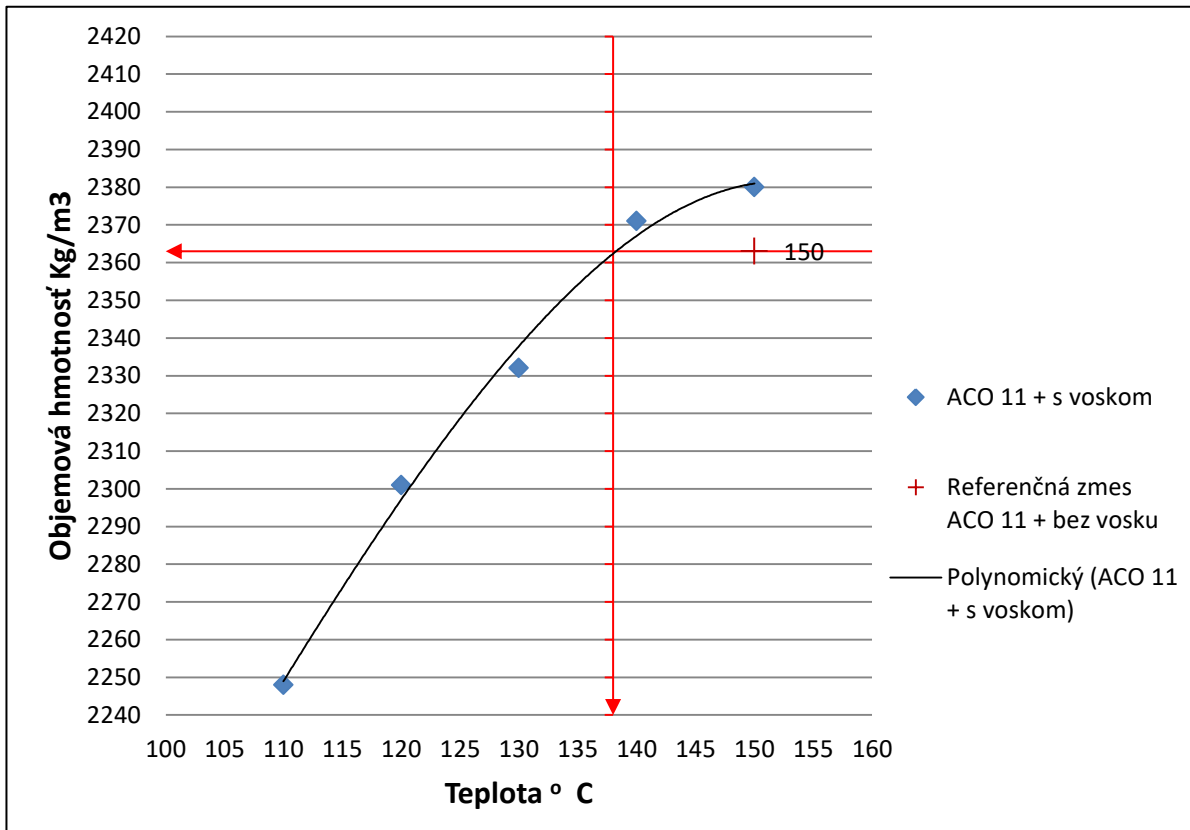
Tabuľka č. 14: Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACO 11 NT

Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
150	1 teleso	1212,2	700,9	1220,8	2328
	2 teleso	1208,6	697,3	1216,6	2324
	3 teleso	1210,6	703,5	1225,3	2317
					2323
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
140	1 teleso	1208,1	702,6	1223,3	2317
	2 teleso	1203,2	700,8	1222,1	2305
	3 teleso	1211,4	704,2	1227,6	2311
					2311
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
130	1 teleso	1207,6	702,5	1229,7	2287
	2 teleso	1190,9	695,8	1221,4	2263
	3 teleso	1200,2	699	1221,1	2296
					2291
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
120	1 teleso	1208,7	702,3	1234,7	2267
	2 teleso	1203,7	692,8	1222,8	2268
	3 teleso	1199,6	697,6	1220	2293
					2268
Teplota (°C)	Skúšobne teleso	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	ρ (kg/m ³)
110	1 teleso	1209,9	697,2	1234,7	2248
	2 teleso	1180,4	681,8	1210,6	2229
	3 teleso	1207,6	695,5	1236	2231
					2239

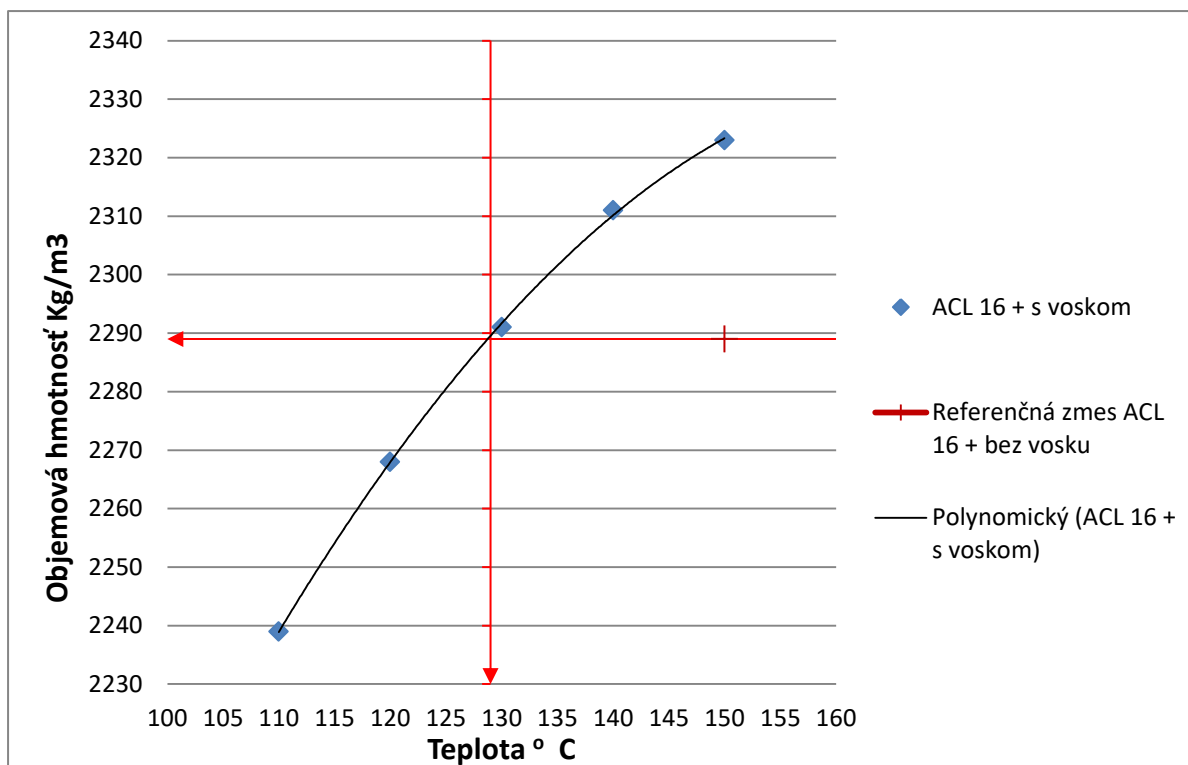
Tabuľka č. 15: Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACL 16 NT

