

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB



**TEPLOTA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ,
ZÁSADNÍ PARAMETR KVALITY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

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



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Časová	Jméno: Tereza	Osobní číslo: 477420
Zadávající katedra: Katedra silničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Teplota asfaltových směsí, zásadní parametr kvality	
Název bakalářské práce anglicky: Temperature of Asphalt Mixes, Fundamental Quality Parameter	
Pokyny pro vypracování: Zpracujte rešerši v oblasti vlivu teploty asfaltové směsi na její chování, jaké parametry ovlivňují chladnutí směsi, při jakých teplotách se směs dopravuje, vyrábí, pokládá a hutní. Omezení klimatickými podmínkami. V praktické části vyhodnoťte změnu teploty asfaltové směsi v procesu její dopravy a pokládky.	
Seznam doporučené literatury: Pokládka hutněných asfaltových směsí - doc. Ing. Václav Hanzlík, CSc.; Technologie stavby vozovek - Ing. Jan Zajíček a kol.; TKP 7 Kapitola 7 HUTNĚNÉ ASFALTOVÉ VRSTVY; ČSN 73 6121 Stavba vozovek. Hutněné asfaltové vrstvy, další platné technické normy a předpisy	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 19.2.2021	Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Teplota asfaltových směsí, zásadní parametr kvality“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Petra Mondscheina, Ph.D. a s použitím literatury, která je uvedena na konci bakalářské práce v seznamu bibliografie.

V Praze.....

.....
Tereza Čásová

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce p. Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za vedení mé práce a za poskytnutí odborných rad a informací při konzultacích a při praktické části v silniční laboratoři Fakulty stavební ČVUT. Dále bych chtěla poděkovat členům silniční laboratoře, a to jmenovitě Jaroslavu Kasalickému a Ing. Peterovi Gallo za cenné rady a pomoc při laboratorních měřeních. Mé poděkování dále patří stavební firmě Froněk, spol. s.r.o. a jejím zaměstnancům, kteří byli velice ochotní při měření teploty přímo na stavbě.

Anotace

Předmětem této bakalářské práce je zachycení vlivu teploty na výslednou kvalitu asfaltové směsi a následně i na kvalitu a životnost asfaltové konstrukční vrstvy. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část bakalářské práce se zabývá popisem návrhu asfaltové směsi, její výrobou a následnou pokládkou doprovázenou hutněním. V praktické části této bakalářské práce je zkoumáno ochlazování dopravované asfaltové směsi v zateplených korbách. Dále jsou laboratorně zkoumány mechanicko-fyzikální vlastnosti zkušebních těles při různých výrobních teplotách.

Klíčová slova: asfaltová směs, teplota asfaltových směsí, kvalita, transport, hutnění

Abstract

The main subject of this thesis is capturing an influence of temperature on quality of asphalt mixes and asphalt construction layers. Bachelor thesis is divided into two parts: theoretical part and practical part. Theoretical part deals with description of the designing asphalt mixes, production of asphalt mixes, laying and compaction of asphalt mix. The other part of this thesis deals with the cooling of the mixture during the transportation. Next, experiments were performed on test specimens manufactured at different temperatures.

Key words: asphalt mix, temperature of asphalt mixes, quality, transport, compaction,

Obsah

Obsah.....	6
1. Úvod.....	8
2 Asfaltová směs	9
2.1 Složení asfaltové směsi.....	9
3 Dělení asfaltových směsí.....	9
4 Výroba asfaltové směsi	10
4.1 Volba vstupních materiálů.....	10
4.2 Návrh asfaltové směsi.....	11
4.3 Zkoušení asfaltových směsí	13
4.3.1 Modul tuhosti.....	13
4.3.2 Marshallova zkouška.....	16
4.3.3 Stanovení pevnosti v příčném tahu.....	17
4.3.4 Stanovení maximální objemové hmotnosti	18
4.3.5 Stanovení objemové hmotnosti zhutněného asfaltového zkušebního tělesa	22
4.3.6 Mezerovitost	25
4.4 Obalovny	26
4.4.1 Šaržová obalovna	26
4.4.2 Kontinuální obalovna	28
4.5 Uskladnění asfaltové směsi.....	29
5 Doprava asfaltové směsi	29
5.1 Ochrana asfaltové směsi před vnějšími vlivy	30
5.2 Typ vozidla.....	31
5.2.1 Kapacita vozidla	31
5.2.2 Termoizolační vozidla	31
5.3 Doba dopravy asfaltové směsi.....	33
6 Pokládka asfaltové směsi.....	33
6.1 Homogenizátor.....	33
6.2 Vstupní požadavky při pokládce	33
6.3 Stroje pro pokládku hutněných asfaltových směsí.....	34
6.3.1 Dozery	34
6.3.2 Grejdry.....	35
6.3.3 Rozhrnovače	35

6.3.4	Finišery	35
6.4	Tloušťky pokládaných vrstev	37
6.5	Vizuální kontrola asfaltové směsi	37
6.6	Hutnění asfaltové směsi	38
6.6.1	Faktory ovlivňující proces hutnění	39
6.6.2	Teplota a tloušťka pokládané vrstvy	39
6.6.3	Materiálové charakteristiky	39
6.6.4	Charakteristiky používaných válců	40
7	Praktická část	42
7.1	Měření teplot v terénu	42
7.1.1	Pokládka komunikace ve Štichovicích u Manětína	42
7.1.2	Pokládka komunikace v Novém Strašecí	45
7.1.3	Pokládka komunikace u obce Krásno	47
7.2	Specifikace asfaltové směsi	49
7.2.1	ACO 11S PMB 45/80-65	49
7.3	Laboratorní zkoušky asfaltové směsi ACO 11S PMB	49
7.3.1	Příprava zkušebních vzorků	50
7.3.2	Zkouška na zjištění maximální objemové hmotnosti	50
7.3.3	Zkouška na zjištění objemové hmotnosti zhutněného tělesa	51
7.3.4	Výpočet mezerovitosti	54
	56
7.3.5	Zkouška na zjištění modulu tuhosti	57
7.3.6	Marshallova zkouška	60
7.3.7	Stanovení pevnosti v příčném tahu	61
8	Závěr	63
9	Bibliografie	64
10	Seznam obrázků	66
11	Seznam grafů	66
12	Seznam tabulek	67
13	Seznam vzorců	67
14	Přílohy	69
14.1	Seznam příloh	69

1. Úvod

Kvalita netuhých a polotuhých vozovek, které obsahují konstrukční vrstvy z asfaltových směsí, závisí na míře zhutnění použité asfaltové směsi. Míra zhutnění je samozřejmě závislá hlavně na pokládce, ale i na typu použitého asfaltového pojiva, správné volby kameniva. Avšak zásadní vliv na tento parametr má teplota, a to konkrétně teplota asfaltové směsi po příjezdu z obalovny na stavbu. Pokud by nebyla zajištěna dostatečně vysoká teplota asfaltové směsi, nebylo by možné ji dostatečně zhutnit a výsledná kvalita asfaltové konstrukční vrstvy by byla nevyhovující.

Během celého procesu výroby, skladování, dopravy a realizace konstrukčních vrstev je několik faktorů, které teplotu asfaltové směsi ovlivňují. Na začátku celého procesu se zahřeje kamenivo na stanovenou teplotu. Ke kamenivu je přidáno asfaltové pojivo o předepsané teplotě a všechna zrna jsou posléze obalena. Následně směs putuje buďto přímo na stavbu, anebo se několik hodin, v závislosti na organizaci práce, skladuje v zásobnících, které jsou izolovány, aby se směs před expedicí neochladila a udržela si požadovanou teplotu. Následně je směs expedována na stavbu nákladními automobily, které mohou mít speciálně upravené termoizolační korby a zpravidla jsou zakryté plachtou či jiným zákrytem.

Samotná doprava na stavbu představuje ty největší tepelné ztráty. Proto se hotové asfaltové směsi nesmějí převážet příliš daleko a dlouho. Aby bylo zabráněno vychladnutí asfaltové směsi, korba auta se musí zaplachtovat. V případě velkých staveb, jako jsou například dálnice či jiné významné liniové stavby, je nutné použít před pokládkou homogenizátor, ve kterém je sjednocena teplota asfaltové směsi. Směs následně putuje do finišeru, který tvoří výslednou asfaltovou konstrukční vrstvu.

V této práci se budu věnovat hlavně sledování teploty během expedice směsi z dané obalovny na stavbu. Zaměřím se na to, jaký vliv na teplotu má dodatečně izolovaný návěš nákladního automobilu a zda je možné převážet asfaltovou směs na delší vzdálenosti. Dále v laboratorních podmínkách provedeme několik zkoušek, které dokážou odhalit kvalitu asfaltové vrstvy vzhledem k výrobní teplotě směsi.

2 Asfaltová směs

2.1 Složení asfaltové směsi

Asfaltová směs se skládá ze dvou základních složek, a to kameniva a asfaltu. Pokud u asfaltové směsi je potřeba zajistit dostatečnou přilnavost, nebo zlepšit jiné mechanické vlastnosti, jsou do směsi přidávány přísady a příměsi. Jejich druh a množství je určeno buď pokyny výrobce, anebo výsledky zkoušek mechanicko-fyzikálních vlastností. V současné době je velkým trendem do asfaltové směsi přidat tzv. R materiál. R materiál je směs kameniva a asfaltového pojiva, která byla již jednou využita a je opětovně získána recyklací konstrukční asfaltové vrstvy. Nejčastěji se recyklované kamenivo získává z obrusných a ložních vrstev vozovky. [1] Použití R materiálu je závislé zejména na druhu asfaltové vrstvy, ze které je recyklát získán. Množství použití R materiálu je blíže specifikováno v normě ČSN 73 6121.

Kamenivo v asfaltové směsi tvoří tzv. kostru. Kostra je vytvářena tím způsobem, že se jednotlivá zrna do sebe zaklíňují a vzájemně se dotýkají a asfalt je tak pojivem mezi jednotlivými zrny. Typ asfaltového pojiva a druh kameniva volíme v závislosti na požadovaných vlastnostech asfaltové směsi, které vyplývají z dopravního zatížení komunikace, typu klimatu, návrhové úrovně porušení atd. [2] Mezi asfaltová pojiva tak řadíme asfalt, asfaltovou emulzi a ředěný asfalt. [1]

V České republice se pro klasickou pokládku asfaltové konstrukční vrstvy nejčastěji používají horké směsi, tzn. kamenivo je obalováno při vysokých teplotách s rozežhátým asfaltovým pojivem. Avšak v zemích, jakou jsou Francie a USA, jsou hojně využívány i tzv. směsi studené jako náhrada standardních asfaltových vrstev vytvářených za vysokých teplot. Nejčastěji je zde použita jako pojivo asfaltová emulze. V našich podmínkách je tento typ asfaltové směsi využíván zejména pro vysprávkové technologie, a to při lokální opravě mimo technologické období, kdy klimatické podmínky jsou méně příznivé pro horké směsi. [1]

3 Dělení asfaltových směsí

Obecně lze asfaltové směsi rozdělit na asfaltové směsi hutněné a asfaltové směsi nehutněné neboli lité asfalty. Asfaltová směs hutněná je třífázový systém složený ze 3 základních složek: kamenivo, asfaltové pojivo a vzduchové mezery. Oproti tomu asfaltová směs nehutněná je pouze dvoufázový systém, jelikož se v této směsi nenachází žádné vzduchové mezery. Veškeré místo je zaplněno asfaltovým pojivem. [1]

Základní dělení asfaltových směsí: [1]

- a) Hutněné asfaltové směsi
- Asfaltový beton (AC)
 - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM)
 - Asfaltové směsi s vysokým modelem tuhosti (VMT)
 - Typ Makadam
 - Asfaltový koberec mastixový (SMA)
 - Asfaltový koberec otevřený (AKO)
 - Drenážní koberec (PA)
- b) Nehutněné asfaltové směsi
- Lítý asfalt (MA)

4 Výroba asfaltové směsi

4.1 Volba vstupních materiálů

Vstupní materiály (kamenivo, pojivo, přísady) musíme volit s ohledem na požadovanou asfaltovou směs. Některé asfaltové směsi požadují přerušenu čáru zrnitosti a jiné naopak spojitou. Vše samozřejmě závisí na požadovaných finálních vlastnostech konstrukční vrstvy.

Kamenivo musí splňovat veškeré požadavky určené v normě ČSN EN 13043. Mezi požadavky patří např.: zrnitost, tvarový index, odolnost proti drcení, ohladitelnost, obsah jemných částic apod. Každá dodávka kameniva na obalovnu by měla být podrobena kontrole kvality a mechanických vlastností. V obalovně by měly být jednotlivé frakce kameniva skladovány odděleně v boxech, aby nedošlo k promíchání jednotlivých frakcí. [3]



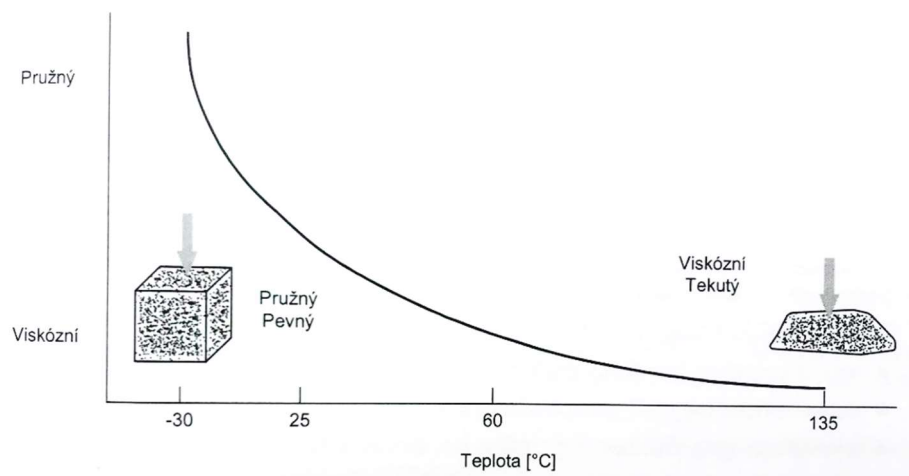
Obrázek 1 - Obalovna Froněk – oddělený sklad kameniva

Jako pojivo pro asfaltovou směs lze využít všechny asfalty, které jsou uvedeny v normách ČSN EN 13108-1, -2, -5, -7 a v jejich Národních přílohách ČSN 73 6121 (směs AKO) a ČSN 73 6127 - 3 (směs ACB). [3]

Mezi nejfrekventovanější pak patří tyto:[4]

- Silniční asfalt
 - 20/30, 30/45, 35/50, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220
- Silniční tvrdé asfalty
 - 10/20, 10/25, 15/25
- Modifikovaný asfalt
- Ředěné asfalty
- Asfaltové emulze

Asfalt je z fyzikálního pohledu amorfni, visko-elastický materiál, jehož vlastnosti se mění v závislosti na změně teploty viz Obrázek č.1. Při nízkých teplotách se asfalt chová jako pevně pružná látka, ale při vysokých teplotách se z asfaltu stává kapalina. Obor použitelnosti asfaltu se pohybuje od teploty bodu lámavosti až do bodu teploty měknutí. [1] Požadavky na asfaltová pojiva jsou blíže uvedeny v normě ČSN 65 7204.



Obrázek 2 – Visko-elastické chování asfaltu v závislosti na teplotě [1]

4.2 Návrh asfaltové směsi

Správný návrh asfaltové směsi musí v první řadě splňovat požadavky příslušných technických norem ČSN EN 13108-21. Volba materiálu závisí na druhu asfaltové směsi a na jejím použití v konstrukci vozovky. Obecně se asfaltové směsi skládají z 93–96 % kameniva a 4–7 % asfaltového pojiva. [2] Avšak každá asfaltová směs má svá specifika, která jsou uvedena v příslušných normách a předpisech.

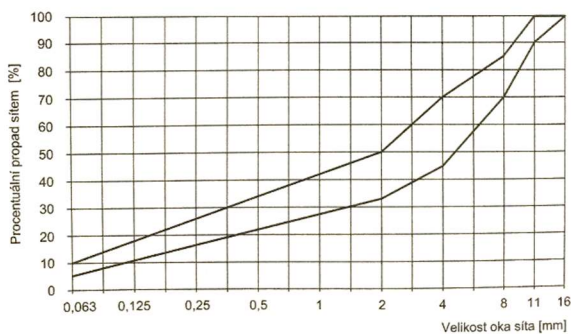
Požadavky na složení asfaltové směsi a na její výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti jsou ověřovány počátečními zkouškami typu. Tyto zkoušky jsou však natolik složité, že nalezení

optimálního složení asfaltové směsi lze provést pouze v laboratorních podmínkách. Při návrhu směsi v laboratoři postupujeme následujícím způsobem [1]:

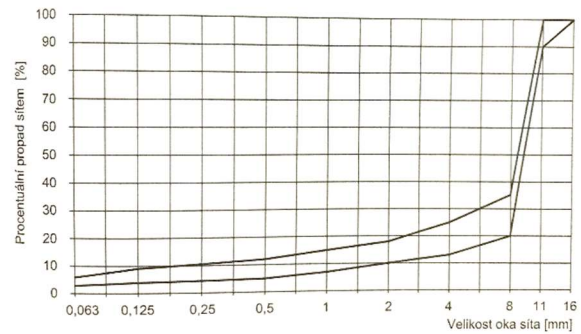
1. Návrh čáry zrnitosti
2. Teoretické stanovení optimálního množství asfaltového pojiva
3. Stanovení návrhového množství asfaltového pojiva
4. Ověření mechanicko-fyzikálních vlastností asfaltové směsi

Ad 1. Čára zrnitosti je navržena tak, aby ležela uvnitř daného oboru zrnitosti. Ten se mění v závislosti na typu asfaltové směsi. Některé asfaltové směsi vyžadují spojitou čáru zrnitosti jako např. AC – asfaltový beton; a jiné naopak vyžadují přerušenu čáru zrnitosti jako např. PA – asfaltový koberec drenážní.