Po zistení priemerných hodnôt, sa objemové hmotnosti vynesú do grafu, ktorý znázorňuje závislosť na teplote hutnenia. Z krivky grafu sa zistí určujúca teplota hutnenia navrhovanej nízkoteplotnej asfaltovej zmesi. Táto teplota je určená hodnotou, pri ktorej je dosiahnutá referenčná objemová hmotnosť.

Z obrázka číslo 7 a 8 vyplýva, že požadovaná teplota hutnenia asfaltovej zmesi **ACO + 11 NT** je **138 °C** a teplota hutnenia asfaltovej zmesi **ACL 16 + NT** je **129 °C**. Touto laboratórnou skúškou sa nám podarilo potvrdiť a overiť teoretické predpoklady [3].



Graf č. 7: Zistenie požadovanej teploty hutnenia ACO 11+ NT



Graf č. 8: Zistenie požadovanej teploty hutnenia ACL 16+ NT

4.3.5. Popis skúšky pojazdom kolesa

Táto skúšobná metóda popisuje postup na stanovenie náchylnosti asfaltových zmesí k deformáciám pod účinkom zaťaženia. (ČSN EN 12697-22)

Vznik trvalých deformácií je hlavne pod účinkom ťažkej nákladnej dopravy. Tomuto javu nie je možné sa vyhnúť, dá sa len obmedziť na určitú úroveň. Najbežnejšou trvalou deformáciou sú vyjazdené koľaje v stope vozidiel. Ďalšou príčinou môže byť aj zlé zhutnenie asfaltových zmesí, prípadne nedostatočná únosnosť podkladových vrstiev.

Touto skúšobnou metódou nebudeme len pozorovať vznik trvalých deformácií, ale aj sledovať zníženie deformácii na nízkoteplotných asfaltových zmesiach.

Skúšku bola realizovaná na skúšobných telesách, ktoré som si vyrobila v laboratóriu. Z asfaltové zmesi ACO 11+ a ACO 11 + NT som vyrobila po dve dosky, a zo zmesi ACL 16 + a ACL 16 + NT po jednej doske. ACL 16 + bolo vyrobené po jednej doske kvôli tomu, že nezvyšil materiál [7] [18].

- **Postup výroby asfaltových dosiek**

Nezhutnená asfaltová zmes ACO 11 + a ACL 16 + sa po zohriatí v peci na 155 °C vloží do predpísanej formy s vnútornými rozmermi 240 x 320 mm.

Nezhutnená asfaltová zmes ACO 11 + NT sa dá do rovnakej formy, ale zmes sa zohreje na 145 °C a ACL 16 + NT na 135°C . Hrúbka skúšobných vzoriek sa určí na základe maximálnej veľkosti zrna kameniva v asfaltovej zmesi (podľa tabuľky č. 16) . ACO 11 + má hrúbku 40mm a ACL 16 + 60 mm.

Maximálna veľkosť zrna kameniva v asfaltovej zmesi	Hrúbka skúšobnej vzorky
<i>D</i>	<i>e</i>
< 8 mm	25 mm
≥ 8 a súčasne < 16 mm	40 mm
≥ 16 a súčasne ≤ 22 mm	60 mm
> 22 a súčasne ≤ 32 mm	80 mm

Tabuľka č. 16: Hrúbka skúšobnej vzorky

Asfalty	Teplota zmesi na začiatku zhutňovania
Asfalty vyrobené podľa ČSN EN 13108-1	
20/30	180 °C
30/45	175 °C
35/50	165 °C
40/60	155 °C
50/70	150 °C
70/100	145 °C

Tabuľka č. 17: Teploty pre asfaltový betón na začiatku zhutňovania

Skúšobne vzorky sa zhutňujú metódou oceľových lamiel. Pred vysypaním zmesi do foriem sa forma potrie separačným prostriedkom, ktorý nerozpúšťa asfaltové spojivo. Do priskrutkovanej formy ku stolu sa zmes rozprestrie pomocou špachtle a pozdĺž formy sa poprepichuje, aby zmesou boli dostatočne vyplnené rohy. Na vyrovnanú zmes sa položí tenký krycí plech, ktorý musí byť tiež potretý separačným prostriedkom a naň sa poukladajú

lamely. Nastáva hutnenie oceľovým valcom po povrchu lamiel (obrázok č. 7). Po jej vychladnutí sa forma odopne a vytiahne sa zhutnená doska (obrázok č. 8).



Obrázok č. 7: Hutniace zariadenie na výrobu skúšobných dosiek



Obrázok č. 8: Zhutnená skúšobná doska

Pre vyrobené vzorky platí, že musia byť uskladnené tak, aby bol skúšobný povrch vo vodorovnej polohe a udržiavaný pri teplote 25°C.

Vyjazďovanie nesmie byť vykonané na materiáloch, ktoré boli zhutnené pred menej ako dvoma dňami. Všetky vzorky musia mať rovnakú dobu skladovania [19] [7].

4.3.6. Postup skúšky pojazdom koleša

Skúšobne teleso je upnuté do rozoberateľnej formy, ktorá sa vkladá do zariadenia (obrázok č. 9). Upnutá doska sa temperuje podľa toho, akú hrúbku má skúšobne teleso. Podľa normy ČSN EN 12697-22, sa vzorky temperujú najmenej na 1 hodinu, pokiaľ vzorky nedosiahnu rovnakú teplotu. Vzorky hrúbky 40 a 60 mm sa temperujú maximálne 24 hodín. Zároveň je treba temperovať aj skúšobne zariadenie, aby bola teplota skúšky na začiatku rovnaká.

Po dosiahnutí požadovanej teploty 50°C, sa zhutnené dosky pripevnia do skúšobného zariadenia. Pred vlastnou skúškou je potreba urobiť 5 skúšobných zaťažovacích cyklov.

Zariadenie sa uvedenie do pohybu a zaznamenáva sa počiatočná vertikálna deformácia. Zaťaženie na dosku je 10 000 cyklov za celú skúšku, čo je 20 000 pojazdov. Keď sa dosiahne tento počet pojazdov, alebo nastane hĺbka koľaje 20 mm, skúška sa automaticky ukončí. V priebehu skúšky sa zaznamenáva teplota [7].



Obrázok č. 9: Vyjazďovanie koľaje

4.3.7. Výpočet prírastku hĺbky vyjazdenej koľaje

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

kde:

WTS_w je prírastok vyjazdenej koľaje v mm na 10^3 zaťažovacích cyklov

$d_{10\,000}$, $d_{5\,000}$ je hĺbka vyjazdenej koľaje po 5 000 a 10 000 cykloch v mm

4.3.8. Výpočet priemernej hĺbky vyjazdenej koľaje

$$PRD_w = \frac{d_{10\,000}}{t}$$

kde:

PRD_w je pomerná hĺbka vyjazdenej koľaje v %

$d_{10\,000}$ je hĺbka vyjazdenej koľaje po 10 000 cykloch v mm

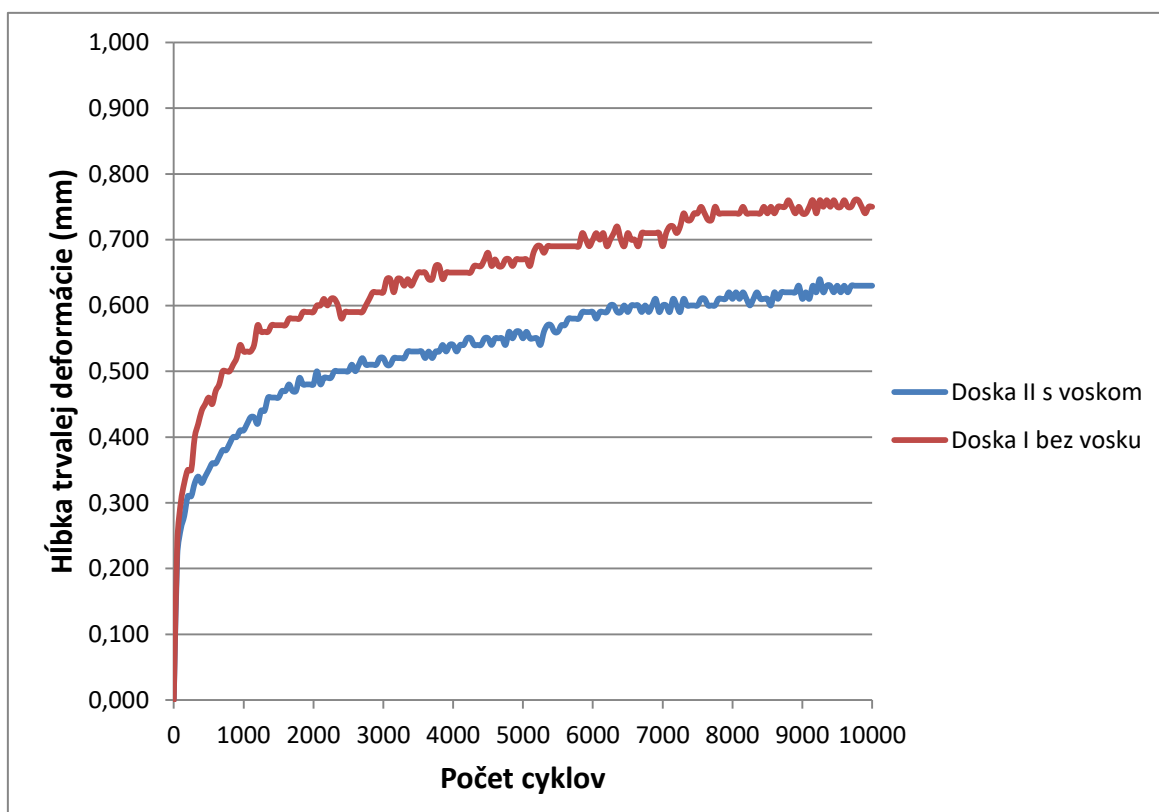
t je hrúbka dosky v mm

4.3.9. Vyhodnotenie skúšky pojazdom kolesa

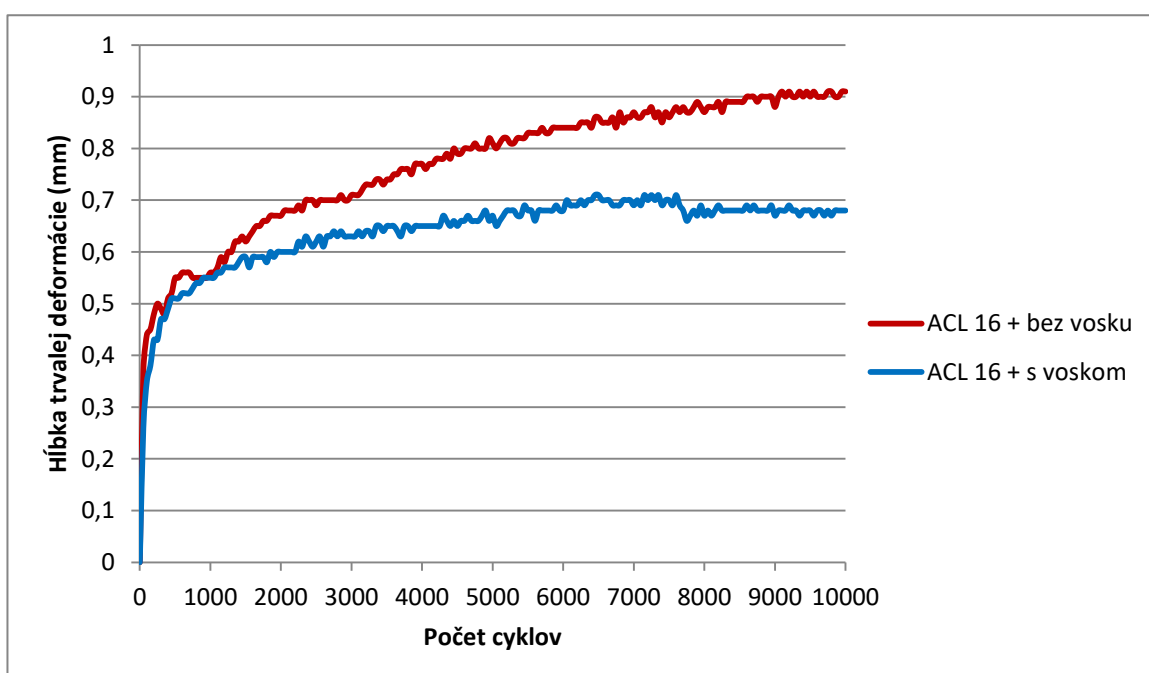
Vyhodnotenie skúšky prebieha pomocou grafu č. 9, ktorý znázorňuje závislosť hĺbky vyjazdenej koľaje a počet cyklov. V tabuľke č. 18 sú uvedené výsledné hodnoty všetkých dosiek.