Plynulá čára zrnitosti zajistí menší mezerovitost asfaltové směsi, jelikož se do sebe jednotlivá zrna dobře zaklíní a je zde pouze malé množství mezer. Oproti tomu kostra přerušené čáry zrnitosti je ve větší části tvořena pouze tou nejhrubší frakcí kameniva a mezerovitost u této směsi je značná. Pevná kostra je zajištěna hrubou frakcí kameniva, kdy se jednotlivá zrna o sebe opírají. [1]



Obrázek 3 - Obor zrnitosti asfaltové směsi ACO 11+ [1]



Obrázek 4 - Obor zrnitosti asfaltové směsi PA 11 [1]

Ad 2. Výpočet teoretického množství asfaltového pojiva vychází z navržené čáry zrnitosti. Potřebnou informaci k tomuto teoretickému výpočtu je měrný povrch celé směsi kameniva. Měrný povrch při tomto výpočtu hraje důležitou roli, jelikož čím jemnější směs kameniva máme, tím větší je měrný povrch a s tím i potřebné větší množství asfaltového pojiva. [1]

Ad 3. Po výpočtu teoretického množství pojiva je připraveno několik zkušebních těles s mírnými odchylkami od vypočteného množství asfaltového pojiva. Nejčastěji se zhotovují tři sady, které jsou odstupňovány o 0,4 – 0,5 % množství asfaltového pojiva. Poté jsou zkušební tělesa podrobena několika zkouškám, ze kterých je zjištěna objemová hmotnost, mezerovitost, obsah asfaltu, stupeň vyplnění mezer a mezerovitost zkušebních vzorků. Podle těchto výsledků je stanoveno ideální množství pojiva pro navrženou směs kameniva. [1]

Ad 4. Na závěr následuje ověření mechanicko-fyzikálních vlastností asfaltové směsi. Nejčastěji ověřujeme odolnost vůči tvorbě trvalých deformací a dále také odolnost vůči negativním účinkům způsobených vodou (ITSR). [1]

4.3 Zkoušení asfaltových směsí

Po zhotovení konkrétního návrhu asfaltové směsi, je nutné směs podrobit dílčím zkouškám, které odhalí její mechanicko-fyzikální vlastnosti. Existuje několik druhů zkoušek, které je nutno provést.

V rámci experimentu pro tuto bakalářskou práci byly provedeny konkrétně tyto zkoušky:

- Marshallova zkouška
- Zkouška pevnosti v příčném tahu
- Zkouška ke zjištění modulu tuhosti asfaltové směsi

4.3.1 Modul tuhosti

Zkušební vzorky asfaltové směsi o předepsaných rozměrech jsou podrobeny deformaci s lineárním přetvořením. Zatěžování může probíhat dvojím způsobem, a to za prvé vyvozením stejného zatížení anebo za druhé zatěžováním konstantním přetvořením. Z naměřených sil jsme schopni vypočítat amplitudu napětí a poměrného přetvoření včetně fázového úhlu mezi nimi. Z vypočtených amplitud následným výpočtem získáme požadované moduly včetně modulu tuhosti. [5] V současných laboratořích přístroje vyhodnocují přímo konečný modul tuhosti vzorku a není nutný výpočet.

4.3.1.1 Příprava vzorků

Pro získání optimálních výsledků při zkoušce je nutné zkoušku provést na minimálně 4 vzorcích o rozměrech dle normy ČSN EN 12697-29. Je nutné zajistit, aby zkouška proběhla na zkušebních vzorcích, které jsou 14–42 dní staré. Skladují se na rovném povrchu při teplotě, která nesmí přesáhnout 20 °C. Doba skladování ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti zkušebního tělesa.

Před samotnou zkouškou je nutné vysušit vzorky do konstantní hmotnosti. Relativní vlhkost při vysychání by neměla přesáhnout 80 % a teplota nepřesáhnout 20 °C. [5]

4.3.1.2 Postup zkoušky

Existuje několik druhů zkušebních metod. Jejich použití závisí zejména na velikosti a tvaru zkušebního tělesa.

Metody dělíme na: [5]

1. Zkoušky ohybem sinusovým zatížením
 - a) 2PB-TR – dvoubodový ohyb na tělesu o tvaru jednostranně vetknutém komolém klínu
 - b) 2PB-PR – dvoubodový ohyb na tělesu o tvaru jednostranně vetknutého trámečku
 - c) 3PB-PR – tříbodový ohyb na tělesu o tvaru trámečku
 - d) 4PB-PR – čtyřbodový ohyb na tělesu o tvaru trámečku
2. Zkoušky v příčném tahu pulsní nebo cyklické
 - a) IT-CY – zkouška v příčném tvaru na tělesu o tvaru válce pulzním namáháním
 - b) CIT-CY – zkouška v příčném tvaru na tělesu o tvaru válce cyklickým namáháním
3. Jednoosé zkoušky cyklické či monotónní
 - a) DTC-CY – zkouška jednoosým tahem a tlakem na tělesu o tvaru válce cyklickým namáháním
 - b) DT-CY – zkouška v přímém tahu na tělesu o tvaru válce monotónním namáháním
 - c) DT-PR – zkouška v přímém tahu na tělesu o tvaru trámečku monotónním namáháním

Zkoušky DT-CY a DT-PR jsou určeny ke zkouškám, kde je řízená velikost přetvoření. Ostatní zkoušky jsou na principu vyvození řízeného zatížení na zkušební vzorek.

Během amplitudy zatěžování nesmí dojít k porušení zkušebního vzorku, a to zejména v době potřebné pro měření výsledků. Díky velkým počtům pokusů bylo zjištěno, že pro valnou většinu asfaltových směsí musí být dodržena hranice poměrného přetvoření do 50 mikrostrain = 50×10^{-6} m/m. Poté u vzorku nedojde k porušení únavou.

Pro správný průběh zkoušky je dále důležité dodržení teplot při práci se zkušebními tělesy. Před provedením zkoušky musí být zkušební tělesa uložena do klimatizované komory, a to nejméně na 4 hodiny.

Při stanovení hlavní křivky průběhu modulu tuhosti je klasická sada teplot zkušebních těles taková:

-30 °C, -20 °C, -10 °C, 0 °C, +10 °C, +15 °C, +20 °C, +30 °C, +40 °C. [5] Avšak nejčastěji se v laboratorních podmínkách měří při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C.

Modul tuhosti se u jednoho zkušebního tělesa měří ve dvou polohách, a to vždy s rozdílem 90 °. Zjištěné dvě hodnoty se následně zprůměrují.

4.3.1.3 Vyhodnocení zkoušky

Během zkoušky jsou měřeny tyto hodnoty:

1. F [N] – vyvozená síla
2. z [mm] - posun
3. φ [°] – fázový úhel

Po naměření těchto hodnot jsme schopni dopočítat výsledný modul tuhosti díky vzorci (1). Jak již bylo výše zmíněno v současnosti přístroje automaticky vyhodnocují konečný modul tuhosti i se započtením všech okolních vlivů. [5]

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

Vzorec 1 - Vzorec pro výpočet reálné složky E_1 [5]

E_1 [MPa]	reálná složka komplexního modulu
γ [1/mm]	faktor tvaru
F [N]	vyvozená síla
z [mm]	posun
φ [°]	fázový úhel
μ [g]	faktor hmotnosti
ω [rad/s]	úhlová rychlost

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

Vzorec 2 - Vzorec pro výpočet imaginární složky E_2 [5]

E_2 [MPa]	imaginární složka komplexního modulu
γ [1/mm]	faktor tvaru
F [N]	vyvozená síla
z [mm]	posun
φ [°]	fázový úhel

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

Vzorec 3 - Vzorec pro výpočet komplexního modulu tuhosti [5]

$ E^* $ [MPa]	absolutní hodnota komplexního modulu
E_1 [MPa]	reálná složka komplexního modulu
E_2 [MPa]	imaginární složka komplexního modulu

$$\phi = \arctan\left(\frac{E_2}{E_1}\right)$$

Vzorec 4 - Vzorec pro výpočet fázového úhlu [5]

ϕ [°]	fázový úhel
E_1 [MPa]	reálná složka komplexního modulu
E_2 [MPa]	imaginární složka komplexního modulu

4.3.2 Marshallova zkouška

Při Marshallově zkoušce je na čtyřech sadách zkušebních vzorků asfaltové směsi zkoumána stabilita a přetvoření za pomoci zkušebního lisu. Zde je zjištěna maximální síla zatížení, při které je vzorek stabilní. Následně jsou ze získaných dat vyjádřeny výsledky zkoušky.

4.3.2.1 Příprava zkušebních vzorků

V Marshallově zkoušce jsou zkušební tělesa, o rozměrech 63,5±2,5 mm, 101,5±0,1 mm [6], hutněna podle normy ČSN EN 12697-30. Při hutnění je důležité dodržet přesný počet úderů s ohledem na typ asfaltové směsi. Pro asfaltové směsi VMT, ACO S a ACL S je nutné provést 75 úderů z každé strany zkušebního vzorku, u ostatních směsí je to pouze 50 úderů z každé strany zkušebního vzorku.

Dalším důležitým krokem při této zkoušce je proces chlazení zkušebního vzorku. Je nutné zajistit takové ochlazování, při kterém nedojde k výrazné deformaci vzorku. Vzorky mohou chladnout na vzduchu či ve studené vodní lázni, kdy je proces ochlazování urychlen. Následovně je na vzorku stanovena objemová hmotnost podle ČSN EN 12697-6.

Poté jsou zkušební tělesa vložena do vodní lázně, a to nejméně na 40 min., nejvýše však na 60 min. Teplota vodní lázně se udržuje na 60±1 °C. [7]



Obrázek 5 - Marshallova zkouška – lis a zkušební těleso [6]

4.3.2.2 Postup zkoušky

Zkušební vzorek se vyjme z vodní lázně a následně je vložen do zkušebního lisu do středu zkušebních čelistí. Čelisti musí být řádně očištěny a zároveň musí dosahovat požadované teploty. Následně je na zkušební těleso aplikováno zatížení konstantní rychlostí 50±2 mm/min. V aplikaci zatížení se pokračuje tak dlouho, dokud není zaznamenána maximální hodnota síly, která je odečtena na měřicím zařízení. Následně je na zkušebním vzorku změřeno přetvoření

Je nutné zajistit, aby zkouška proběhla maximálně 40 sekund od vyjmutí zkušebního tělesa z vodní lázně. [7]

4.3.2.3 Vyhodnocení zkoušky

Správné výsledky jsou zajištěny jen pod podmínkou dodržení stanovené výšky zkušební tělesa. Pokud je tato podmínka nedodržena, výsledky zkoušky jsou nepřesné. Výsledky získáme přenásobením naměřené síly (F) korekčním faktorem (c), který lze získat ze vzorce (5), a to za pomoci objemu zkušební tělesa. [7]

$$c = 5,2e^{-0,0259h} = 5,2^{-3,2 \cdot 10(-6)v}$$

Vzorec 5 - Vzorec pro výpočet korekčního faktoru [7]

h výška zkušební tělesa

v objem zkušební tělesa

$$S = F \cdot c$$

Vzorec 6 - Vzorec pro výpočet stability směsi [7]

c [-] korekční faktor

h [mm] výška zkušební tělesa

v [mm³] objem zkušební tělesa

S [kN] stabilita směsi

F [kN] maximální naměřená síla

Výsledná stabilita směsi (S) je uváděna s přesností na 0,1 kN. Výsledky zkoušky můžeme prohlásit za spolehlivé, je-li rozdíl hodnot stability všech zkušebních těles menší než 15 % a dále také rozdíly přetvoření u všech zkušebních těles menší než 20 %. Je-li u průměru zkušebních těles překročena hranice rozdílů stability či přetvoření, je zkušební těleso s největší odchylkou vyloučeno z reprezentativních vzorků. Avšak pokud je i nadále překročena u průměru zbylých zkušebních vzorků jedna ze zmíněných hranic, celou zkoušku je nutno opakovat. [7]

4.3.3 Stanovení pevnosti v příčném tahu

Při této zkoušce je zjišťováno maximální tahové napětí, což je de facto pevnost v příčném tahu. Maximální tahové napětí zjišťujeme pomocí lisu Marshallova typu a zkušebních těles válcového tvaru. [8]

4.3.3.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro tuto zkoušku jsou zhotovena nejméně tři zkušební tělesa válcového tvaru. Válec musí mít průměr 80 ± 2 mm, 100 ± 3 mm, 120 ± 3 mm, 150 ± 3 mm anebo 160 ± 3 mm. Dle zvoleného průměru zkušební tělesa je dle normy ČSN EN 12697-23 nutné dodržet maximální velikost kameniva. Výška zkušební tělesa se musí pohybovat od 35 mm do 75 mm.

Dále je nutné, aby zkušební tělesa byla před zkouškou uložena na plochý povrch, přičemž okolní teplota nesmí přesáhnout teplotu 25 °C. Takto uložena jsou po dobu mezi 48 hodinami až 42 dny od výroby.

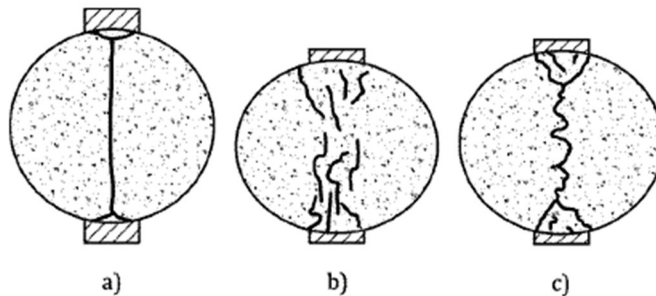
Zkušební těleso je následně temperováno na požadovanou teplotu buď ve vodní lázni, či v termostaticky regulované vzduchové komoře. Pokud není teplota blíže specifikována, zkušební těleso je temperováno na 10 ± 2 °C [8]

4.3.3.2 Postup zkoušky

Správně vytemperované zkušební těleso je upnuto do čelistí. Následně je na zkušební těleso aplikováno nepřerušované zatížení při konstantní rychlosti deformace 50 ± 2 mm/min, a to až do doby dosažení maximálního zatížení. Toto maximální zatížení je zaznamenáno (P). Zkouška pokračuje dále až do doby, kdy je těleso porušeno. [8]

Existují tři typy porušení: [8]

- a) Čisté tahové porušení
- b) Deformace
- c) Kombinace



Obrázek 6 - Typy porušení při zkoušce pevnosti v příčném tahu [8]

4.3.3.3 Vyhodnocení zkoušky

Po získání hodnot potřebných pro výpočet pevnosti v příčném tahu je proveden výpočet (4) na každém zkušebním tělese. Tyto výsledky jsou následně zprůměrovány a je stanovena průměrná hodnota pevnosti v příčném tahu. [8]

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH} \cdot 1000$$

Vzorec 7 - Vzorec pro výpočet pevnosti v příčném tahu [8]

ITS [kPa]	pevnost v příčném tahu
P [N]	maximální zatížení
D [mm]	průměr zkušebního tělesa
H [mm]	výška zkušebního tělesa

4.3.4 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Tato zkouška má za cíl zjistit maximální možnou objemovou hmotnost asfaltové směsi, která neobsahuje žádné mezery. Dohromady existují tři postupy, jak můžeme maximální objemovou hmotnost zjistit. [9]

Mezi tyto postupy patří: [9]

- a) Volumetrický postup
- b) Hydrostatický postup
- c) Matematický postup

Tyto výše zmíněné zkušební metody jsou určeny zejména pro nezhotvené asfaltové směsi. Při volumetrické a hydrostatické metodě se maximální objemová hmotnost stanoví z objemu vzorku bez mezer a ze suché hmotnosti vzorku. U volumetrické metody je objem vzorku měřen jako objem vody, která je vytěsněna zkušebním vzorkem v pyknometru.

Matematická metoda slouží k výpočtu maximální objemové hmotnosti ze složení zkoušené asfaltové směsi, obsahu pojiva a obsahu kameniva a objemových hmotnostních složek. [9]

4.3.4.1 Příprava zkušebních vzorků

V případě vývrtu z vozovky musí být zkušební vzorky odebrány řádně dle normy ČSN EN 12697-27. Dále je nutné dodržet předepsanou hmotnost vzorku, která je přímo závislá na použití velikosti kameniva. Jejich hmotnost musí být minimálně padesátinásobek maximální velikosti zrna kameniva.

Jedná-li se o odebraný vývrt, je nutné zaznamenat maximální a minimální tloušťku jednotlivých konstrukčních vrstev. Tyto vrstvy jsou následně od sebe odděleny odříznutím. Na jednotlivých odříznutých vrstvách nesmí zůstat materiál z vrstvy vedlejší. Následně jsou změřeny tloušťky rozdělených konstrukčních vrstev. Vrstvy jsou považovány za reprezentativní, splňují-li původní minimální tloušťku na minimálně 80 %.

Dále jsou vzorky umístěny do sušárny, kde jsou při teplotě 110 ± 5 °C vysušeny na konstantní hmotnost. Následně je nutné jednotlivé zkušební vzorky rozdrobit a rozdělit do dvou skupin na shluky a hrubé částice. [9]

4.3.4.2 Postup zkoušky

- a) Volumetrický postup

Nejprve zvážíme prázdnou nádobu pyknometru (m_1), dále také zvážíme pyknometr naplněný zkušebním vzorkem a vloženým nástavcem (m_2).

Následně je pyknometr se vzorkem naplněn vodou, a to do výšky 30 mm pod okraj pyknometru. Důležitým krokem je zachycení a odstranění vzduchu z přístupných mezer. Na hrdlo pyknometru je nasazen nástavec.

Pyknometr se vzorkem je vložen do vodní lázně o teplotě 1 °C kvůli vyrovnání teplot vzorku a vody, která je v pyknometru s teplotou v klimatizační skříni. Ve vodní lázni je pyknometr umístěn na 30 až 180 minut. Místo vodní lze alternativně použít také klimatizační skříň.

Hladina vodní lázně musí dosahovat minimálně 20 mm pod okraj pyknometru. Do pyknometru za pomoci nástavce je dolita voda až k rysce, která je umístěna na nástavci. Následně je pyknometr vyjmut z vodní lázně a je změřena jeho hmotnost (m_3). [9]

b) Hydrostatický postup

Nejprve zvážíme hmotnost prázdné nádoby na vzduchu (m_1) a následně také prázdnou nádobu ponořenou do vody (m_2). Do nádoby je vložen zkušební vzorek, který je temperován na okolní teplotu, následně je nádoba se vzorkem na vzduchu také zvážena (m_3).

Poté je nádoba naplněna vodou a mícháním či protřepáváním se zbavíme přebytečného vzduchu v mezerách. Tento krok je velice důležitý kvůli přesnosti výsledků.