Asfaltová zmes	ACO 11 + 50/70	ACO 11 + NT 50/70	ACL 16 + 50/70	ACL 16 + NT 50/70
Hrubka (mm)	40	40	60	60
PRD _w (%)	3,62	2,46	2,96	2,02
WTS _w (mm/10 ³ cyklov)	0.022	0.016	0,02	0,002

Tabuľka č. 18: Výsledné hodnoty skúšky pojazdom kolesa



Graf č. 9: Hĺbka trvalej deformácie ACO 11 + bez vosku a ACO 11 + s voskom



Graf č. 10: Hĺbka trvalej deformácie ACL 16 + bez vosku a ACL 16 + s voskom

Po vyhodnotení skúšky pojazdom kola, boli zistené hĺbky vyjazdených koľají. Na základe grafu číslo 9 a 10 je zrejmé, že po pridaní vosku Licomont do asfaltovej zmesi, sú trvalé deformácie menšie. ACO 11 bez vosku ma vyjazdenú koľaj po 20 000

pojazdoch 0,63 mm a asfaltová zmes bez vosku má 0,75 mm. Asfaltová zmes ACL 16 má tak isto dobré výsledky, ako zmes ACO 11. Trvalá deformácie na zmesi ACL 16 s voskom je 0,68 mm a bez vosku 0,91mm.

Najvyššia pomerná hĺbka vyjazdenej koľaje PRD vyšla pri zmesi bez pridania Licomontu o 1,16 a 0,94 % viac pri porovnaní s asfaltovou zmesou s pridaním licomontu.

Pri porovnaní hodnôt prírastku hĺbky vyjazdenej koľaje WTS bola najvyššia nameraná hodnota opäť pri asfaltovej zmesi bez Licomontu a to o 0,006 mm/10³ cyklov až 0,018 mm/10³ cyklov viac ako pri asfaltovej zmesi s Licomontom.

Pri tejto skúške boli dosiahnuté veľmi dobré odolnosti proti deformáciám. Hlavne prekvapivý kvalitný výsledok skúšky bol u zmesi ACL 16. Na základe tejto skúšky môžem konštatovať, že po pridaní Licomontu do asfaltových zmesí, sú výsledky priaznivé a tým by mohli vozovky s týmto typom asfaltovej zmesi v praxi lepšie odolávať deformáciám pod účinkom zaťaženia [7] [3].

4.3.10. Popis skúšky stanovenia modulov tuhosti

Touto skúškou sa charakterizuje tuhosť asfaltových zmesí. Realizuje sa na zhutnenom asfaltovom materiáli pri harmonickom zaťažení. Snažíme sa tým priblížiť chovanie asfaltovej zmesi vo vozovke a odhadnúť tým chovanie celej konštrukcie vozovky (obrázok č. 11) [13].

Vzorky sú deformované v rozsahu lineárneho pretvorenia. Výsledkom tohto merania je amplitúda napätia, pomerné pretvorenie a fázový uhol. Na základe nameraného napätia a pomerného pretvorenia sa dajú vypočítať požadované moduly.

Výsledkom skúšky je zistená veličina E^* , takzvaný komplexný modul. Je to charakteristické pretvorenie pri harmonickom namáhaní premenným zaťažením. Popisuje veľkosť deformácie pri meraní s rôznymi frekvenciami a pri rôznych teplotách. Modul tuhosti je potom absolútna hodnota komplexného modulu $|E^*|$ [8] [18].

- **Postup výroby trapezoidov**

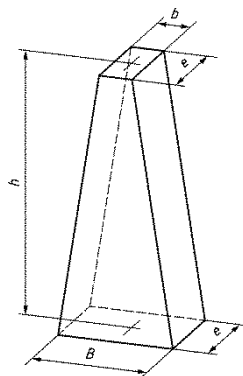
Pripravené zhutnené asfaltové dosky, ktoré som mala pripravené v predošlej skúške sa použijú aj pri stanovení modulov tuhosti. Skúšobné telesá získame vyrezaním pomocou píly s diamantovým kotúčom, do tvaru takzvaných trapezoidov. Skúšobné dosky po narezaní sa nechali vyschnúť pri laboratórnej teplote a ich rozmery a hmotnosť boli zaznamenané do protokolu.

Nachystané vzorky sa uchytiť do špeciálneho stojana. Zrezaný klin ma štandardnú hrúbku 50 mm. Šírka hornej hrany je 25 mm, dolnej hrany 70 mm a dĺžka je 250 mm. Rozmery skúšobného telesa boli stanovené na základe normy ČSN EN 12697 -26.

Rozměry zkušebních těles mm	Zkušební tělesa tvaru <u>trámečku</u> mm		Zkušební tělesa tvaru <u>komolého klinu</u> mm		
	$D \leq 22$ mm	$D > 22$ mm	$D \leq 16$ mm	$16 < D \leq 22$ mm	$22 < D \leq 40$ mm
B			56 ± 1	70 ± 1	70 ± 1
b	40 ± 1	80 ± 1	25 ± 1	25 ± 1	25 ± 1
e	40 ± 1	80 ± 1	25 ± 1	25 ± 1	25 ± 1
h	120 ± 1	240 ± 1	250 ± 1	250 ± 1	250 ± 1

POZNÁMKA D je (jmenovitá) velikost oka horního omezujícího síta kameniva ve směsi, v milimetrech (mm).

Tabuľka č. 19: Minimálne rozmery skúšobného telesa



Obrázok č. 10: Geometria skúšobného telesa

Na skúšobné telesá sa nalepí oceľová doštička, a na špičku telesa sa nalepí oceľový háčik. (obrázok č. 12 a 13). Doštičky sa nalepia pomocou epoxidovej živice, ktorá je zmiešaná s tužidlom a fillerom. Pred skúškou musí byť lepidlo dostatočne zatvrdnuté a vzorky musia mať konštantnú hmotnosť pri teplote menej ako 20 °C. Naše vzorky boli temperované na teplotu 15 °C [1] [8].



Obrázok č. 11: Zariadenie na meranie modulov tuhosti asfaltových zmesí



Obrázok č. 12: Skúšobne telesá – zrezané klíny



Obrázok č. 13: Detail prichytenia háčiku

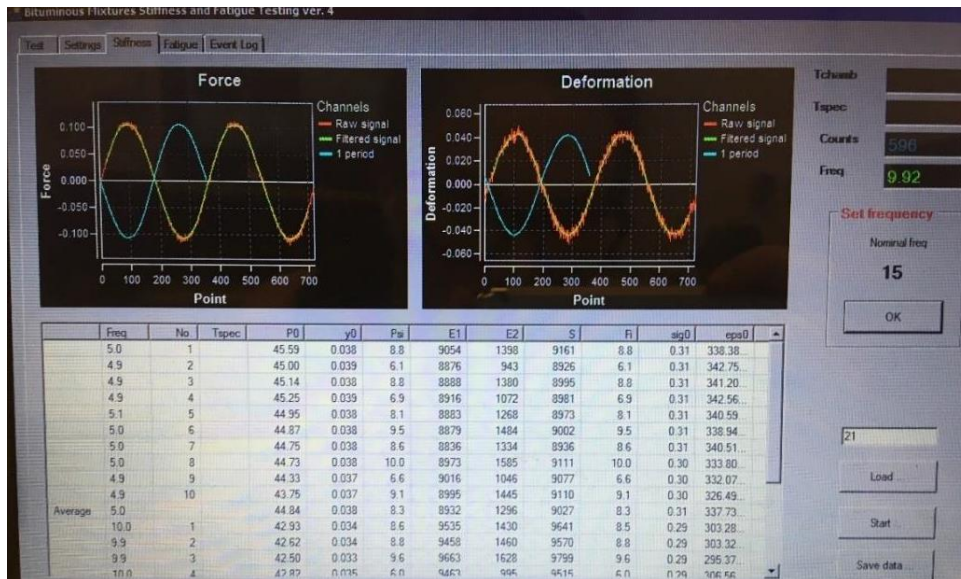
4.3.11. Postup skúšky stanovenia modulov tuhosti

Po temperovaní skúšobných telies v klimatizovanej komore na teplotu 15 °C bolo teleso stabilizované a vycentrované pod vodiacu tyč zaťažovacieho zariadenia a uchytené pomocou podložiek a skrutiek do tuhého rámu (obrázok č. 14).



Obrázok č. 14: Upevnenie skúšobného telesa

V poslednom rade boli do programu zadané parametre telesa (obrázok č. 15) a to, rozmery a hmotnosť skúšobných telies. Zariadenie bolo spustené a boli stanovené hodnoty komplexných modulov tuhosti. Tieto hodnoty sa zisťovali pri teplote 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C a 25 °C. V priebehu merania boli zaznamenávané hodnoty amplitúdy sily a priehybu telesa. Ďalej, fázový uhol posunu pôsobením deformácie pri postupne zvyšovaných frekvenciách. Tieto hodnoty boli stanovené po frekvenciách zaťažovania 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz [8].



Obrázok č. 15: Ukážka merania modulov tuhosti pomocou výpočtového programu

4.3.12. Výpočet modulov tuhosti

V tejto kapitole sú popísané jednotlivé postupy a výpočtové rovnice potrebné na stanovenie modulov tuhosti podľa ČSN EN 12697-26.

Komplexný modul E^* - je to vzťah medzi napätím a pretvorením pre lineárny viskozno-elastický materiál vystavený harmonickému (sínusovému) zaťaženiu v čase t , s použitím napätia, kde jeho výsledkom je pomerné pretvorenie, ktoré má posun o fázový uhol v porovnaní s priebehom napätia. Komplexný modul závisí od frekvencií a teploty. Je charakterizovaný dvoma zložkami, reálnou E_1 a imaginárnou E_2 .

- Výpočet komplexného modulu E^*

$$E^* = E_1 + iE_2$$

$$E_1 = |E^*| * \cos(\theta)$$

$$E_2 = |E^*| * \sin(\theta)$$

kde: E^* je komplexný modul tuhosti (MPa)

E_1 je reálna zložka komplexného modulu (MPa)

E_2 je imaginárna zložka komplexného modulu (MPa)

θ je fázový uhol (°)

- **Výpočet modulu tuhosti S**

$$S = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = |E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

kde: S je modul tuhosti (MPa)

σ_0 je amplitúda maximálneho napätia (MPa)

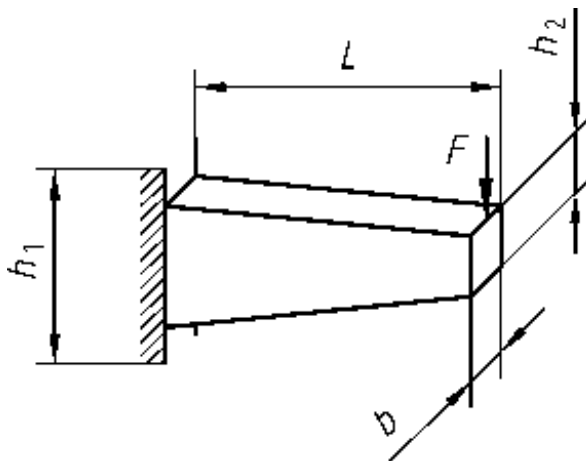
ε_0 je amplitúda maximálneho pretvorenia (m/m)

E_1 je reálna zložka komplexného modulu (MPa)

E^* komplexný modul tuhosti (MPa)

E_2 imaginárna zložka komplexného modulu (MPa)

Pri tejto skúške dvojbodovým ohybom na telesách tvaru jednostranne votknutého zrezaného klinu sme dostali tieto hodnoty: vyvedená sila F (N), posun z (mm) a ich fázový uhol Φ (°) (obrázok č 16) [8] [1].