Nádoba vyplněná zkušebním vzorkem a vodou je vložena do vodní lázně s konstantní teplotou v rozmezí od 20 °C do 30 °C, a to po dobu minimálně 30 minut. Během této doby musí dojít k vyrovnání teplot u vzorku a vody v nádobě s vodou ve vodní lázni. Hladina vody ve vodní lázni musí dosahovat minimálně 20 mm pod okraj nádoby se vzorkem. [9]

c) Matematický postup

Celkové složení asfaltové směsi je vyjádřeno jako procentní podíly celkové hmotnosti. Nastane-li situace, kdy není známo složení asfaltové směsi, obsah pojiva se stanoví dle normy ČSN EN 12697-1. Objemová hmotnost kameniva je stanovena podle normy ČSN EN 1097 a hustota asfaltového pojiva dle normy ČSN EN ISO 3838. [9]

4.3.4.3 Vyhodnocení zkoušky

a) Volumetrický postup

Maximální objemová hmotnost zkoušené asfaltové směsi za pomoci volumetrického postupu je stanovena dle vzorce (Vzorec 9). Při výpočtech je nutné zohlednit teplotu vody (Vzorec 8). Výsledná hodnota je počítána s přesností na 0,001 Mg/m³. [9]

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \cdot t - 5,32 \cdot t^2}{10^6} \right)$$

Vzorec 8 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti vody při konkrétní teplotě [9]

ρ_w [Mg/m³] hustota vody při zkušební teplotě
t [°C] teplota vody

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

Vzorec 9 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti volumetrickým postupem [9]

ρ_{mv} [Mg/m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
m_1 [g]	hmotnost prázdného pyknometru
m_2 [g]	hmotnost vysušeného zkušební vzorku asfaltové směsi v pyknometru s nástavcem
m_3 [g]	hmotnost pyknometru se vzorkem po zkoušce
V_p [m ³]	objem nástavce pyknometru (stanovuje se dle normy ČSN EN 12697-5 příloha C)
ρ_w [Mg/m ³]	hustota vody

b) Hydrostatický postup

Maximální objemová hmotnost zkoušené asfaltové směsi za pomoci hydrostatického postupu je stanovena pomocí vzorce (10). Výsledná hodnota je počítána s přesností na 0,001 Mg/m³. [9]

$$\rho_{mh} = \frac{m_3 - m_1}{(m_3 - m_1) - (m_4 - m_2)} \cdot \rho_w$$

Vzorec 10 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti hydrostatickým postupem [9]

ρ_{mh} [Mg/m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
m_1 [g]	hmotnost prázdné nádoby na vzduchu
m_2 [g]	hmotnost prázdné nádoby ponořené ve vodě
m_3 [g]	hmotnost nádoby se zkušebním vzorkem na vzduchu
m_4 [g]	hmotnost nádoby se zkušebním vzorkem ponořená do vody
ρ_w [Mg/m ³]	objemová hmotnost vody

c) Matematický postup

Maximální objemová hmotnost zkoušené asfaltové směsi za pomoci matematického postupu je stanovena pomocí vzorce (11). Výsledná hodnota je počítána s přesností na 0,001 Mg/m³. [9]

$$\rho_{mc} = \frac{100}{(p_a / \rho_a) + (p_B / \rho_B) + (p_{ad} / \rho_{ad})}$$

Vzorec 11 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti matematickým postupem [9]

ρ_{mc} [Mg/m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
p_a [%]	obsah kameniva ve směsi
ρ_a [Mg/m ³]	zdánlivá objemová hmotnost kameniva
P_B [%]	obsah pojiva ve směsi
ρ_B [Mg/m ³]	objemová hmotnost pojiva při teplotě 25 °C
P_{ad} [%]	obsah přísad ve směsi

ρ_{ad} [Mg/m³] objemová hmotnost přísad

4.3.5 Stanovení objemové hmotnosti zhutněného asfaltového zkušební tělesa

Tato zkouška je určena zejména zhutněným zkušebními tělesům z asfaltové směsi, u kterých je zjišťována jejich objemová hmotnost, tudíž hmotnost tělesa na jednotku objemu včetně mezer. Při této zkoušce jsou použita zkušební tělesa vyrobená a zhutněná v laboratorních podmínkách, nebo jsou získána z vývrtů nebo výřezů přímo z vozovky, která je již zhutněná. Existují celkem 4 metody, jak získat požadovanou objemovou hmotnost: [10]

- Objemová hmotnost – suchá
- Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch
- Objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso
- Objemová hmotnost – podle rozměrů

4.3.5.1 Příprava zkušebních vzorků

Nejdůležitější je zajistit u zkušebního vzorku minimální požadovanou tloušťku, která činí 20 mm nebo dvojnásobek jmenovité velikosti použitého kameniva. Rozhoduje větší rozměr.

Zkušební tělesa nesmějí být porušena a jsou skladována při 25 °C. Tělesa při zkoušce musí být suchá a je nutné znát množství vody ve vzorku. Pokud množství vody neznáme, vzorek je vysušen na konstantní hmotnost. [10]

4.3.5.2 Postup zkoušky

- Objemová hmotnost – suchá

Tato metoda je určena zejména pro zkušební tělesa s velmi uzavřeným povrchem. Nejprve je stanovena hmotnost zkušebního vzorku (m_1). Dále stanovíme hustotu vody dle vzorce (12), a to při teplotě, za které bude zkouška probíhat.

Poté je zkušební těleso ponořeno do vodní lázně o známé zkušební teplotě. Těleso je okamžitě zváženo po vyjmutí z vodní lázně (m_2). [10]

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \cdot t - 5,32 \cdot t^2}{10^6} \right)$$

Vzorec 12 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti vody při konkrétní teplotě [10]

ρ_w [Mg/m³] hustota vody při zkušební teplotě
 t [°C] teplota vody

- Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch

Tato metoda je určena pro zkušební tělesa s uzavřeným povrchem. Nejprve je stanovena hmotnost suchého zkušebního tělesa (m_1), dále je stanovena hustota vody při dané zkušební

teplotě podle vzorce (12). Následně je těleso vloženo do vodní lázně o známé zkušební teplotě. Zkušební vzorek je ve vodě ponechán tak dlouho, dokud se dostatečně nenasytí vodou, a aby jeho hmotnost byla po nasycení konstantní. Je doporučeno dle normy ČSN EN 12697-6 vzorek ponechat ve vodní lázni nejméně 30 minut, avšak nejdéle do 3 hodin.

Dále je stanovena hmotnost vzorku pod vodou (m_2), následně je těleso vyjmuto z vodní lázně a po osušení vlhkou jelenicí je stanovena jeho hmotnost (m_3). [10]

c) Objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso

Tato metoda je určena pro zkušební tělesa s otevřeným či hrubozrnným povrchem. Nejprve je stanovena hmotnost suchého zkušební tělesa (m_1), dále stanovíme hustotu vody při zkušební teplotě dle vzorce (12). Následně je zkušební těleso utěsněno těsnicím materiálem. Jako těsnicí materiál lze použít parafinový vosk, smršťovací fólii, latexovou emulzi atd. Těsnicí materiál je nutné použít právě při otevřeném povrchu zkušební tělesa, aby bylo zabráněno zahrnutí mezer, které nejsou součástí zkušební vzorku. Poté musíme zjistit hmotnost vzorku včetně těsnicího materiálu (m_2).

Poté je těleso vloženo do vodní lázně o známé zkušební teplotě a je stanovena jeho hmotnost (m_3). Z ponořeného zkušební tělesa nesmí vycházet žádné bubliny, jinak by byl těsnicí materiál nanesen špatně. [10]

d) Objemová hmotnost – podle rozměrů

Stanovíme rozměry zkušební tělesa dle normy ČSN EN 12697-29 a následně je stanovena hmotnost suchého vzorku (m_1). [10]

4.3.5.3 Vyhodnocení zkoušky

a) Objemová hmotnost – suchá

Objemovou hmotnost zkušební tělesa získáme pomocí vzorce (13)

$$\rho_{bdry} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_w$$

Vzorec 13 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti – suché zkušební těleso [10]

ρ_{bdry} [Mg/m ³]	objemová hmotnost – suchá
m_1 [g]	hmotnost zkušební tělesa
m_2 [g]	hmotnost zkušební tělesa ve vodě
ρ_w [Mg/m ³]	hustota vody při zkušební teplotě

b) Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch

Objemovou hmotnost zkušební tělesa získáme pomocí vzorce (14).

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

Vzorec 14 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti – nasycený suchý povrch zkušební tělesa [10]

ρ_{bssd} [Mg/m ³]	objemová hmotnost zkušební tělesa – nasycený suchý povrch
m_1 [g]	hmotnost suchého zkušební vzorku
m_2 [g]	hmotnost zkušební tělesa ve vodě
m_3 [g]	hmotnost zkušební tělesa nasyceného vodou
ρ_w [Mg/m ³]	hustota vody při zkušební teplotě

c) Objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso

Objemovou hmotnost zkušební tělesa získáme pomocí vzorce (15).

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{\frac{(m_2 - m_3)}{\rho_w} - \frac{(m_2 - m_1)}{\rho_{sm}}}$$

Vzorec 15 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti – utěsněné zkušební těleso [10]

ρ_{bsea} [Mg/m ³]	objemová hmotnost utěsněného zkušební tělesa
m_1 [g]	hmotnost suchého zkušební vzorku
m_2 [g]	hmotnost suchého utěsněného zkušební tělesa
m_3 [g]	hmotnost utěsněného zkušební tělesa ve vodě
ρ_w [Mg/m ³]	hustota vody při zkušební teplotě
ρ_{sm} [Mg/m ³]	hustota těsnicího materiálu při zkušební teplotě

d) Objemová hmotnost – podle rozměrů

Válcové zkušební těleso

Objemová hmotnost zkušební tělesa o tvaru válce je vypočtena díky změřeným rozměrům zkušební tělesa podle vzorce (16).

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \cdot h \cdot d^2} \cdot 10^3$$

Vzorec 16 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti u zkušební vzorku tvaru válce [10]

ρ_{bdim} [Mg/m ³]	objemová hmotnost zkušební tělesa vypočtená podle rozměrů
m_1 [g]	hmotnost suchého zkušební vzorku
h [mm]	výška válce
d [mm]	průměr válce

Pravoúhlé zkušební těleso

Objemová hmotnost zkušební tělesa o tvaru pravoúhlého tělesa je vypočtena díky změřeným rozměrům zkušební tělesa podle vzorce (17).

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{h \cdot l \cdot w} \cdot 10^3$$

Vzorec 17 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti u zkušební vzorku pravoúhlého tvaru [10]

ρ_{bdim} [Mg/m ³]	objemová hmotnost zkušební tělesa vypočtená podle rozměrů
m_1 [g]	hmotnost suchého zkušební vzorku
h [mm]	výška zkušební tělesa
l [mm]	délka zkušební tělesa
w [mm]	šířka zkušební tělesa

4.3.6 Mezerovitost

Mezerovitost zkušební vzorku lze zjistit za pomoci známé maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zkušební tělesa. Pokud je v asfaltové směsi použita asfaltová emulze, poté se objemová hmotnost vztahuje pouze k suché objemové hmotnosti.

Mezerovitost lze vypočítat za pomoci vzorce (18) a to s přesností 0,1 %.[11]

$$V_a = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100$$

Vzorec 18 - Vzorec pro výpočet mezerovitosti [11]

V_a [%]	mezerovitost asfaltové směsi
ρ_m [Mg/m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
ρ_b [Mg/m ³]	objemová hmotnost zkušební tělesa

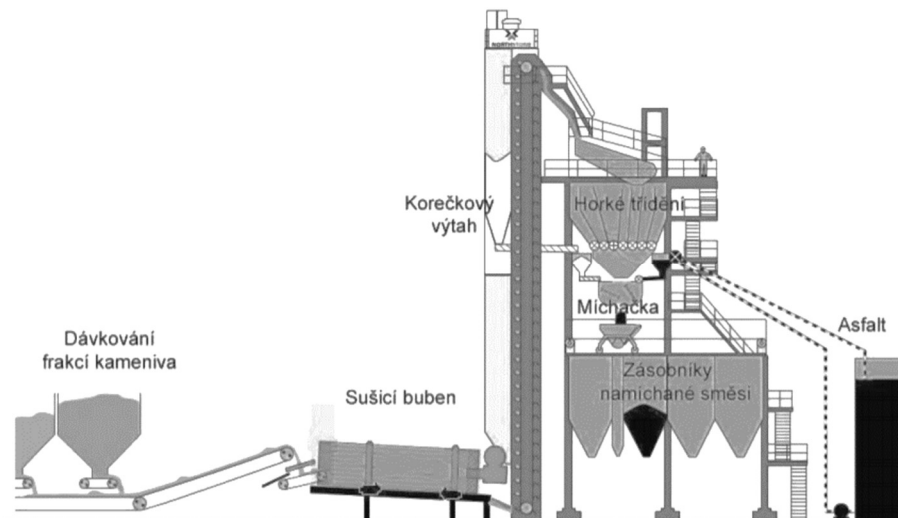
4.4 Obalovny

Po správném návrhu čáry zrnitosti a množství asfaltového pojiva je na řadě samotná výroba. Výroba probíhá v obalovnách, které jsou dvojího typu. První z nich je obalovna šaržová, která v České republice převládá, a druhý typ je obalovna kontinuální. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma obalovnami je ten, že šaržová obalovna je schopna rychle měnit druh vyráběné asfaltové směsi bez vlivu na výslednou kvalitu.

Obalovny by měly být vybírány v radiu staveniště okolo 40-60 km. Při větších vzdálenostech totiž hrozí vychladnutí směsi na teplotu, při níž není možné provést dostatečné zhutnění. Tento údaj o vzdálenosti je však pouze orientační a klíčový je v tomto případě čas přepravy směsi. [1]

4.4.1 Šaržová obalovna

Šaržová obalovna je v České republice nejrozšířenějším typem obalovny. Mezi její hlavní přednosti patří možnost rychlé změny při výrobě z jednoho typu asfaltové směsi na typ jiný. Tato rychlá změna výroby asfaltové směsi však nemá vliv na její výslednou kvalitu, a to vše díky tzv. „horkému třídění“. [1]



Obrázek 7 - Šaržová obalovna [1]

Z jeho násypky, kde je uloženo kamenivo o určité frakci, je pomocí pásové váhy odváženo požadované množství. V zásobnících musí být vždy dostatečné množství, a zároveň také musí probíhat kontrola, zda se v zásobníku nachází dané kamenivo o požadované frakci. Zásadní chybou v obalovnách je právě nesprávné roztřídění frakcí kameniva, tudíž výsledná směs má jiné parametry než při samotném návrhu. Kamenivo poté putuje po pásovém dopravníku do sušicího bubnu.

Sušicí bubnu se otáčí a pomocí přivařených lopatek rovnoměrně suší, promíchává jednotlivé frakce a zároveň ohřívá kamenivo. Nahřátí kameniva je klíčové ke správnému obalení zrn asfaltovým pojivem a dále má také vliv na zhutnitelnost pokládání vrstvy na stavbě, tudíž

na celkovou kvalitu asfaltové směsi a konstrukční vrstvy. Proto je důležité tento krok nezanedbat a kamenivo zahřát na požadovanou teplotu. Kamenivo se při mísení v sušicím bubnu pohybuje dopředu směrem k hořáku. Teplý proud vzduchu unáší jemné částice, které jsou následně zachyceny na filtrech. Tyto jemné části se mohou opětovně použít jako vratný filer, ten v sobě nesmí obsahovat jílové minerály, jinak by došlo k zásadnímu ovlivnění výsledné kvality.

Takto vysušené kamenivo putuje díky korečkovému výtahu směrem vzhůru do věže obalovny na síta tzv. horkého třídění. Horké třídění funguje na principu vibračních sít, která jsou osazena v odlišných sklonech. Kamenivo je díky těmto sítům roztříděno na větší a menší zrna, která putují do jednotlivých kapes. Odtud jsou odvažována a následně míří do míchačky. Při výstupu z kapes musí být kontrolováno množství kameniva a dále také výstupní teplota, která jak bylo výše zmíněno je klíčová pro výslednou kvalitu asfaltové směsi.

Míchačky jsou uvnitř opláštěné otěruvzdornými plechy. Na jejím konci jsou osazeny lopatky, které zajišťují dokonalé promísení kameniva a asfaltového pojiva. Plášť míchačky a její vypouštěcí uzávěry pro asfaltové pojivo jsou vyhřívány, aby směs měla neustále požadovanou výrobní teplotu. Do míchačky může být v této fázi výroby přiveden R materiál, filer, vratný filer. Samozřejmě jsou zde umístěny v první řadě výpusti násypek přetříděného kameniva a přívod asfaltového pojiva. Směs je kontrolována součtovou váhou.