Obrázok č. 16: Druh zaťažovania

- **Výpočet zložiek komplexného modulu tuhosti**

$$E_1 = \gamma \cdot \left(\frac{F}{Z} \cdot \cos(\varphi) + 10^{-6} \cdot \mu \cdot \omega^2 \right)$$

$$E_2 = \gamma \cdot \frac{F}{Z} \cdot \sin(\varphi)$$

kde: γ je faktor tvaru ako funkcia veľkosti a tvaru skúšobného telesa (1/mm)

$$\frac{12L^3}{b(h_1 - h_2)^3} \left[\left(2 - \frac{h_2}{2h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right]$$

μ je faktor hmotnosti, ktorý je funkciou hmotnosti skúšobného telesa M (g) a hmotnosťou pohyblivých častí m (g), ktoré svojou zotrvačnou silou ovplyvňujú silu

$$0,135 M + m$$

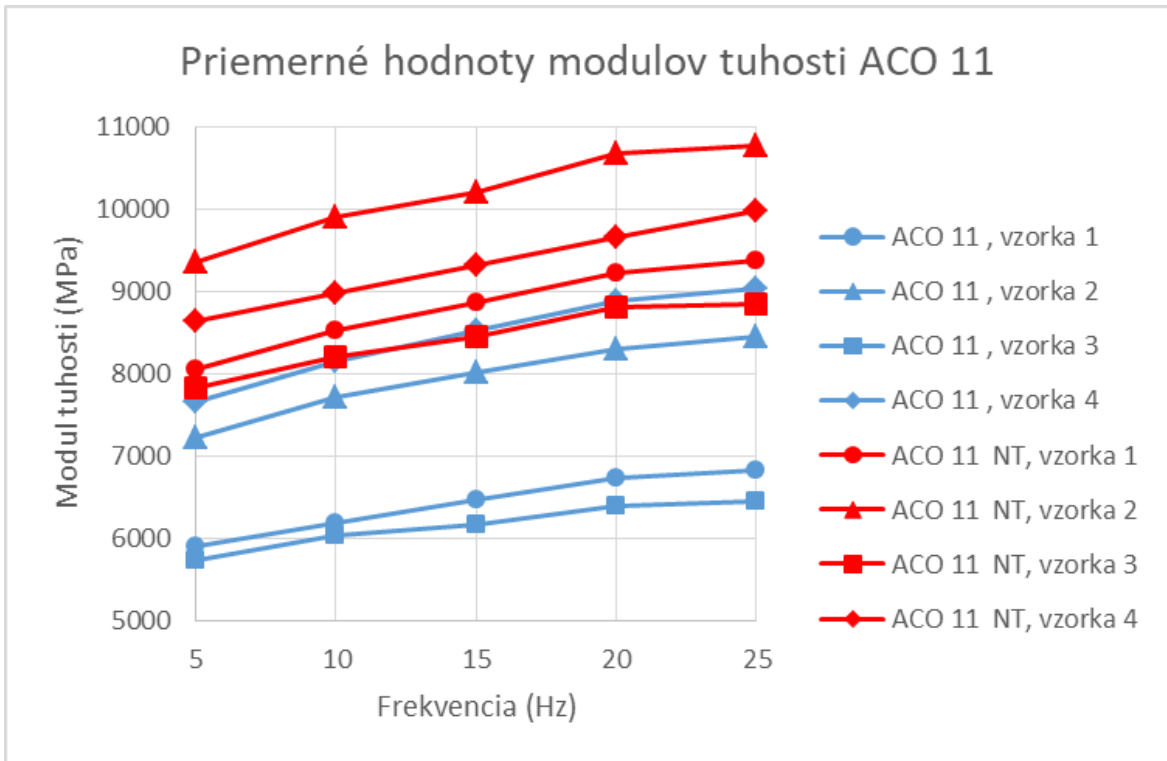
ω je kruhová frekvencia vynúteného kmitania (s^{-1})

4.3.13. Vyhodnotenie skúšky modulov tuhosti

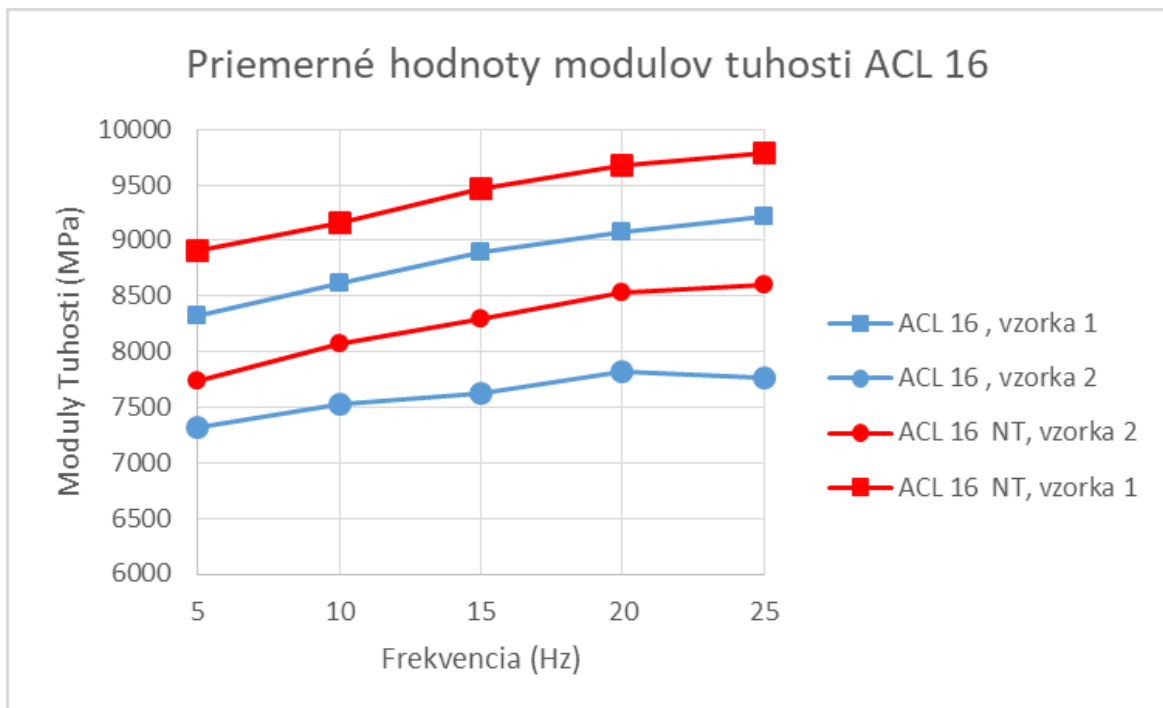
Výsledkom stanovenia modulov tuhosti je aritmetický priemer čiastkových modulov tuhosti jednotlivých skúšobných telies.