Kamenivo je v míchačce nejprve promícháno na sucho, to trvá řádově 5–10 s, poté je do bubnu míchačky vstřikováno horké asfaltové pojivo. Délka míchání asfaltové směsi závisí na jejím typu. Každý druh asfaltové směsi má předepsanou konkrétní dobu míchání a mezní teplotu při výrobě viz Tabulka 1. Pokud je vyráběna nízkoteplotní směs, teploty uvedené v Tabulce 1 mohou být nižší o 10 až 30 °C. Míchání asfaltové směsi musí proběhnout co nejrychleji a nejefektivněji, jelikož asfalt v bubnu míchačky příliš rychle stárne. Po obalení kameniva asfaltová směs putuje buď do pojízdného vozíku, který směs uskladní v izolovaných silech, nebo přímo na korbu nákladního automobilu. [1]

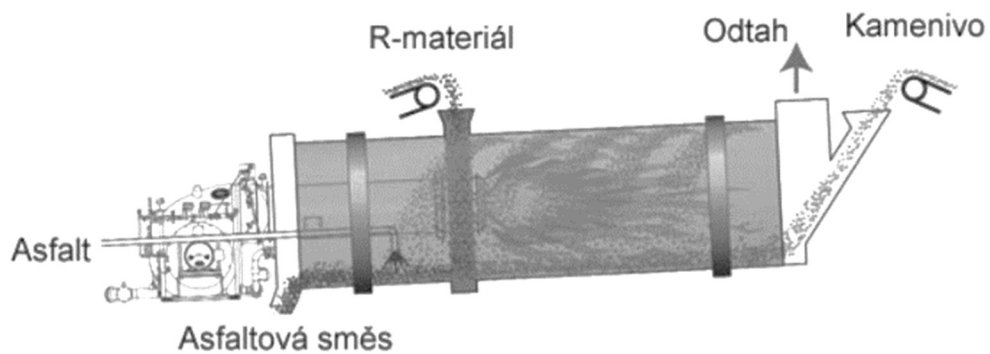
Druh asfaltu	Specifikace	Mezní teploty (°C) podle druhu vyráběné směsi ¹⁾		
		AC, BBTM, SMA	PA	AKO
100/150	ČSN EN 12591	130-170 ²⁾	-	120-150
50/70; 70/100		140-180	140-175	130-165
30/45		155-195	-	-
¹⁾ Pracovní teploty při použití nízkoteplotního asfaltu, modifikovaného asfaltu a při použití dalších přísad stanovuje výrobce asfaltové směsi podle doporučení výrobce asfaltu nebo přísady ²⁾ Platí pouze pro ACO 8CH a AC pro ložní a podkladní vrstvy, kde se používá vyšší obsah R materiálu				

Tabulka 1 - Mezní výrobní teploty [12]

Po celou dobu výrobního procesu je důkladně sledována teplota kameniva, asfaltového pojiva a asfaltové směsi. Toto je ten nejdůležitější sledovaný parametr, jelikož ovlivňuje celkovou zhutnitelnost asfaltové směsi, a tudíž ovlivňuje kvalitu a životnost asfaltové konstrukční vrstvy vozovky. Mezní teploty nesmí být překročeny v žádném stupni výroby. [1]

4.4.2 Kontinuální obalovna

Tento typ obalovny je hojně využíván např. v USA. V České republice se používá pouze výjimečně. Kontinuální obalovna je využívána hlavně pro větší liniové stavby, kde je použit pouze jeden druh asfaltové směsi. Kvůli absenci horkého třídění není zajištěna kontrola jednotlivých frakcí kameniva, proto kamenivo do obalovny musí přijít v co nejpřesnějším předepsaném složení. Kamenivo je obalováno buď ve spodní části bubnu míchačky anebo v přidavné míchačce viz obrázek č. 5. [1]



Obrázek 8 - Kontinuální obalovna [1]

4.5 Uskladnění asfaltové směsi

Hotová asfaltová směs je z míchačky pomocí pojízdného vozíku přemístěna do speciálně upraveného zásobníku. V současnosti existují i systémy, které mají zásobníky bezprostředně pod míchačkou. Zásobník musí být správně zaizolovaný, aby bylo zabráněno úniku tepla z hotové směsi. V současné době jsou vyráběny zásobníky na asfaltovou směs, které jsou vybaveny elektrickým topným systémem. Ten je schopný směs ohřát na požadovanou teplotu pomalým nebo rychlým ohřevem. [6]

V takto upravených zásobnících směs může setrvat pouze 2 hodiny, přičemž od výroby po pokládku nesmí uplynout více jak 3,5 hodiny. Následně by mohlo dojít k segregaci asfaltové směsi a směs jako takovou by již nebylo možné použít. Proto je ideální, když směs v zásobníku setrvá pouze krátce a následně je odvezena nákladním automobilem přímo na stavbu. [6]



Obrázek 9 - Obalovna Froněk – Zásobníky na asfaltovou směs



Obrázek 10 - Zásobník na asfaltové pojivo [13]

5 Doprava asfaltové směsi

V dopravě asfaltové směsi hraje klíčovou roli čas, množství přepravované směsi a klimatické podmínky. K přepravě hotové asfaltové směsi lze použít jakékoliv nákladní vozidlo, které má kovovou či oplechovanou korbu. Plocha korby nákladního vozidla musí být řádně izolována a nejčastěji je ve tvaru vany se zaoblenými tvary viz Obrázek 10. [14] Korba musí být

před naložením směsi ošetřena mýdlovým roztokem, rostlinným olejem, emulzí nebo vápenným roztokem. [3] Tento postřik je důležitý kvůli zabránění nalepení asfaltové směsi na korbu. Je zakázáno použít jakékoliv deriváty ropy, jako je například nafta, benzín, petrolej. Tyto deriváty ropy nesmí být použity z důvodu rozpouštění asfaltového pojiva. [1]

Při přepravě hraje roli velké množství faktorů, mezi hlavní faktory řadíme tyto:

- Ochrana asfaltové směsi před vnějšími vlivy
- Typ vozidla
- Doba dopravy asfaltové směsi



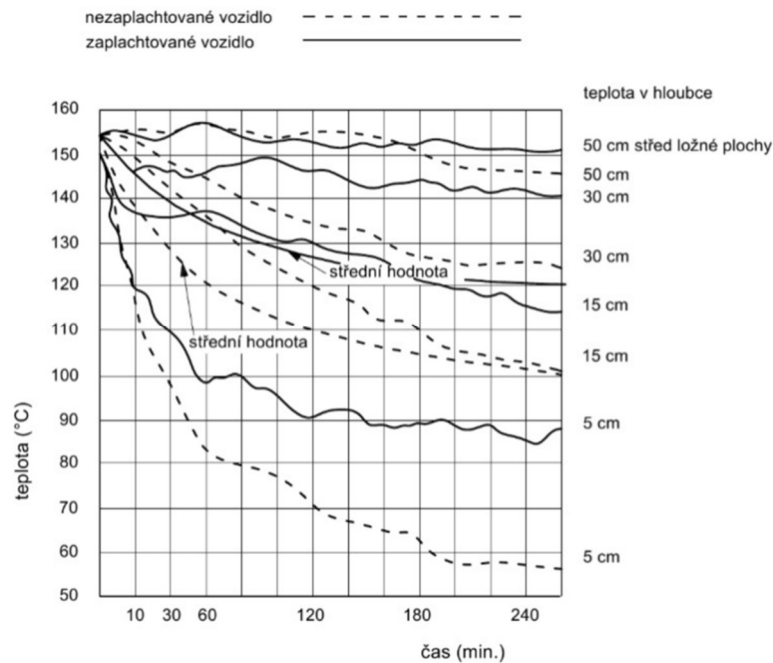
Obrázek 11 - Nákladní vozidla určená k přepravě asfaltové směsi; stavební firma Froněk [15]

5.1 Ochrana asfaltové směsi před vnějšími vlivy

Při přepravě asfaltové směsi z obalovny na stavbu je nutné dbát na správné zaplachtování či jiný speciální zákryt korby nákladního vozidla. Na ochlazování směsi, a tudíž i na konečnou kvalitu asfaltové konstrukční vrstvy má vliv zejména teplota vnějšího ovzduší, rychlost větru, sluneční záření, déšť, dopravní vzdálenost a rychlost jízdy. Vliv těchto faktorů může zmírnit zaplachtování, resp. speciální zákryt korby. Bez takové ochrany se mohou převážet pouze některé asfaltové směsi, a to pod podmínkou dobrého počasí a krátké vzdálenosti. [14] V současnosti jsou vyvíjeny speciální termoizolační plachty, které by měly prodloužit dosavadní možnou dobu jízdy. [14]

Zaplachtování má velký vliv na únik tepla a ochlazování směsi. Pokud směs není dobře chráněna před vnějšími klimatickými podmínkami, může dojít ke změně vlastností pojiva o 2 gradace. Ochlazování asfaltové směsi není rovnoměrné, nejvíce se ochlazuje vrchní povrch směsi, a to do hloubky 30 až 50 cm. Pokud je však aplikována plachta či jiný ochranný zákryt, rozdíly teplot v mocnosti vrstvy 30 cm nejsou značné viz Obrázek 11. Před samotnou pokládkou

asfaltové vrstvy je vhodné použít homogenizátor, aby došlo k vyrovnání teplotních rozdílů v celé mase asfaltové směsi. [14]



Obrázek 12 - Průběh ochlazování směsi v závislosti na době jízdy [14]

5.2 Typ vozidla

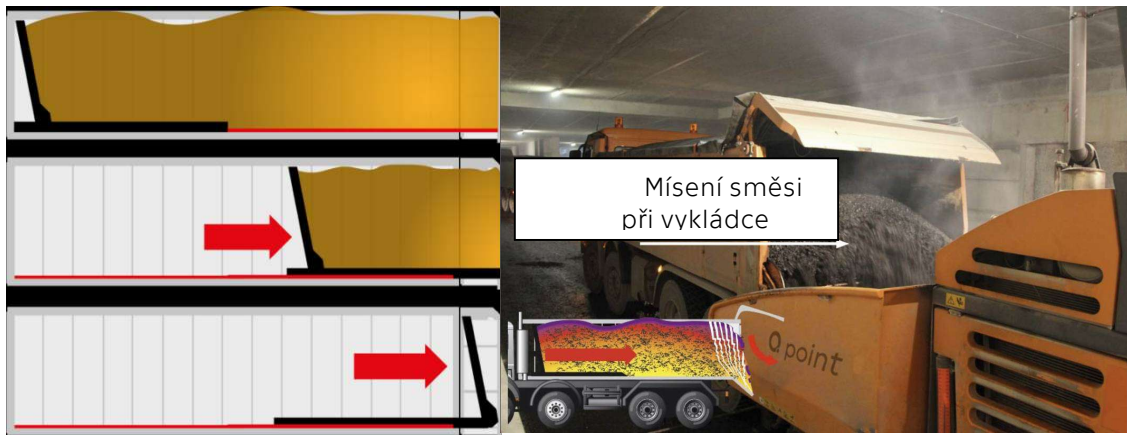
5.2.1 Kapacita vozidla

Nákladní automobil, který má kapacitu větší než 10 t, může v krajních případech dovézt asfaltovou směs na staveniště vzdálené až 50 km, respektive nejdelší doporučená doba jízdy je 2 hodiny. Avšak pokud se jedná o speciálně izolované vozidlo, může se vzdálenost na staveniště zvětšit. Doporučená kapacita nákladního vozidla je 20 t a více. Pokud je kapacita vozidla menší, je doporučeno použít vozidlo pouze na malá staveniště, popř. pro velmi malé vzdálenosti. Při použití nákladního vozidla s takto malou kapacitou je vhodné použít speciálně izolované korby nákladního vozidla, viz následující podkapitola 6.2.2. V současnosti jsou nejvíce využívána nákladní vozidla s kapacitou až kolem 50 t. [14]

5.2.2 Termoizolační vozidla

Speciálně izolované korby jsou v současné době ve velkém rozmachu. Zásadně dokážou prodloužit dobu dopravy směsi na staveniště a celkovou teplotu dopravované asfaltové směsi. Německá firma Fliegl Baukom vyvíjí termoizolované korby se speciální technologií vykládky asfaltové směsi nazývanou push-off. Díky této speciální technologii není tolik nutné použít homogenizátoru, jelikož směs je při vykládce promíchána a je tudíž i homogenizována. Technologie funguje na principu výsuvné konstrukce, viz Obrázek č. 10, která shrne veškerý

materiál bez potřeby sklápění celé korby nákladního vozidla. Tento typ vykládky je velice efektivní a zajišťuje úplné vyprázdnění korby. [16] [17]



Obrázek 13 - Technologie push-off [16]

Při dopravě v běžných nákladních automobilech je směs ochlazena za hodinu o přibližně 10 °C, avšak použijeme-li termoizolovanou korbu, směs se ochlazuje pouze o 5 °C za hodinu. [14] Tento rozdíl je velice značný zejména u delší doby přepravy směsi na stavenišť. Jak bylo zmíněno již výše, nejvhodnější použití termoizolační korby je při malém množství přepravované směsi, např. 10 t, anebo pro dopravu směsi na nepříliš vzdálené stavenišť. [14]



Obrázek 14 - Speciálně izolované nákladní vozidlo s krytem od firmy Fliegl Baukom [17]

Na českém trhu jsou v současnosti návěsy nákladních automobilů dodatečně izolovány. Dodatečnou izolací se zabývá například firma Servis jeřábů, a.s.

5.3 Doba dopravy asfaltové směsi

Pokud chceme u asfaltové směsi zachovat co nejlepší vlastnosti a kvalitu, je nutné, aby hotová asfaltová směs byla v co nejkratší dobu přemístěna z obalovny na staveniště. Pokud by směs byla převážena příliš dlouho, respektive daleko, došlo by k segregaci a ochlazení směsi. Toto vede ke špatné míře zhutnění, tudíž konstrukční vrstva nebude kvalitní, a zároveň bude mít kratší dobu životnosti. Proto je nutné zajistit obalování kameniva co nejbližší ke staveništi.

Za současných technologických podmínek je možné dopravit směs na staveniště vzdálené max 2 hodiny od obalovny, a to pod podmínkou použití homogenizátorů. Toto je však extrémní případ a delší doba pro přepravu není doporučována ani za použití speciálně upravovaných izolačních vozidel. Ideální doba přepravy, pokud je teplota okolního prostředí vyšší než 15 °C, je 1,5 hodiny, avšak pokud je teplota okolního prostředí nižší, nesmí doba přepravy překročit 1 hodinu. [14] [3]

6 Pokládka asfaltové směsi

6.1 Homogenizátor

Pokud chceme před pokládkou zajistit teplotní a granulometrickou homogenitu asfaltové směsi, je nutné použití homogenizátoru. Homogenizátor je velice účinné míchací zařízení, které zajistí vyrovnání teplotních rozdílů dopravené asfaltové směsi. [14] Je vhodné ho použít zejména při velkých dopravních vzdálenostech směsi z obalovny na staveniště a při méně vhodných klimatických podmínkách. Homogenizátor je umístěn mezi finišerem, který zajišťuje pokládku, a nákladním vozidlem s asfaltovou směsí. [3]

6.2 Vstupní požadavky při pokládce

Před samotnou pokládkou asfaltové vrstvy je důležité zajištění úpravy podkladu, který musí být v první řadě dostatečně únosný a čistý. Pokud podklad není dostatečně únosný, konstrukční vrstvy, které jsou na něj kladeny, nemohou být dostatečně zhutněny, jelikož dochází k neustálému přetváření hutněné vrstvy. Tato hutněná vrstva tak před hutnicím strojem neustále „ujíždí“. Jedná-li se o starý povrch, veškeré trhliny, výtlučky a spáry musí být opraveny. Pokud tomu tak není, na nově vytvořeném povrchu se za krátký čas vytvoří výtlučky nové na stejném místě. Každá nerovnost, která je nepřijatelná, musí být vyfrézována, nebo naopak doplněna o vyrovnávací vrstvu. [2]

Pokládka smí probíhat pouze za příznivých klimatických podmínek. Dle normy ČSN 73 6121 se pokládka nesmí provádět za mokra, za deště či pokud povrch pokrývá souvislý vodní film.

Dále je také vyloučeno pokládku provádět, pokud je podklad promrzlý či se na něm nachází led nebo sníh. [14] V Tabulce č. 2 jsou zaznamenány mezní hodnoty vhodné pro pokládku.

Druh vrstvy	Při pokládce [°C]	Průměrná za posledních 24 hod. [°C]
Podkladní vrstva	±0	-
Ložní vrstva s nemodifikovaným pojivem	+3	-
Obrusná vrstva; ložní vrstva s modifikovaným pojivem	+5	+3
Obrusná vrstva do 30 mm; vrstvy PA	+10	+5

Tabulka 2 - Minimální teploty vzduchu [12]

Relativně příznivý vliv na ochlazování položené asfaltové vrstvy má přímé sluneční záření. Proces ochlazování je zpomalen, tudíž z hlediska požadované míry zhutnění je toto velmi příznivé. Oproti tomu při pokládce tlustých vrstev mohou nastat komplikace s příliš pomalým ochlazováním povrchu vrstvy, mohou tak vznikat značné prodlevy s pokládkou následných vrstev, jelikož povrch asfaltové vrstvy nesmí při pokládce následné vrstvy přesáhnout 60 °C. [14]

6.3 Stroje pro pokládku hutněných asfaltových směsí

Mezi nejrozšířenější, a zároveň nepoužívanější stavební stroje k rozprostírání asfaltové směsi patří finišery, jejichž hlavní výhodou je, že asfaltovou směs nejen rozprostřou v požadovaném sklonu, ale zároveň i předhutní. Existují i další stroje, kterými lze rozprostřít směs, mezi ně patří dozery, grejdry, rozhrnovače. Avšak ty jsou používány pouze zřídka, jelikož jejich vhodnost bývá obvykle malá. [14]

6.3.1 Dozery

Nejvhodnější použití dozerů je při pokládce spodních podkladních vrstev na nedostatečně stabilní podklad. Při pokládce je velice důležité dbát na to, aby dozer co nejméně přemísťoval danou směs. Při přílišné manipulaci může docházet k segregaci a nadměrnému ochlazování směsi, a to vede ke špatnému zhutnění a ve výsledku i ke špatné kvalitě podkladní vrstvy. Z tohoto důvodu je důležité sklápět směs z vozidla promyšleně, aby došlo k co nejmenší manipulaci se směsí. Pokud chceme zajistit co největší kvalitu pokládané směsi je velice důležité, aby dozer byl obsluhován kvalifikovanou a zkušenou osobou. [14]

6.3.2 Grejdry

Grejdry lze použít k pokládce podkladních vrstev stejně jako dozery. Oproti nim mají však zásadní výhodu, a to že jsou vhodné pro úpravu příčného řezu vozovky, popř. k jejímu rozšíření. Zároveň jsou grejdry více využívány než dozery pro jejich větší výslednou rovnost. Větší přesnost lze zajistit, pokud je grejdr vybaven nivelačním přístrojem. [14]

6.3.3 Rozhrnovače

Rozhrnovače mají jednu nepatrnou výhodu oproti dozerům a grejdrům, a to velmi malé předhutnění pokládané směsi. Výkon rozhrnovače je však pro velké stavby nedostatečný, a proto se využívá pouze na malých stavbách a staveništích. Tyto stroje byly více využívány v minulosti, dnes je vystřídaly finišery, které mají značné výhody oproti výše zmíněným strojům. [14]

6.3.4 Finišery

Finišery jsou v současnosti nejrozšířenějším pokládkovým strojem. Mají značné množství výhod, mezi které patří: [14]

- Pokládka směsi v požadované tloušťce
- Pokládka vrstvy v předepsaném příčném sklonu
- Předhutnění směsi při pokládce

Finišer za současných podmínek směs pouze předhutní, není schopen zajistit dokonalé zhutnění. Bez použití hutnicího zařízení a hladicí desky je finišer schopný danou vrstvu zhutnit na 70 %. Pokud je u finišeru použito hutnicí zařízení včetně hladicí desky, je vrstva zhutněna dle německých zkušeností až na 90 %. Lze dosáhnout i zhutnění 96 % při použití vysoce výkonného dohutňovacího zařízení.

Dostatečné předhutnění snižuje podíl zhutňovacích prací za pomoci válců, což je bezesporu velká úspora času. Hutnicí válce mohou díky předhutnění na konstrukční vrstvu najet dříve a při vyšších teplotách, tudíž je dosaženo větší míry zhutnění, což zajistí lepší výslednou kvalitu. [14]



Obrázek 15 - Firma Froněk – hutnicí a dokončovací práce

Pokud chceme docílit co nejlepší výsledné kvality vrstvy vozovky, je nutné omezit zastavení finišeru na minimum. Toho můžeme docílit při použití podavače či homogenizátoru, který je umístěn mezi nákladním automobilem a finišerem. Podavač zajišťuje neustálý přísun směsi do přijímací násypky finišeru, a tudíž je zastavení finišeru omezeno na minimum.

Po pokládce za pomoci finišeru je nutné položenou vrstvu pojet hutnicím zařízením – hutnicím válcem. [14]

6.4 Tloušťky pokládaných vrstev

Požadovaná teplota, po přepravě na stavenišťe, je závislá na výsledné tloušťce pokládané vrstvy. Jedná-li se o tenké vrstvy, musí dopravená směs dosahovat vyšších teplot v závislosti na použitém typu asfaltu, viz Tabulka č. 3. Platí nepřímá úměra mezi teplotou a tloušťkou vrstvy, tzn. čím mocnější vrstva, tím nižší teplota dopravené směsi. Toto je podmíněno tím, že tenčí vrstvy chladnou rychleji, a tudíž na stavbě je méně času k jejich potřebnému rozhrnutí a ztuhnutí. Proto je směs na stavbu dovezena s vyšší teplotou, což zajistí delší dobu možnou k dostatečnému ztuhnutí za pomoci finišeru a následně hutnicího válce. [14]

Druh asfaltové směsi	Druh asfaltu	Teploty směsi podle tloušťky		
		do 40 mm	40 až 70 mm	70 až 100 mm
AC, BBTM, SMA	100/150	130-165 (170)	120-165	105-165
	70/100	145-175 (180)	130-175	110-175
	50/70	155-175 (180)	140-175	120-175
	40/60	160-185	145-185	120-185
	35/50	175-185	160-185	140-185
	30/45	175-190	160-190	140-190
	(45/80-60)	155-180	150-180	150-180
	(25/55-60)	160-185	160-185	160-185
	(10/40-65)	170-190	170-190	170-190
AKO	100/150	100-140	100-140	-
	70/100	105-160	100-160	-
	50/70	105-160	100-160	-

Tabulka 3 - Teplota asfaltové směsi při pokládce v závislosti na tloušťce konstrukční vrstvy [14]

Teploty asfaltové směsi jsou kontrolovány v místě rozdělovacího šneku finišeru nebo bezprostředně poté, co je zahájeno ruční rozprostírání. Mezní teploty nesmí být v žádném případě překročeny. Po překročení limitních teplot dochází k poškození pojiva, a to má za následek zhoršení finální kvality vozovky a její životnosti. Hodnoty v Tabulce č. 3 jsou pouze orientační, přesné mezní hodnoty určuje výrobce asfaltového pojiva. Mezní teploty jsou závislé na množství a druhu přísad a dále také na zkušenostech výrobce. [14]

6.5 Vizuální kontrola asfaltové směsi

Neméně důležité je při procesu rozprostírání asfaltové směsi vizuálně sledovat její celkovou kvalitu. Pro nemodifikované směsi lze snadno vycházet z praktických zkušeností obsluhy finišeru. [14]

1. Směs obsahuje příliš nízký obsah pojiva nebo je kamenivo špatně obaleno. [14]
 - a) Směs je matná a zbarvená do hněda.
 - b) Směs je příliš drobná a sypká.
 - c) Velká zrna kameniva nejsou kompletně obalena.
 - d) Směs v přijímací nádrži u finišeru je „nepohyblivá“, tzn. drží tvar.
 - e) Směs bývá segregována.
2. Směs obsahuje příliš mnoho pojiva. [14]
 - a) Směs je zbarvena do černa a velmi jasně se leskne.
 - b) Při přepravě směs vytváří na korbě ploché hromady (toto může mít i za následek velké množství jemných částic).
 - c) Asfaltové pojivo viditelně stéká z jednotlivých zrn kameniva.
3. Asfaltová směs je přepálená. [14]
 - a) Směs má na pohled matný povrch a je zbarvena do hněda.
 - b) Nemá dostatečnou soudržnost, je příliš sypká.
 - c) Při vykládce ze směsi stoupá žlutý kouř.

Ideálně vyrobená asfaltová směs se slabě leskne, je zbarvena do černa a zrna kameniva musí být zcela obalena. Při přepravě směs vytváří ploché kužely a následně při vykládce z ní vychází lehce namodralý kouř. Směs nesmí vykazovat známky segregace.

Pokud ze směsi vychází příliš silný modrý nebo žlutohnědý kouř, vše je způsobeno překročením teplotních mezních hodnot. Dále kouř nesmí být zbarven do bílé barvy, to značí, že kamenivo nebylo správně vysušeno a asfaltová směs obsahuje příliš mnoho vody. Pokud při sklápění ze směsi nevychází žádný kouř, je zřejmé, že asfaltová směs nemá požadovanou teplotu.

V případě modifikovaných asfaltových směsí jsou tyto vizuální kontroly kvality pouze orientační, stejně tak i pro nízkoteplotní směsi. [14]

6.6 Hutnění asfaltové směsi

Hlavním cílem hutnění asfaltové vrstvy je uspořádat obalená zrna tak, aby byla zajištěna zejména správná míra zhutnění a mezerovitost jednotlivých vrstev krytu. To, jakým způsobem a jak je vrstva zhutněna, ovlivňuje fyzikálně-mechanické vlastnosti a její životnost.

Správně zhutněné obrusné vrstvy by měly mít mezerovitost v rozmezí 3-6 % pro klimatické podmínky v České republice. Jedná-li se o ložní vrstvu, její ideální mezerovitost je v rozmezí 4-7 %. Pokud zvyšujeme míru zhutnění u dané vrstvy, výrazně se zvyšuje také její tuhost. Pouze pokud je překročena hranice mezerovitosti 2 %, tuhost vrstvy začne klesat. Dále zde platí pravidlo, že čím vyšší je míra zhutnění, tím vyšší je i odolnost proti únavě materiálu a konstrukce. [14]

Z těchto výše zmíněných důvodů je proto velice důležité proces hutnění nezanedbat a zvolit správný typ a postup hutnění jednotlivých konstrukčních vrstev.

6.6.1 Faktory ovlivňující proces hutnění

Výsledné zhutnění asfaltové směsi ovlivňuje několik zásadních faktorů, mezi něž patří materiálové charakteristiky, teplota, tloušťka pokládané vrstvy, charakteristiky používaných válců, pracovní rychlost válců atd.

Všechny tyto faktory dokážou pozitivně, ale i negativně ovlivnit výslednou kvalitu asfaltové vrstvy. [14]

6.6.2 Teplota a tloušťka pokládané vrstvy

Jedním z nejdůležitějších faktorů, které mohou výrazně ovlivnit fyzikálně-mechanické vlastnosti a výslednou míru zhutnění, je teplota asfaltové směsi. Jak již bylo výše zmíněno v kapitole 7.6, je velmi důležité dodržet vstupní teplotu asfaltové směsi v závislosti na výsledné tloušťce pokládané vrstvy.

Po vyložení směsi z nákladního auta se směs začíná výrazně ochlazovat. K výraznému ochlazení dále dochází i při rozhrnování asfaltové směsi. Ochlazování směsi způsobuje zvyšování viskozity asfaltového pojiva, to zapříčiní horší manipulaci se směsí a omezí možnosti správného zhutnění.

Proto největší pozornost je nutné věnovat teplotě přivezené směsi. Při rozhrnování nesmí docházet ani k hnutí směsi, ani k jiným nerovnostem způsobeným špatnou vstupní teplotou. Při dolní hranici teploty směsi hrozí při pokládce a následném hutnění k deformaci, respektive k drcení zrn kameniva v asfaltové směsi. Určení optimální teploty konkrétní asfaltové směsi pro konstrukční vrstvu vozovky je proto velice zásadní. [14]

6.6.3 Materiálové charakteristiky

Materiálové charakteristiky hutněné asfaltové směsi jsou závislé hlavně na složení směsi, na vlastnostech použitých materiálů a v neposlední řadě je opět velice důležitá teplota.

Vliv na zhutnitelnost asfaltové směsi má poměr pojiva a fileru, množství hrubého zrna kameniva, množství jemných částic, druh použitého asfaltového pojiva atd. Správné navržení čáry zrnitosti určí, jaká je nejvyšší možná míra zhutnění konstrukční vrstvy. Při použití velkého množství hrubého kameniva je možné docílit pouze malé míry zhutnění a velké mezerovitosti. Proto je kladen důraz na celkový návrh asfaltové směsi z hlediska materiálů, aby zrna tvořila pevnou kostru, a zároveň aby bylo možné konstrukční vrstvu optimálně zhutnit.

Dále je velice podstatné věnovat pozornost správnému zvolení typu asfaltového pojiva, jelikož jeho viskózní vlastnosti výrazně ovlivňují fyzikálně-mechanické vlastnosti asfaltové vrstvy.

Správný návrh složení asfaltové směsi je proto klíčový pro vhodné finální fyzikálně-mechanické vlastnosti konstrukční vrstvy vozovky. [14]

6.6.4 Charakteristiky používaných válců

Vedle teploty, která je klíčová pro výsledné zhutnění asfaltové směsi, je velice důležité vhodně zvolit typ hutnicího prostředku. Zhutňovací prostředky využívají 4 základní zhutňovací účinky: tlak, hnětení, vibrace a ráz. Ráz je v současnosti využíván pouze ojediněle.

Asfaltová vrstva je tak vystavena cyklickému zatěžování, díky kterému je docíleno požadovaného zhutnění vozovky. Rozeznáváme dva základní způsoby zhutňování, a to statické a dynamické. Při statickém zatěžování je konstrukční vrstva vystavena vysokým napětím, avšak rychlost změny působících napětí je nízká. Oproti tomu při dynamickém způsobu hutnění za pomoci vibrační nebo rázem je změna působících napětí velice rychlá, avšak napětí na vrstvu působí pouze krátce. Při použití dynamického zhutňování je během jediného kontaktu zhutňovacího prostředku s konstrukční vrstvou způsobeno daleko větší množství zhutňovacích cyklů, což je bezesporu jedna z hlavních výhod dynamického hutnění.

V současnosti jsou používány hlavně tyto typy hutnicích prostředků [14]:

1. Statické válce
2. Pneumatikové válce
3. Vibrační válce
4. Oscilační válce
5. Vibrační desky
6. Dusací pěchy
7. Kombinované válce

Ad 1. Statické válce

Nejčastěji s hladkými ocelovými běhouny, jejich hlavním zhutňovacím účinkem je tlak. Klíčovou charakteristikou tohoto typu hutnicího zařízení je celková hmotnost stroje a tomu odpovídající zatížení na ocelové běhouny. Díky tomuto statickému zatížení běhounů dochází ke konečnému zhutnění konstrukční vrstvy. Využití tohoto typu hutnicího zařízení je v současnosti méně časté stejně jako pneumatické válce. [14]

Ad 2. Pneumatikové válce

Tento typ hutnicího zařízení působí na hutněnou vrstvu tlakem a hnětením. Pneumatikové válce působí na hutněnou vrstvu rovnoměrně, relativně malými tlaky. Záleží na typu pneumatiky, zatížení kola, tlak vzduchu v pneumatice atd. Tyto hutnicí stroje mohou hutnit vrstvy až do tloušťky 200 mm, jelikož hloubkový účinek stroje není příliš velký. [14]

Ad 3. Vibrační válce

Při použití vibračního válce působí na konstrukční vrstvu zároveň tlak a vibrace. Vibrační válce mají dobrý hloubkový účinek, a proto mohou zhutnit vrstvy mocné až 300 mm. Tento typ válce je dále vhodný pro obtížně zhutnitelné směsi, jelikož využívá výše zmíněného tlaku a vibrace. Toto je jeden z hlavních důvodů, proč je tento typ stroje v dnešní době hojně využíván. Dalším pozitivem je značně menší počet potřebných pojezdů k požadované míře zhutnění asfaltové vrstvy. [14]

Ad 4. Oscilační válce

Použití oscilačních válců je v současnosti spíše výjimečné. Při procesu hutnění jsou na hutněnou vrstvu vyvozeny tangenciální síly, které vyvíjejí smyková napětí. Oproti vibračním válcům během oscilačního válce je v neustálém kontaktu s hutněnou vrstvou a je zapotřebí menší počet pojezdů. Jeho další výhodou je, že ho lze použít i při nižších teplotách, a přitom nedochází k drcení kameniva v asfaltové směsi. Nevýhodou je však vysoké opotřebení a menší hloubkový účinek oproti používanějším vibračním válcům. [14]

Ad 5. a 6. Vibrační desky a dusací pěchy

Tyto hutnicí stroje jsou použity pouze v rámci malých stavebních úprav a pouze doplňují zhutňovací stroje, jako jsou vibrační válce, oscilační válce apod. [14]

Ad 7. Kombinované válce

Jedná se o kombinaci pneumatik a ocelových běhounů. V první řadě jde o spojení výhod pneumatikových, statických a vibračních válců. Jednou z podstatných výhod je, že kombinované válce lze použít i ve velkých sklonech, které mohou dosahovat i 20 %. Složitě v tomto případě ale bývá stanovit správnou teplotu asfaltové směsi při procesu hutnění. [14]

7 Praktická část

Cílem této bakalářské práce je dokázat, že teplota je zásadním parametrem výsledné kvality asfaltové směsi a samozřejmě i kvality asfaltové konstrukční vrstvy. Kvalitu asfaltové směsi lze zjistit několika zkouškami:

- Maximální objemová hmotnost
- Objemová hmotnost zhutněného tělesa
- Marshallova zkouška
- Stanovení pevnosti v příčném tahu
- Mezerovitost
- Modul tuhosti

U směsi ACO 11S PMB 45/80-65 bylo provedeno měření teplot přímo při realizaci obrusné vrstvy komunikace v obci Štichovice u Manětína. Následně z téže směsi byly připraveny 3 sady zkušebních těles, které byly zhotoveny ve třech různých teplotách. Tyto vzorky pak byly podrobeny výše zmíněným zkouškám kvůli zjištění vlivu teploty na kvalitu. Dále také proběhlo druhé měření teplot asfaltové směsi v obci Nové Strašecí při pokládce podkladní vrstvy.

Základním předpokladem je, že tělesa vytvořená při nejvyšší teplotě by měla mít největší modul tuhosti, a zároveň největší objemovou hmotnost. Naopak tělesa, která byla zhotovena při nejnižší teplotě, by měla mít nižší modul tuhosti, a zároveň i menší objemovou hmotnost.

7.1 Měření teplot v terénu

7.1.1 Pokládka komunikace ve Štichovicích u Manětína

První ze dvou měření na stavbách proběhlo v obci Štichovice u Manětína. Jednalo se o finální pokládku obrusné vrstvy na místní komunikaci, která je namáhána těžkými nákladními vozidly. Délka komunikace činila 200 m a celkem bylo použito cca 153 t asfaltové směsi. Zhotovitelem této i druhé níže zmíněné stavby je stavební firma Froněk.

Měření byla provedena při naložení asfaltové směsi na obalovně a v průběhu pokládky, a to konkrétně na korbě nákladního auta, v násypce finišeru a šneku finišeru. Teplota byla měřena ručně za pomoci teploměru s dvěma různými délkami sond. Teplota asfaltové směsi byla také měřena na 3 nákladních automobilech za pomoci zabudovaných čidel v korbě nákladního auta.

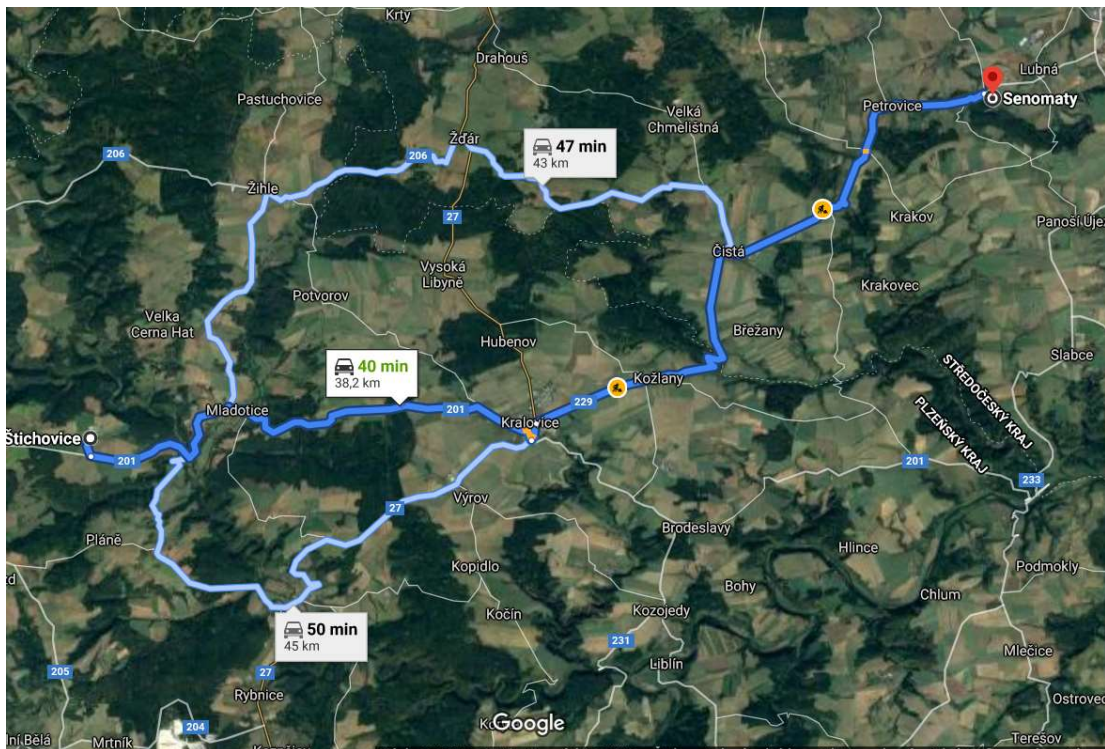
Na obrusnou vrstvu byla použita asfaltová směs typu ACO 11S PMB 45/80-65. Její předepsaná optimální teplota pro pokládku se pohybuje v rozmezí od 155 °C do 180 °C. [14]

Klimatické podmínky při přepravě i při pokládce byly příznivé. Teplota vzduchu se pohybovala okolo 10 °C a při přepravě směsi na stavbu i v průběhu pokládky panovalo bezvětří.