Priemerné hodnoty modulov tuhosti (MPa) pri teplote 15°C					
Asfaltová zmes	Frekvencia (Hz)				
	5	10	15	20	25
ACL 16 , vzorka 1	8320	8616	8891	9078	9213
ACL 16 , vzorka 2	7324	7524	7622	7824	7762
ACL 16 NT, vzorka 2	7741	8073	8298	8526	8606
ACL 16 NT, vzorka 1	8904	9163	9466	9676	9793
ACO 11 , vzorka 1	5899	6190	6462	6739	6826
ACO 11 , vzorka 2	7221	7721	8019	8290	8443
ACO 11 , vzorka 3	5735	6026	6165	6398	6441
ACO 11 , vzorka 4	7656	8140	8517	8881	9031
ACO 11 NT, vzorka 1	8048	8519	8870	9223	9375
ACO 11 NT, vzorka 2	9361	9895	10194	10679	10763
ACO 11 NT, vzorka 3	7826	8200	8456	8808	8848
ACO 11 NT, vzorka 4	8631	8985	9311	9651	9979

Tabuľka č. 20: Tabuľka výsledných priemerných hodnôt



Graf č. 11: Výsledné priemerné hodnoty ACO 11



Graf č. 12: Výsledné priemerné hodnoty ACL 16

Cieľom diplomovej práce bolo porovnať vybrané funkčné parametre asfaltových zmesí vyrobených v dvoch variantoch - s bežnou asfaltovou zmesou (ACO, ACL) a s nízkoteplotnou asfaltovou zmesou (ACO NT, ACL NT). Hlavným porovnávaným funkčným parametrom bola tuhosť.

Na základe grafického znázornenia (graf č. 11 a 12) môžem konštatovať, že krivka reprezentujúca štandardnú asfaltovú zmes má nižší modul tuhosti ako krivka reprezentujúca nízkoteplotnú asfaltovú zmes. To znamená, že pridaním prísady Licomont sa zlepšila tuhosť asfaltových zmesí.

5. ZÁVER

V diplomovej práci bola venovaná pozornosť nízkoteplotným asfaltovým zmesiam. Práca bola rozdelená na dve časti: teoretickú a praktickú.

Cieľom teoretickej časti diplomovej práce bolo vypracovať prehľad technológií umožňujúcich znížiť pracovnú teplotu pri výrobe a pokládke asfaltových zmesí. Ďalej bol vypracovaný princíp technológie pridávania prísad do nízkoteplotných asfaltov, vrátane popisu skúseností zo zahraničia.

V praktickej časti práce bolo urobené porovnanie bežných a nízkoteplotných parametrov dvoch druhov asfaltových zmesí, kde nízkoteplotná asfaltová zmes bola vyrobená pomocou vosku Licomont.

Na základe porovnania dosiahnutých, vyššie uvedených výsledkov, funkčných charakteristík pri jednotlivých variantoch skúšaných asfaltových zmesí, je možné konštatovať, že vďaka použitiu technológie nízkoteplotných asfaltových zmesí, došlo k zlepšeniu sledovaných parametrov. Výrazne sa zlepšili trvalé deformácie a moduly tuhosti, oproti bežným asfaltovým zmesiam.

Vďaka priaznivým výsledkom tejto diplomovej práce, sa môže táto technológia zaradiť do bežnej praxe v Českej republike. Dokázalo sa, že táto technológia je šetrnejšia k životnému prostrediu.

Na základe týchto výsledkov bude uskutočnená pokládka nízkoteplotných asfaltových zmesí v Prahe. Od odborného pracovníka z obal'ovny mám potvrdené, že po získaní investora, sa bude pokládka nízkoteplotných asfaltových zmesí riadiť získanými informáciami z tejto diplomovej práce.

6. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ZAJÍČEK, Jan. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] Asphalt Products - EAPA [online]. Brussels: European Asphalt Pavement Association, 2019 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://eapa.org/asphalt-products>
- [3] TP 238. Nízkoteplotní asfaltové směsi. Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací, 2012.
- [4] ČSN EN 12697-30. Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [5] ČSN EN 12697-6. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [6] ČSN EN 12697-5. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [7] ČSN EN 12697-22. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] ČSN EN 12697-26. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [9] Protokol o zkoušce typu č. 02/BO/16, ACO 11 + 50/70. Vydal: Porr a.s., Praha, 2016.
- [10] Protokol o zkoušce typu č. 12/BO/17, ACL 16 + 50/70. Vydal: Porr a.s., Praha, 2017.
- [11] Nízkoteplotné asfaltové zmesi, skúsenosti z výroby [online]. Bratislava: JAGA GROUP, 2017 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z:

<https://www.asb.sk/stavebnictvo/inzinierske-stavby/vozovky/nizkoteplotne-asfaltove-zmesi-skusenosti-z-vyroby>

- [12] Nízkoteplotné asfaltové zmesi, úvod k téme [online]. Bratislava: JAGA GROUP, 2017 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z:
<https://www.asb.sk/stavebnictvo/inzinierske-stavby/vozovky/nizkoteplotne-asfaltove-zmesi-uvod-kteme>
- [13] VALENTIN, Jan a MONDSCHHEIN, Petr . Vybrané experimentální poznatky o nízkoteplotních asfaltových směsích [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2010 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/vybrane-experimentalni-poznatky-o-nizkoteplotnich-asfaltovych-smesich/>
- [14] Amidové vosky a jejich použití v silničním stavitelství [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2014 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/amidove-vosky-a-jejich-pouziti-v-silnicnim-stavitelstvi/>
- [15] Licomont BS 100 [online]. Praha: ECT, 2018 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://ectjicin.com/licomont-bs-100/>
- [16] Hutnění asfaltových směsí v laboratoři: vliv hutnění na chování asfaltových směsí [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2014 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hutneni-asfaltovych-smesi-v-laboratori-vliv-hutneni-na-chovani-asfaltovych-smesi/>
- [17] FIEDLER, Jiří. Nízkoteplotní asfaltové směsi. In: sdruzeni-silnice.cz [online]. 02. - 03. 2015 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z:
<http://www.sdruzenisilnice.cz/Download.aspx?param=jx3godhnp7M1LWTdfUhRePwrqzsjKBVUCefaBKzV8QuJBfcXCYMZG74gcARlHDZDZPAn686QSm0zhOHJns3An%2FGbEtDvRwLuQ24Povob%2BP%2BwRaUUg92AM5y3a12bm7kapqoN7sR4j%2FH6zxb4M1qDSSQyGNW2282niM%2FLKLyC517Uc%2BpCFjLb82Rjj%2FH8mT6xhObShBy5b%2B1UU2Efhxz4OX1cUePskEL%2BV BqZSpfozEQq%2Bzqde1VLVR10hG3o94vkcMd8CW6KIhJwEfamZOrhKXHc0FDmTT3vx2nt1qnfGuWWZdObaqnFm4CMyGUp07q2HDxnDScBSb4ymctWnGY60Ysgo%2BjnuGf%2FJ68GsL1v0dN7Eznm3vUYjHkL8BxM84D1tVMHItNAIZN48DVvZUaUJdkMlyVvQn0Lw6wo4F5M8dGu9Q%2FfS5Fb1HQdaAT2dMGJ%2B17CalpWyBQy4HOH8APO0n5l%2F1iu4Eh5s7vQBEPwkcCIa6K>

pbmRfq9kYhydQ2sxVj7gcSbbX7VlqLZ8UZHqA%3D%3D&tname=SiteContent.aspx

- [18] HÝZL, Petr a VARAUS, Michal. Funkční zkoušky asfaltových směsí. Časopis stavebnictví [online]. Brno: 2007 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z:
https://www.casopisstavebnictvi.cz/funkcni-zkousky-asfaltovych-smesi_N278
- [19] VENCLÍKOVÁ, Michaela. Využití pěnoasfaltu v asfaltových směsích. Brno, 2018. 93 s., 20 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [20] Materiály predmetu BM02
- [21] Ředitelství silnic a dálnic ČR [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z:
<https://www.rsd.cz/wps/portal/web/rsd/Silnicni-databanka>

7. ZOZNAM GRAFOV

Graf č. 1: Rozdelenie asfaltových zmesí v závislosti od výrobnéj teploty	15
Graf č. 2: Porovnanie dynamickej viskozity asfaltov a ich varianty s prídavkom Licomontu BS 100	19
Graf č. 3: Zníženie emisií vplyvom teploty	21
Graf č. 4: Nárast výroby teplých asfaltových zmesí v Nórsku	22
Graf č. 5: Požadované hodnoty a čiara zrnitosti kamennej zmesi na skúšku typu č. 02/BO/16 pre zmes ACO 11 +	29
Graf č. 6: Požadované hodnoty a čiara zrnitosti kamennej zmesi na skúšku typu č. 12/BO/17 pre zmes ACL 16 +	29
Graf č. 7: Zistenie požadovanej teploty hutnenia ACO 11+ NT.....	42
Graf č. 8: Zistenie požadovanej teploty hutnenia ACL 16+ NT	43
Graf č. 9: Hĺbka trvalej deformácie ACO 11 + bez vosku a ACO 11 + s voskom	48
Graf č. 10: Hĺbka trvalej deformácie ACL 16 + bez vosku a ACL 16 + s voskom.....	48
Graf č. 11: Výsledné priemerné hodnoty ACO 11	56
Graf č. 12: Výsledné priemerné hodnoty ACL 16	56

8. ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka č. 1: Informatívne hodnoty pracovných teplôt NTAS pre najčastejšie používané prísady – TP 238	17
Tabuľka č. 2: Príklad technických charakteristík u niektorých organických prísad a ich účinkov na cestnom asfalte 50/70	18
Tabuľka č. 3: Podiel WMA od roku 2009 – 2012 v USA	23
Tabuľka č. 4: Produkcia asfaltových zmesí v celej Českej republike a v rámci COLAS Slovensko v rokoch 2014 až 2016	25
Tabuľka č. 5: Vlastnosti kameniva ACO 11 +	28
Tabuľka č. 6: Vlastnosti kameniva ACL 16 +	28
Tabuľka č. 7: Vlastnosti cestného asfaltu ACO 11 + 50/70.....	30
Tabuľka č. 8: Vlastnosti cestného asfaltu ACL 16 + 50/70	30
Tabuľka č. 9: Výstupné zloženie zmesi ACO 11 +	31
Tabuľka č. 10: Výstupné zloženie zmesi ACL 16 +	32
Tabuľka č. 11: Výsledné hodnoty maximálnej objemovej hmotnosti	38
Tabuľka č. 12: Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACO 11 +.....	38
Tabuľka č. 13 Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACL 16 +	39
Tabuľka č. 14: Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACO 11 NT	40
Tabuľka č. 15: Namerané objemové hmotnosti asfaltovej zmesi ACL 16 NT.....	41
Tabuľka č. 16: Hrúbka skúšobnej vzorky	44
Tabuľka č. 17: Teploty pre asfaltový betón na začiatku zhutňovania.....	44
Tabuľka č. 18: Výsledné hodnoty skúšky pojazdom kolesa	47
Tabuľka č. 19: Minimálne rozmery skúšobného telesa	50
Tabuľka č. 20: Tabuľka výsledných priemerných hodnôt	55

9. ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok č. 1: Viskózne-elastické chovanie asfaltu	12
Obrázok č. 2: Schéma šaržovej obalovny	14
Obrázok č. 3: Príprava Marshallovho telesa	34
Obrázok č. 4: Pripravené Marshallove telesá.....	35
Obrázok č.5: Váženie skúšobných telies vo vode	36
Obrázok č. 6: Pyknometer	37
Obrázok č. 7: Hutniace zariadenie na výrobu skúšobných dosiek	45
Obrázok č. 8: Zhutnená skúšobná doska	45
Obrázok č. 9: Vyjazdovanie koľaje	46
Obrázok č. 10: Geometria skúšobného telesa	50
Obrázok č. 11: Zariadenie na meranie modulov tuhosti asfaltových zmesí	51
Obrázok č. 12: Skúšobne telesá – zrezané klíny	51
Obrázok č. 13: Detail prichytenia háčiku.....	51
Obrázok č. 14: Upevnenie skúšobného telesa	52
Obrázok č. 15: Ukážka merania modulov tuhostí pomocou výpočtového programu.....	53
Obrázok č. 16: Druh zaťažovania	54