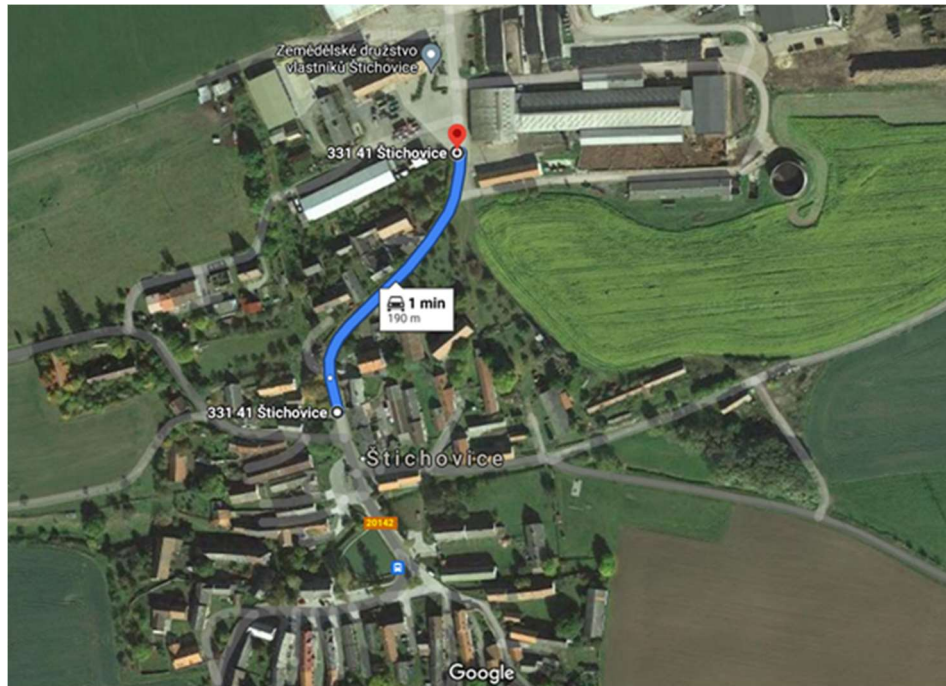
Směs byla dopravena z obalovny dodatečně zateplenými návěsy od firmy Schwarzmüller. Dodatečné zateplování zhotovuje společnost Servis jeřábů a.s. Tento typ termoizolačních návěsů byl zvolen kvůli velké vzdálenosti na stavbu. Stavba se nachází v okrese Plzeň-sever, v obci Štichovice. Obec Štichovice je od obalovny vzdálena téměř 40 km, viz Obrázek č. 15, což znamená v průměru hodina cesty. Realizace 200 m dlouhé komunikace trvala přibližně 3 hodiny a bylo použito celkem 152,38 t asfaltové směsi. Níže v tabulce jsou zaznamenány naměřené teploty.



Obrázek 16 - Nákladní automobil s dodatečně zatepleným návěsem Schwarzmüller společností Servis jeřábů, a.s.



Obrázek 17 - Trasa Obalovna Froněk – stavba Štichovice [18]



Obrázek 18 - Místo stavby – obec Štichovice [19]

ŠTICHOVICE	hmotnost nákladu	čas	obalovna T_1	čas	korba T_2	čas	násypka T_3	čas	šnek finašeru T_4	ΔT		
										T_1-T_2	T_1-T_3	T_1-T_4
Vozidlo č. 1	30,92 t	7:41	175 °C	-	-	9:41	165 °C	9:41	155 °C	-	10	20
Vozidlo č. 2	31,00 t	7:50	173 °C	10:10	164 °C*	10:53	164 °C	10:53	159 °C	9	9	14
Vozidlo č. 3	31,30 t	8:01	173 °C	11:08	160 °C*	11:25	161 °C	11:25	148 °C	13	12	25
Vozidlo č. 4	31,28 t	8:12	180 °C	11:43	159 °C*	11:48	164 °C	11:48	159 °C	21	16	21
Vozidlo č. 5	27,88 t	8:24	175 °C	-	-	10:06	162 °C	10:06	162 °C	13	13	13

* teplota je získána průměrem teploty krusty a středu převážené asfaltové směsi

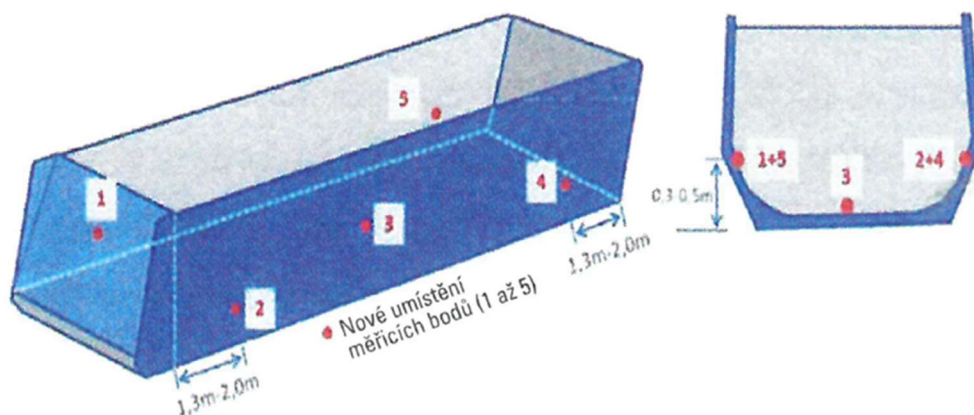
Tabulka 4 - Změřené teploty asfaltové směsi v průběhu dopravy a pokládky

Dle Tabulky č. 4 byl zaznamenán největší pokles teploty u vozidla č. 4. Jedním z hlavních důvodů, proč k tomu došlo, je nejdelší čekací doba na pokládku. Během 3,5 hodiny klesla teplota o 21 °C. Avšak i tak byla dodržena doporučená teplota pro pokládku asfaltového betonu pro obrusnou vrstvu a nedošlo k segregaci asfaltové směsi.

U vozidla č. 3 byla u šneku finašeru naměřena teplota 148 °C, což není již přípustná hodnota pro pokládku asfaltového betonu, avšak toto mohlo být zapříčiněno nedostatečným promícháním ochlazené krusty s teplejším středem asfaltové směsi. Takovému problému můžeme předejít při použití homogenizéru, který je umístěn mezi nákladní vozidlo a finašer. Homogenizér se však používá spíše u větších staveb s větší důležitostí, jako je např. dálnice, silnice 1. třídy apod. Homogenizátor je vložen před finašer z toho důvodu, že promísí asfaltovou směs, a tím sjednotí teplotu celé směsi.

V celkovém hodnocení ohledně ztráty teplot během dopravy asfaltové směsi i doby čekání je nutné říct, že zaplachtování a převoz v dodatečně izolované korbě má velmi příznivý vliv na ochlazování asfaltové vrstvy.

Zároveň s ručním měřením při pokládce asfaltové směsi 3 nákladní automobily byly vybaveny čidly, která snímají teplotu směsi přímo v korbě nákladního vozu. V Tabulce č. 5 jsou zaznamenány získané teploty. Na Obrázku č. 17 je patrné rozmístění těchto teplotních čidel.



Obrázek 19 - Rozmístění teplotních čidel v korbě nákladního vozu [20]

Vozidlo č.5		Vozidlo č.1		Vozidlo č.4		
Čas	9:30	9:54	Čas	9:41	Čas	11:32
T-mittel	155 °C	145 °C	T-mittel	156 °C	T-mittel	144 °C
T-BO	130 °C	138 °C	T-BO	-	T-BO	153 °C
T-UM _{vzduch}	14 °C	17 °C	T-UM _{vzduch}	16 °C	T-UM _{vzduch}	9 °C
T-HL	-	-	T-HL	158 °C	T-HL	146 °C
T-VL	138 °C	-	T-VL	141 °C	T-VL	143 °C
T-VR	-	-	T-VR	128 °C	T-VR	145 °C
T-HR	172 °C	152 °C	T-HR	143 °C	T-HR	133 °C

Tabulka 5 - Měření teplot směsi za pomoci čidel v korbě nákladního automobilu

Vzhledem k naměřeným teplotám v násypce finišeru u všech tří vozidel jsou teploty naměřené za pomoci čidel o několik stupňů nižší. Jelikož se jedná o nově používaný typ měření, je pravděpodobné, že odchylka v měření není stoprocentně započtena, a proto jsou zobrazeny nižší teploty.

7.1.2 Pokládka komunikace v Novém Strašecí

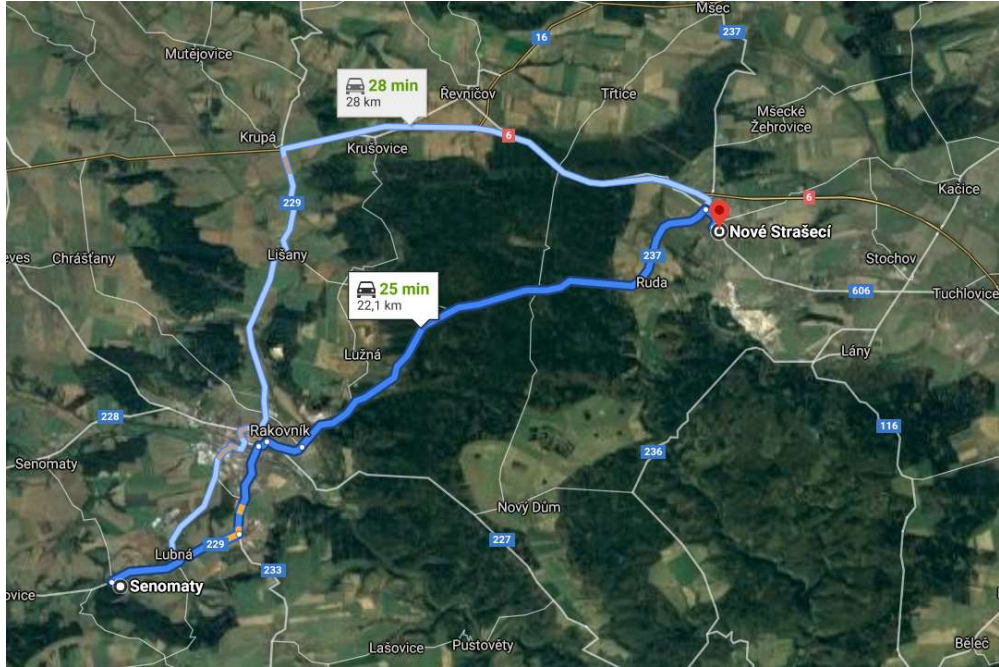
Druhé měření probíhalo v obci Nové Strašecí, kde byla pokládána podkladní vrstva z asfaltobetonu. Konkrétně se jednalo o ACP 16+ 50/70. Na měřeném úseku bylo použito celkem 92,52 t asfaltové směsi.

Měření byla provedena při naložení asfaltové směsi na obalovně a v průběhu pokládky, a to konkrétně v násypce finišeru, šneku finišeru a na korbě nákladního vozidla stejně jako při prvním měření na stavbě v obci Štichovice. Teplota byla měřena ručně za pomoci teploměru s dvěma různými délkami sond. Na vozidle č. 2 byla v korbě nákladního vozu zabudována čidla pro měření teploty.

Pro asfaltovou směs ACP 16+ 50/70 je předepsaná optimální teplota při pokládce v rozmezí od 175 °C do 140 °C.

Klimatické podmínky během přepravy byly velmi nepříznivé. Bylo deštivo a silně větrno. Teplota vzduchu však byla optimální, dosahovala 16 °C.

Směs byla dopravena z obalovny dodatečně zateplenými návěsy od firmy Schwarz Müller. Dodatečné zateplování zhotovuje společnost Servis jeřábů a.s. V tomto případě nešlo o velkou



Obrázek 20 - Doprava asfaltové směsi Obalovna Froněk – Nové Strašecí [21]

vzdálenost, jelikož cesta trvala v průměru 40 minut, avšak vzhledem ke špatné předpovědi počasí a povětrnostním podmínkám byla zvolena auta s dodatečně izolovanými návěsy, aby se předešlo velkým teplotním ztrátám.

ŠTICHOVICE	hmotnost nákladu	čas	obalovna T_1	čas	korba T_2	čas	násypka T_3	čas	šnek finišeru T_4	ΔT		
										T_1-T_2	T_1-T_3	T_1-T_4
Vozidlo č. 1	30,52 t	10:22	173 °C	11:10	165 °C	11:36	163 °C	11:36	159,1 °C	8	10	13,9
Vozidlo č. 2	31,20 t	10:30	169 °C	11:49	156 °C	12:19	141,5 °C	12:19	155 °C	13	27,5	14
Vozidlo č. 3	30,80 t	10:36	165 °C	12:35	158 °C	12:40	153 °C	12:40	152 C	7	12	13

Tabulka 6 - Naměřené teploty – stavba Nové Strašecí

Z Tabulky č. 6 je zřejmé, že teploty při pokládce nepřekročily požadovanou hranici. K největšímu poklesu teploty došlo u vozu č. 2, avšak jedná-li se o teplotu měřenou u šneku finišeru, je zde teplota vyšší než u nákladního vozu č. 3, který čekal nejdéle na pokládku podkladní vrstvy.

Při této pokládce docházelo k velkým časovým prodlevám, a to z důvodu komplikovanosti provedení pokládané vrstvy. Jednalo se o místní komunikaci, na které se nacházela parkovací stání nepravidelně ohraničená obrubníky. Jelikož se jednalo o komunikaci v bezprostřední blízkosti nové zástavby obce Nové Strašecí, na komunikaci se nacházelo velké množství znaků inženýrských sítí. Všechny tyto prvky značně zpomalovaly pokládku vrstvy.

Avšak z hlediska technologie i přes nepřízeň počasí byly dodrženy požadované teploty při pokládce. V následující tabulce jsou uvedeny teploty zaznamenané teplotními čidly na korbě druhého vozidla.

Vozidlo č.2	
Čas	11:49
T-mittel	135 °C
T-BO	-
T-UM _{vzduch}	15 °C
T-HL	113 °C
T-VL	136 °C
T-VR	194 °C
T-HR	135 °C

Tabulka 7- Teploty naměřené čidly v návěsu nákladního automobilu

Hodnoty s vykřičníky byly zřejmě špatně naměřeny čidly, která jsou umístěna přímo v korbě nákladního vozidla. Ostatně je zde patrná i velká odchylka mezi ručně naměřenými hodnotami a hodnotami naměřenými čidly podobně jako u prvního měření.

Můžeme pouze odhadovat, zda mají čidla špatnou citlivost, či měří s velkou odchylkou.

7.1.3 Pokládka komunikace u obce Krásno

Vysoké učení technické v Brně poskytlo záznamy z měření teplot při pokládce asfaltové vrstvy u obce Krásno. Hlavním zkoumaným parametrem zde bylo, zda přidaný R-materiál ovlivní ochlazování směsi během přepravy.

Stavba byla od obalovny vzdálena přibližně 80 km, tudíž samotná doprava trvala téměř 2,5 až 3,5 hodiny v závislosti na hustotě dopravy. Pro přepravu asfaltových směsí byly voleny dva způsoby přepravy. První byla vozidla s dodatečně zateplenou korbou a druhá vozidla bez zateplení. Dalším sledujícím faktorem tohoto experimentu byl vliv homogenizéru na teplotu asfaltové směsi při pokládce.

Teplota asfaltové směsi byla měřena za pomoci teploměrů s teplotní sondou a dále také za pomoci čidel, která jsou osazena přímo na korbě nákladního vozidla. Z důvodů dlouhé dopravní doby byla teplota měřena na obalovně, poté v polovině cesty a naposledy přímo na stavbě. [20]

I přesto, že toto měření proběhlo z jiných důvodů, než je zaměřena tato práce, je zde velké množství zajímavých dat, která monitorují pokles teploty během převozu v termoizolačních korbách a v korbách klasických bez zateplení.

bez homogenizéru													
	obalovna T_1		1/2 cesty T_2		násypka T_3		šnek T_4		doba jízdy	ΔT			
		°C		°C		°C		°C		$T_1 - T_3$	$T_1 - T_2$	$T_1 - T_4$	$T_3 - T_4$
bez izolace	167,9	°C	-	°C	160,0	°C	161,0	°C	3:05	7,9	-	6,9	-1,0
	172,0	°C	-	°C	170,0	°C	165,0	°C	3:25	2,0	-	7,0	5,0
	180,1	°C	-	°C	155,0	°C	158,0	°C	3:40	25,1	-	22,1	-3,0
	171,9	°C	-	°C	170,0	°C	168,0	°C	2:45	1,9	-	3,9	2,0
	169,9	°C	-	°C	169,0	°C	166,0	°C	2:45	0,9	-	3,9	3,0
	183,4	°C	-	°C	168,0	°C	169,0	°C	2:50	15,4	-	14,4	-1,0
∅									3:05	9,1	-	10,5	1,4
s izolací	174,8	°C	-	°C	170,0	°C	168,0	°C	3:45	4,8	-	6,8	2,0
	177,0	°C	168,8	°C	176,0	°C	174,0	°C	3:15	1,0	8,2	3,0	2,0
	178,2	°C	172,9	°C	174,0	°C	171,0	°C	3:15	4,2	5,3	7,2	3,0
	173,6	°C	172,7	°C	170,0	°C	168,0	°C	2:50	3,6	0,9	5,6	2,0
	177,3	°C	170,8	°C	168,0	°C	167,0	°C	2:15	9,3	6,5	10,3	1,0
	178,1	°C	175,7	°C	174,3	°C	173,8	°C	2:30	3,8	2,4	4,3	0,5
	173,2	°C	-	°C	167,0	°C	162,0	°C	2:55	6,2	-	11,2	5,0
	171,1	°C	-	°C	167,0	°C	162,0	°C	3:05	4,1	-	9,1	5,0
	180,1	°C	-	°C	175,0	°C	171,0	°C	2:45	5,1	-	9,1	4,0
174,5	°C	-	°C	173,0	°C	171,0	°C	2:15	1,5	-	3,5	2,0	
∅									2:53	4,4	4,7	7,1	2,7

Tabulka 8 - Naměřené teploty bez použití homogenizéru [20]

s homogenizérem													
	obalovna T_1		1/2 cesty T_2		násypka T_3		šnek T_4		doba jízdy	ΔT			
		°C		°C		°C		°C		$T_1 - T_3$	$T_1 - T_2$	$T_1 - T_4$	$T_3 - T_4$
bez izolace	153,3	°C	-	°C	146,0	°C	142,0	°C	3:35	7,3	-	11,3	4,0
	156,3	°C	-	°C	151,0	°C	146,0	°C	2:50	5,3	-	10,3	5,0
	152,7	°C	-	°C	152,0	°C	143,0	°C	3:25	0,7	-	9,7	9,0
	146,3	°C	-	°C	146,0	°C	146,0	°C	2:55	0,3	-	0,3	0,0
	158,3	°C	-	°C	148,0	°C	144,0	°C	2:55	10,3	-	14,3	4,0
∅									3:08	4,8	-	9,2	4,4
s izolací	162,0	°C	-	°C	161,0	°C	154,0	°C	3:00	1,0	-	8,0	7,0
	153,0	°C	-	°C	152,0	°C	143,0	°C	3:10	1,0	-	10,0	9,0
	179,5	°C	179,1	°C	174,0	°C	170,0	°C	0,2938	5,5	0,4	9,5	4,0
	169,3	°C	168,7	°C	168,4	°C	168,3	°C	2:50	0,9	0,6	1,0	0,1
	163,7	°C	163,5	°C	163,0	°C	157,0	°C	3:10	0,7	0,2	6,7	6,0
	159,0	°C	157,5	°C	154,0	°C	148,0	°C	3:05	5,0	1,5	11,0	6,0
	180,3	°C	180,3	°C	180,0	°C	179,0	°C	3:25	0,3	0,0	1,3	1,0
	179,0	°C	176,2	°C	176,0	°C	175,0	°C	2:30	3,0	2,8	4,0	1,0
	178,0	°C	178	°C	178,0	°C	172,0	°C	2:45	0,0	0,0	6,0	6,0
	166,3	°C	-	°C	156,0	°C	150,0	°C	2:55	10,3	-	16,3	6,0
	158,3	°C	-	°C	154,0	°C	147,0	°C	3:00	4,3	-	11,3	7,0
	170,0	°C	-	°C	170,0	°C	164,0	°C	3:20	0,0	-	6,0	6,0
	172,7	°C	-	°C	164,0	°C	163,7	°C	2:40	8,7	-	9,0	0,3
	174,1	°C	-	°C	174,0	°C	170,0	°C	2:55	0,1	-	4,1	4,0
181,3	°C	-	°C	178,0	°C	175,0	°C	2:00	3,3	-	6,3	3,0	
∅									2:53	2,9	0,8	7,4	4,4

Tabulka 9 - Naměřené teploty s použitím homogenizéru [20]

Z tabulek lze vyčíst, že při použití homogenizéru je zde markantní rozdíl u teplot v násypce oproti pokládce, kde homogenizér použit nebyl. Za použití homogenizéru je rozdíl mezi průměrnými teplotami téměř dva stupně a při pokládce bez použití homogenizéru téměř pět

stupňů. Dále podle průměrných teplotních ztrát je zde vidět značný rozdíl mezi návěsy bez zateplení a se zateplením.

Z těchto výsledků je zřejmé, jak velký rozdíl je při přepravě v zateplené a nezateplené korbě nákladního automobilu. Znatelně zde byla prodloužena doba přepravy asfaltové směsi z obalovny na stavbu. V technických kvalitativních podmínkách v kapitole 7 je jako maximální možná doba přepravy při vhodných klimatických podmínkách určena 1,5 hodiny. V tomto experimentu byla doba přepravy téměř dvojnásobná, přičemž si směs zachovala svoji požadovanou teplotu, a tudíž i kvalitu.

V současnosti je tento trend vzateplování nákladních automobilů pro přepravu asfaltových směsí firmou Froněk velice oblíben právě pro malé tepelné ztráty i na velké vzdálenosti. Dalším krokem ve vývoji proti ochlazování asfaltové směsi je navržení termoizolační plachty, která by měla snížit již tak nízké tepelné ztráty za použití zateplených návěsů.

7.2 Specifikace asfaltové směsi

7.2.1 ACO 11S PMB 45/80-65

V laboratorních podmínkách byly blíže zkoumány mechanicko-fyzikální vlastnosti u směsi ACO 11S PMB 45/80-65. Jedná se o asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximální velikostí zrna 11 mm v nejvyšší kvalitě. Jako pojivo byl použit modifikovaný asfalt PMB 45/80-65.

Tato asfaltová směs byla použita pro obrusnou vrstvu na komunikaci vedoucí k ZDV Štichovice. Provoz na této komunikaci není příliš početný, avšak jezdí zde velké množství těžkých nákladních aut a kamionů. Proto bylo zvoleno modifikované asfaltové pojivo a směs s největší kvalitou, které mají předpoklady ke zvýšené odolnosti vůči tvoření trvalých deformací.

7.3 Laboratorní zkoušky asfaltové směsi ACO 11S PMB

V laboratorních podmínkách byla zkušební tělesa podrobena zkouškám, které prokážou, jaké mechanicko-fyzikální vlastnosti daná asfaltová směs má. Zkoušeny byly tři sady vzorků, které byly vyrobeny při třech různých teplotách. Mezi tyto základní zkoušky, díky kterým můžeme posoudit správnost návrhu asfaltové směsi, a zároveň její kvalitu, patří:

- Zkouška na zjištění maximální objemové hmotnosti
- Zkouška na zjištění objemové hmotnosti zhutněného tělesa
- Výpočet mezerovitosti
- Zkouška na zjištění modulu tuhosti
- Marshallova zkouška
- Stanovení pevnosti v příčném tahu

Základním předpokladem u těchto zkoušek je, že pokud bude dodržena optimální mezerovitost u zkušebních vzorků, pak by měla zkušební tělesa, která byla vyrobena při nejvyšší teplotě dosahovat nejvyšších hodnot modulu tuhosti, a zároveň i největší objemové hmotnosti oproti vzorkům, které byly vytvořeny při nižších teplotách.

Avšak pokud mezerovitost bude menší, než je doporučeno, pak u vzorků vyrobených při nejvyšších teplotách bude naměřen menší modul tuhosti oproti ostatním zkušebním tělesům vyrobeným při nižších teplotách.

7.3.1 Příprava zkušebních vzorků

Z asfaltové směsi ACO 11S PMB 45/80-65, která byla použita pro obrusnou vrstvu v obci Štichovice, byly vyrobeny tři sady po osmi zkušebních tělesech ve tvaru válce. První sada vzorků (1-8) byla vyrobena při teplotě 165 °C, druhá sada vzorků (A-H) při teplotě 155 °C a třetí sada vzorků (I-VIII) při teplotě 145 °C.

Nejprve byla asfaltová směs rozvážena do jednotlivých fanek, a to dle předepsané normy. V každé fance bylo naváženo ± 1150 g asfaltové směsi. Následně fanky byly umístěny do sušárny, kde byly nahřaty na požadovanou teplotu a to 165 °C, 155 °C a 145 °C.

Do sušáren byly také umístěny válcové formy, podložka a nástavec. Toto nahřátí je důležité proto, aby se směs co nejméně ochladila a udržela si tak předepsanou teplotu. Po dosažení požadované teploty u asfaltové směsi je nutné si nejprve připravit předehřátou podložku, na kterou je postavena válcová forma. Do válcové formy je vložen papírový filtr, následně je na formu nasazen nástavec a poté je do formy vsypána vytemperovaná asfaltová směs. Povrch asfaltové směsi je nutné urovnat a následně na ni položit druhý filtrační papír. Ihned poté je takto připravené zkušební těleso vloženo do hutnicího zařízení. Zde je vzorek upevněn a následně zhutněn 75 úderů z každé strany. Jako hutnicího zařízení byl použit Marshallův pěch.

Po zhutnění je těleso vyjmuto z Marshallova pěchu a jsou odstraněny oba filtrační papíry. Takto zhutněné zkušební těleso je skladováno na ocelové podložce do zchladnutí. Poté je za pomoci hydraulického lisu zkušební těleso vyjmuto z formy.

7.3.2 Zkouška na zjištění maximální objemové hmotnosti

Z asfaltové směsi ACO 11S PMB 45/80-65 byl odebrán vzorek o váze cca 1 kg, na kterém byla zjišťována maximální objemová hmotnost této asfaltové směsi. Existují celkem tři postupy na zjištění maximální objemové hmotnosti, a to:

- Volumetrický postup
- Hydrostatický postup
- Matematický postup

Pro tuto práci jsme zvolili volumetrický postup na změření maximální objemové hmotnosti. Podrobný postup tohoto typu zkoušky je blíže rozepsán v kapitole [4.3.4 Stanovení maximální objemové hmotnosti](#).

Pro získání výsledku z naměřených hodnot jsme použili Vzorec (11). Níže jsou uvedeny námi naměřené hodnoty nutné pro výpočet.

$m_1 =$	695,4 g
$m_2 =$	1363,6 g
$m_2 - m_1 =$	668,2 g
$m_3 =$	2415,5 g
$V_p =$	1319,94 mm ³
$\rho_w =$	0,9967 Mg/m ³
$t =$	26,7 °C

$$\rho_{mc} = \frac{100}{(p_a / \rho_a) + (p_B / \rho_B) + (p_{ad} / \rho_{ad})}$$

Vzorec 19 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti matematickým postupem [9]

$$\rho_{mv} = 2,526 \text{ Mg/m}^3$$

Po dosazení do vzorce (Vzorec (11)) bylo zjištěno, že maximální objemová hmotnost námi sledované asfaltové směsi je 2,526 Mg/m³.

7.3.3 Zkouška na zjištění objemové hmotnosti zhutněného tělesa

Dále jsme pokračovali v nedestruktivních zkouškách na již připravených zkušebních tělesech. Mezi nedestruktivní zkoušky se řadí právě zkouška na zjištění objemové hmotnosti zhutněného tělesa. Podrobný postup pro provádění této zkoušky je blíže popsán v kapitole [4.3.5 Stanovení objemové hmotnosti zhutněného asfaltového zkušebního tělesa](#).

Základním předpokladem je, že zkušební tělesa, která byla zhotovena při nejvyšších teplotách (Vzorky 1-8) by měla dosahovat největších hodnot objemové hmotnosti. Oproti tomu tělesa, která byla zhotovena při nejnižší teplotě (Vzorky I-VIII), by měla vykazovat nejnižší objemovou hustotu.

Níže jsou zaznamenány naměřené hodnoty a současně také výsledky námi provedené zkoušky.

Zkušební vzorky 1-8			
1		5	
m_1	= 1154,0 g	m_1	= 1177,5 g
m_2	= 687,7 g	m_2	= 703,2 g
m_3	= 1156,3 g	m_3	= 1178,7 g
ρ_{ssd}	= 2,4562 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4698 Mg/m ³
2		6	
m_1	= 1148,7 g	m_1	= 1167,3 g
m_2	= 684,1 g	m_2	= 693,1 g
m_3	= 1150,7 g	m_3	= 1169,6 g
ρ_{ssd}	= 2,4554 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4433 Mg/m ³
3		7	
m_1	= 1168,4 g	m_1	= 1160,1 g
m_2	= 696,4 g	m_2	= 691,2 g
m_3	= 1169,5 g	m_3	= 1162,4 g
ρ_{ssd}	= 2,4632 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4555 Mg/m ³
4		8	
m_1	= 1169,9 g	m_1	= 1152,3 g
m_2	= 694,0 g	m_2	= 685,3 g
m_3	= 1170,9 g	m_3	= 1153,5 g
ρ_{ssd}	= 2,4467 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4547 Mg/m ³
Průměrná hustota		2,4556 Mg/m ³	

Tabulka 11 - Objemová hmotnost zkušebních těles 1-8

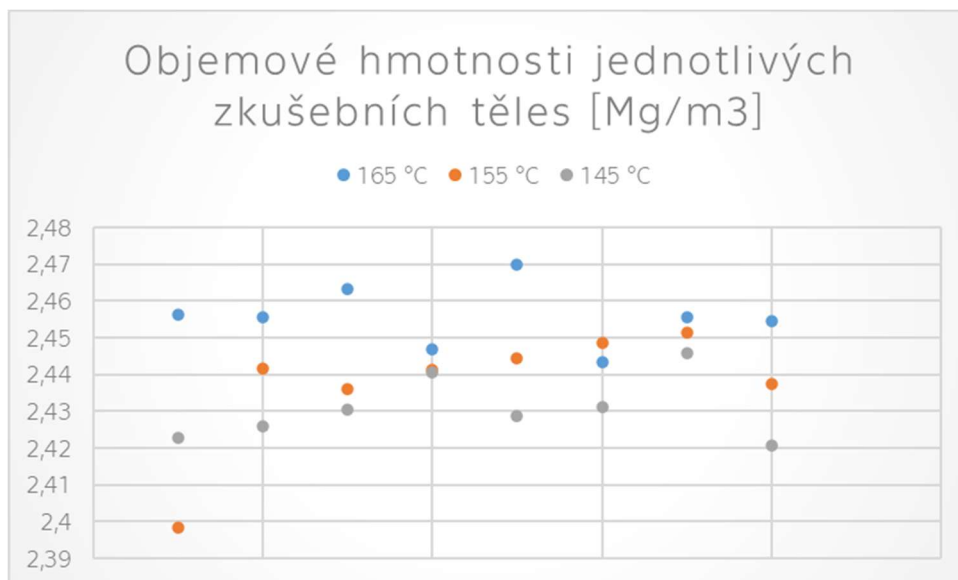
Zkušební vzorky A-H			
A		E	
m_1	= 1158,8 g	m_1	= 1146,6 g
m_2	= 683,7 g	m_2	= 680,7 g
m_3	= 1165,6 g	m_3	= 1148,5 g
ρ_{ssd}	= 2,3983 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4445 Mg/m ³
B		F	
m_1	= 1140,8 g	m_1	= 1172,6 g
m_2	= 677,7 g	m_2	= 696,8 g
m_3	= 1143,7 g	m_3	= 1174,4 g
ρ_{ssd}	= 2,4416 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4487 Mg/m ³
C		G	
m_1	= 1152,3 g	m_1	= 1157,4 g
m_2	= 683,3 g	m_2	= 688,2 g
m_3	= 1155,1 g	m_3	= 1159,1 g
ρ_{ssd}	= 2,4359 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4513 Mg/m ³
D		H	
m_1	= 1161,0 g	m_1	= 1159,4 g
m_2	= 688,9 g	m_2	= 687 g
m_3	= 1163,2 g	m_3	= 1161,4 g
ρ_{ssd}	= 2,4413 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4374 Mg/m ³
Průměrná hustota		2,4374 Mg/m ³	

Tabulka 10 - Objemová hmotnost zkušebních těles A-H

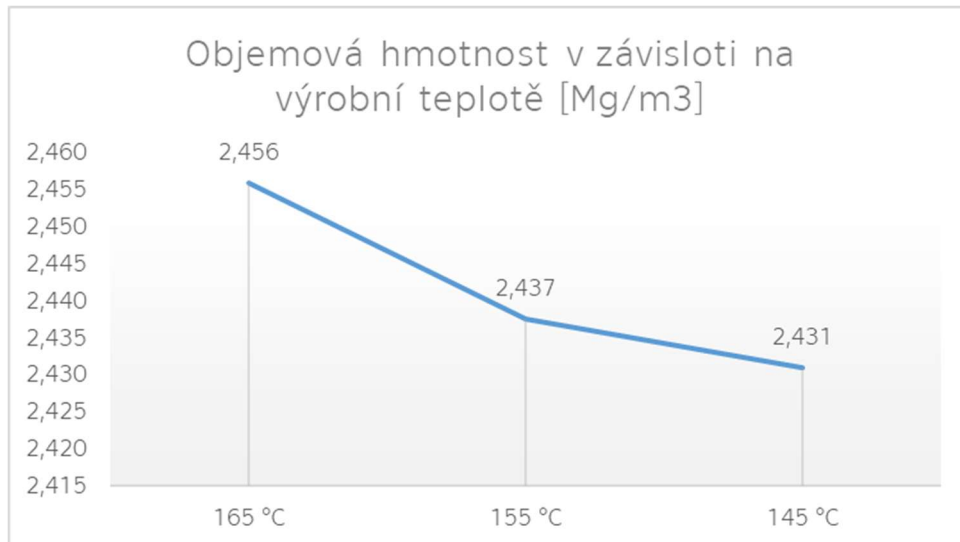
Zkušební vzorky I-VIII			
I		V	
m_1	= 1157,8 g	m_1	= 1149,6 g
m_2	= 683,6 g	m_2	= 679,5 g
m_3	= 1160,2 g	m_3	= 1151,6 g
ρ_{ssd}	= 2,4228 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4286 Mg/m ³
II		VI	
m_1	= 1151,1 g	m_1	= 1162,1 g
m_2	= 681,8 g	m_2	= 688,4 g
m_3	= 1155 g	m_3	= 1165,1 g
ρ_{ssd}	= 2,4261 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4313 Mg/m ³
III		VII	
m_1	= 1186,3 g	m_1	= 1171,2 g
m_2	= 701,6 g	m_2	= 695,5 g
m_3	= 1188,4 g	m_3	= 1173,1 g
ρ_{ssd}	= 2,4304 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4457 Mg/m ³
IV		VIII	
m_1	= 1131,0 g	m_1	= 1151,9 g
m_2	= 670,4 g	m_2	= 679,5 g
m_3	= 1132,6 g	m_3	= 1154,1 g
ρ_{ssd}	= 2,4404 Mg/m ³	ρ_{ssd}	= 2,4206 Mg/m ³
Průměrná hustota		2,4307 Mg/m ³	

Tabulka 12 - Objemová hmotnost zkušebních těles I-VIII

Z Tabulek 11, 12, 13 je patrné, že předpoklad výsledků zkoušky se potvrdil. U zkušebních vzorků 1-8 byla naměřena největší objemová hmotnost, a to v průměru 2,456 Mg/m³, a u zkušebních vzorků I-VIII byla naopak naměřena nejnižší objemová hmotnost v průměru 2,431 Mg/m³.



Graf 1 - Grafické znázornění výsledků objemové hmotnosti zkušebních těles



Graf 2 - Objemová hmotnost v závislosti na výrobní teplotě

Z grafů 1 a 2 lze vyčíst klesající tendenci objemové hmotnosti vzhledem k výrobní teplotě. Tato klesající tendence je zapříčiněna zmenšováním míry zhutnění zkušebního tělesa při nižších teplotách. Naopak je-li teplota vyšší, poté se zvětšuje míra zhutnění a přímoúměrně s ní i objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi.

7.3.4 Výpočet mezerovitosti

Po zjištění maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti jednotlivých zkušebních těles jsme schopni vypočítat mezerovitost jednotlivých zkušebních vzorků. Výpočet byl proveden dle Vzorce (18). Níže v tabulkách 13, 14, 15 jsou zaznamenány výsledky.

$$V_a = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100$$

Vzorec 20 - Vzorec pro výpočet mezerovitosti [11]

V_a [%]	mezerovitost asfaltové směsi
ρ_m [Mg/m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
ρ_b [Mg/m ³]	objemová hmotnost zkušebního tělesa

Mezerovitost								
1	$\rho_{ssd,1}$	=	2,4562	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,77	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
2	$\rho_{ssd,2}$	=	2,4554	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,80	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
3	$\rho_{ssd,3}$	=	2,4632	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,49	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
4	$\rho_{ssd,4}$	=	2,4467	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,14	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
5	$\rho_{ssd,5}$	=	2,4698	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,23	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
6	$\rho_{ssd,6}$	=	2,4433	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,28	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
7	$\rho_{ssd,7}$	=	2,4555	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,79	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
8	$\rho_{ssd,8}$	=	2,4547	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,83	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
Průměrná mezerovitost					$V_{a,\emptyset}$	=	2,79	%

Tabulka 14 - Mezerovitost vzorků 1-8

Mezerovitost								
A	$\rho_{ssd,A}$	=	2,3983	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	5,06	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
B	$\rho_{ssd,B}$	=	2,4416	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,35	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
C	$\rho_{ssd,C}$	=	2,4359	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,57	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
D	$\rho_{ssd,D}$	=	2,4413	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,36	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
E	$\rho_{ssd,E}$	=	2,4445	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,23	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
F	$\rho_{ssd,F}$	=	2,4487	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,07	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
G	$\rho_{ssd,G}$	=	2,4513	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	2,96	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
H	$\rho_{ssd,H}$	=	2,4374	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,51	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
Průměrná mezerovitost					$V_{a,\emptyset}$	=	3,51	%

Tabulka 13 - Mezerovitost vzorků A-H

Mezerovitost								
I	$\rho_{ssd,I}$	=	2,4228	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	4,09	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
II	$\rho_{ssd,II}$	=	2,4261	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,96	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
III	$\rho_{ssd,III}$	=	2,4304	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,79	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
IV	$\rho_{ssd,IV}$	=	2,4404	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,39	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
V	$\rho_{ssd,V}$	=	2,4286	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,86	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
VI	$\rho_{ssd,VI}$	=	2,4313	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,75	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
VII	$\rho_{ssd,VII}$	=	2,4457	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	3,18	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
VIII	$\rho_{ssd,VIII}$	=	2,4206	Mg/m ³	$V_{a,1}$	=	4,18	%
	ρ_{mv}	=	2,5261	Mg/m ³				
Průměrná mezerovitost					$V_{a,\emptyset}$	=	3,78	%

Tabulka 15 - Mezerovitost vzorků I-VIII



Graf 3 - Mezerovitost v závislosti na výrobní teplotě

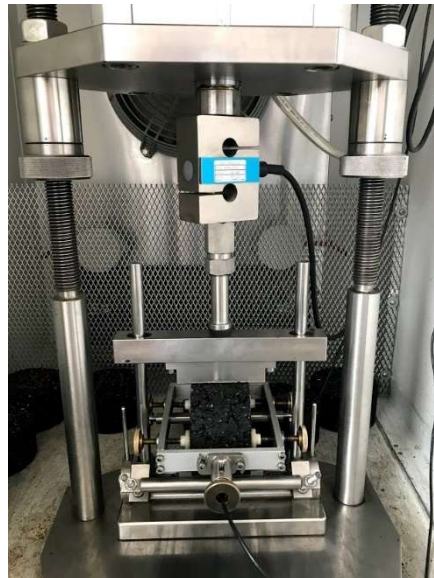
Dle grafu 3 je vidět vzestupná tendence mezerovitosti v závislosti na klesající teplotě při zhotovení zkušebních prvků. Zvyšující se hodnoty mezerovitosti jsou zapříčiněny menší mírou ztuhnutí asfaltové směsi vzhledem k nižším výrobním teplotám.

Dle normy ČSN EN 73 6121 je mezerovitost asfaltového betonu pro obrusné vrstvy při kontrolních zkouškách stanovena v rozmezí 2,0-5,5 %. Výsledky potvrzují, že zkoušená asfaltová směs vyhovuje tomuto rozhraní, avšak u vzorků 1-8 se blíží k dolní hranici minimální mezerovitosti směsi. Pro asfaltovou směs je nejvhodnější, pohybuje-li se uprostřed zmíněného rozpětí, tudíž očekávání byla taková, že vzorky 1-8 budou mít mezerovitost okolo hodnoty 3,0 %.

Avšak při nejvyšších výrobních teplotách byla mezerovitost pouhých 2,79 %. Nárůst mezerovitosti při klesající teplotě není tak razantní, jak bychom ho očekávali. Nejideálnější mezerovitosti dosahují vzorky A-H, které byly zhotoveny při teplotě 155 °C. Pro tento experiment jsou tyto výsledky spíše zklamáním, jelikož přímo nepotvrzují moji myšlenku. Avšak pro samotnou realizaci na stavbě je velice příznivé, že tato asfaltová směs dosahuje ideální mezerovitosti při lehce nižší teplotě a tou je 155 °C. Podobné teploty byly naměřeny přímo na stavbě komunikace v obci Štichovice, tudíž kvalita a životnost asfaltové konstrukční vrstvy bude vyhovující.

7.3.5 Zkouška na zjištění modulu tuhosti

Mezi další nedestruktivní zkoušky je řazena zkouška na zjištění modulu tuhosti zkušebního vzorku. Při tomto pokusu byla volena metoda IT-CY, kdy na zkušební těleso o tvaru válce byla vyvíjena řízená velikost zatěžující síly. Podrobnější popis průběhu zkoušky je popsán v kapitole [4.3.1 Modul tuhosti](#).



Obrázek 21 - Upevněný zkušební vzorek

Zkušební vzorky byly zkoušeny při čtyřech různých teplotách, a to při 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C. Základním předpokladem u této zkoušky je, že zkušební tělesa budou dosahovat největšího modulu tuhosti při 0 °C, a naopak nejnižší hodnoty budou naměřeny při teplotě 40 °C. Vzhledem k rozdílným výrobním teplotám vzorků by zkušební tělesa 1-8 měla vykazovat nejvyšší hodnoty modulů tuhosti a naopak zkušební vzorky, které byly zhotoveny při nižších teplotách (vzorky A-H a vzorky I-VIII) by měly vykazovat hodnoty nižší.

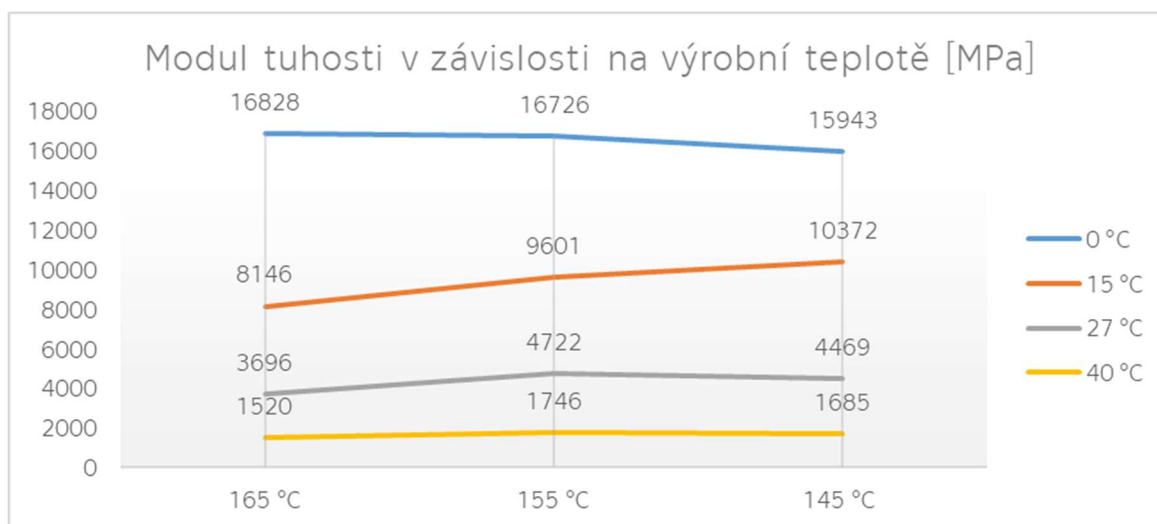
V níže uvedených tabulkách jsou zaznamenány výsledky zkoušek. Vzorky byly voleny tak, aby reprezentovaly všechny vytvořené vzorky.

Modul tuhosti v závislosti na teplotě			
Rozměry zkušebních vzorků		Zkušební teploty	
		E při 0 °C	E při 15 °C
1	v = 58,40 mm d = 101,12 mm	16105	7441
3	v = 59,58 mm d = 102,04 mm	17145	8299
4	v = 59,74 mm d = 102,42 mm	17584	8340
5	v = 59,69 mm d = 101,98 mm	16478	8503
A	v = 61,23 mm d = 101,87 mm	15922	9438
B	v = 58,50 mm d = 102,03 mm	17189	9901
C	v = 59,49 mm d = 101,90 mm	16116	9655
G	v = 59,33 mm d = 101,89 mm	17676	9410
I	v = 60,00 mm d = 101,96 mm	15888	9889
IV	v = 58,23 mm d = 101,85 mm	16969	10575
V	v = 58,87 mm d = 102,67 mm	15550	9891
VIII	v = 59,59 mm d = 102,30 mm	15367	11135

Tabulka 16 - Moduly tuhosti zkušebních těles při teplotách 0 °C a 15 °C

Modul tuhosti v závislosti na teplotě			
Rozměry zkuš. vzorků		Zkušební teploty	
		E při 27 °C	E při 40 °C
2	v = 58,87 mm	2833	1228
	d = 101,68 mm		
6	v = 59,89 mm	3666	1375
	d = 101,92 mm		
7	v = 59,21 mm	3726	1613
	d = 102,03 mm		
8	v = 59,02 mm	4327	1571
	d = 101,95 mm		
D	v = 59,02 mm	4773	2119
	d = 102,41 mm		
E	v = 58,72 mm	4726	1688
	d = 101,98 mm		
F	v = 58,50 mm	4741	1985
	d = 103,45 mm		
H	v = 59,77 mm	4649	1566
	d = 101,73 mm		
II	v = 57,89 mm	4775	2052
	d = 103,27 mm		
III	v = 61,39 mm	4138	1640
	d = 101,91 mm		
VI	v = 60,23 mm	4535	1781
	d = 102,00 mm		
VII	v = 59,32 mm	4427	1635
	d = 102,55 mm		

Tabulka 17 - Moduly tuhosti zkušebních těles při teplotách 27 °C a 40 °C



Graf 4 - Grafické vyjádření výsledků modulů tuhosti v závislosti na výrobní teplotě

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že u zkušebních vzorků 1-8, které byly vyrobeny při nejvyšší teplotě, modul tuhosti při teplotě 0 °C roste. Nejvyšší dosažená hodnota je téměř 16 900 MPa. Avšak se zvyšující se teplotou modul tuhosti roste u vzorků, které byly vyrobeny při nižších teplotách (A-H, I-VIII).

Toto je zapříčiněno právě již výše zmíněnou nízkou mezerovitostí blížící se k dolní doporučené hranici u vzorků vyrobených při 165 °C (vzorky 1-8). Nižší mezerovitost může ve vyšších teplotách vykazovat větší deformace, a tedy i menší modul tuhosti. Při vyšších teplotách byly na zkušební vzorky 1-8 vyvinuty menší síly na vytvoření potřebné deformace než u ostatních vzorků A-H a I-VII.

Pokud by u vzorků 1-8 byla dodržena optimální mezerovitost cca 3,0 %, poté by u těchto vzorků byly naměřeny nejvyšší hodnoty modulů tuhosti. Vzorky A-H dosáhly ideální mezerovitosti, což se se projevuje až při vyšších zkušebních teplotách (27 °C a 40 °C), kdy byly zaznamenány nejvyšší hodnoty modulů tuhosti.

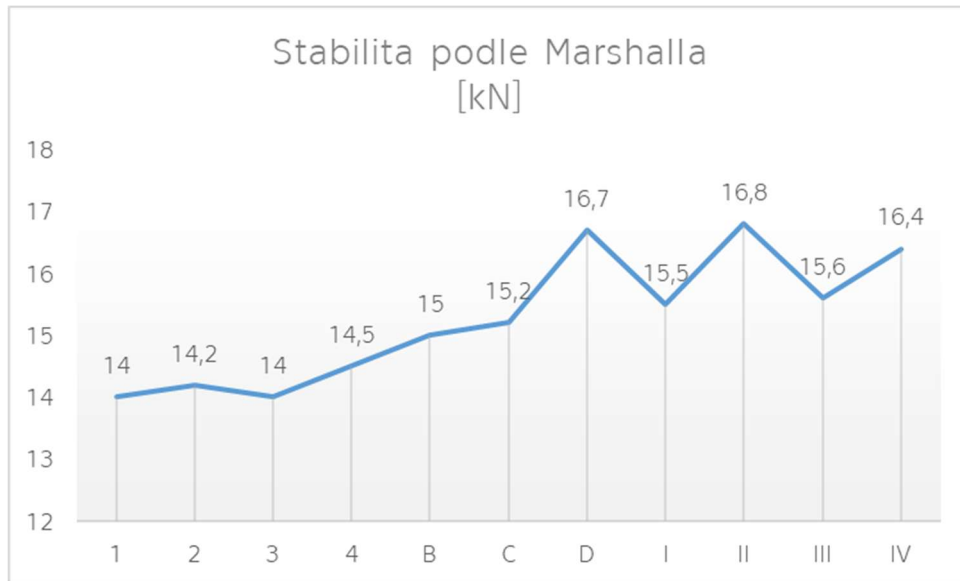
7.3.6 Marshallova zkouška

Marshallova zkouška je řazena mezi destruktivní zkoušky na zkušebních tělesech. Při této zkoušce je zejména zkoumána stabilita zkušebního vzorku a velikost přetvoření při zatížení. Podrobný postup této zkoušky je popsán v kapitole [4.3.2 Marshallova zkouška](#).

Během experimentu byly naměřeny tyto hodnoty.

Vzorek	Stabilita podle Marshalla [kN]	Přetvoření podle Marshalla [mm]	∅ stabilita [kN]	∅ přetvoření [mm]	odchylka stability [%]	odchylka přetvoření [%]
1	14	3,2	14,175	3,1	-1,23	3,23
2	14,2	3			0,2	-3,2
3	14	3,4			-1,2	9,7
4	14,5	2,8			2,3	-9,7
B	15	2,8	15,633	3,1	-4,1	-9,7
C	15,2	3,2			-2,8	3,2
D	16,7	3,3			6,8	6,5
I	15,5	2,7			-3,6	-9,2
II	16,8	2,6	16,075	2,975	4,5	-12,6
III	15,6	3,7			-3,0	24,4
IV	16,4	2,9			2,0	-2,5

Tabulka 18 - Naměřené hodnoty – Marshallova zkouška



Graf 5 - Stabilita zkušebních těles

Jelikož zkušební vzorky byly temperovány na 60 °C, je zde patrné, že u vzorků A-H, I-VIII, které byly vytvořeny při nižších teplotách, dosahuje stabilita daleko větších hodnot než u vzorků 1-8. Důvodem, proč tomu tak je, je právě již výše zmíněná nízká mezerovitost, jelikož u vzorků, které byly zhotoveny při nižších teplotách, dosahuje mezerovitost ideálních hodnot. Vzorky 1 - 8, které mají mezerovitost u dolní hranice, se při vyšších teplotách projevují jako méně tuhé, a tudíž i méně stabilní.

Pokud by u vzorků zhotovených při nejvyšších teplotách byla dodržena správná hodnota mezerovitosti, poté by při Marshallově zkoušce vykazovaly největší stabilitu. Takto byla dosažena největší stabilita u vzorku č. II, kdy byla naměřena hodnota 16,8 kN a míra přetvoření pouhých 2,6 mm.

7.3.7 Stanovení pevnosti v příčném tahu

Během této destruktivní zkoušky je zjišťováno maximální tahové napětí, které je zkušební vzorek schopno přenést. Maximální tahové napětí je zjišťováno za pomoci Marshallova lisu.

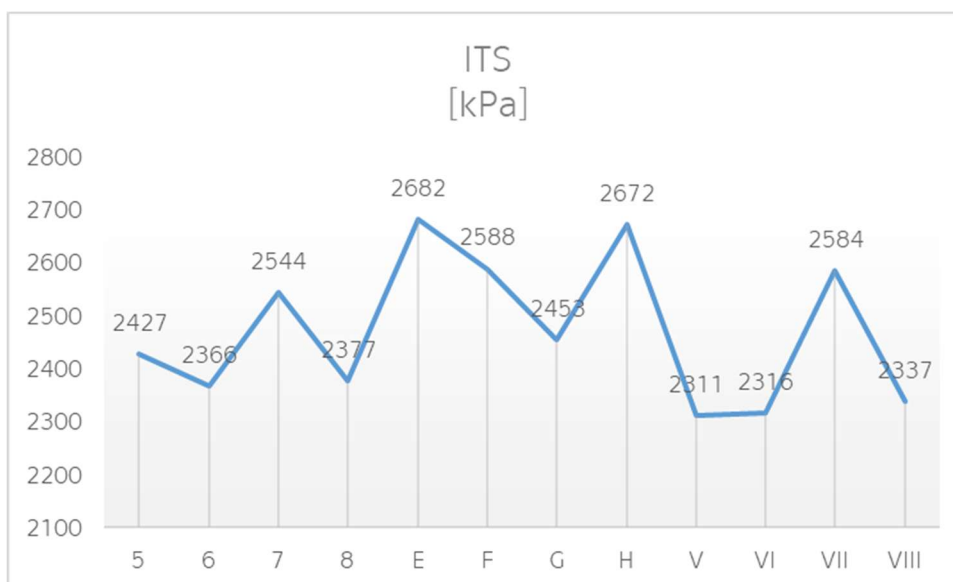
Podrobnější popis průběhu zkoušky je popsán v kapitole [4.3.3 Stanovení pevnosti v příčném tahu](#). Po naměření potřebných hodnot byl proveden výpočet dle vzorce 7 a byly zjištěny následující výsledky zkoušky.

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH} \cdot 1000$$

Vzorec 21 - Vzorec pro výpočet pevnosti v příčném tahu [8]

Vzorek	F [kN]	deformace [kN]	ITS [kPa]	∅ ITS [kPa]	odchylka [%]
5	23,2	3,68	2426,7	2428,43	-0,07
6	22,67	3,87	2365,7		-2,59
7	24,12	3,08	2544,2		4,77
8	22,46	3,02	2377,2		-2,11
E	25,21	3,28	2681,9	2598,56	3,21
F	24,6	3,15	2587,9		-0,41
G	23,27	3,25	2452,8		-5,61
H	25,51	2,94	2671,7		2,81
V	21,95	3,61	2311,3	2387,05	-3,17
VI	22,33	3,81	2316,3		-2,96
VII	24,68	3,62	2583,7		8,24
VIII	22,37	3,78	2336,9		-2,10

Tabulka 19 - Výsledky zkoušky ITS



Graf 6 - – Grafické znázornění pevností jednotlivých vzorků

Výsledky tohoto experimentu ukazují, že optimální hodnota mezerovitosti zkušební vzorku má zásadní vliv na velikost pevnosti. U zkušebních vzorků E-H, které byly zhotoveny při teplotě 155 °C, byly zaznamenány nejvyšší hodnoty pevnosti, a to v průměru téměř 2600 kPa. Oproti tomu vzorky 5-8, které nemají optimální mezerovitost, vykazují menší míru pevnosti.

Pokud by u vzorků zhotovených při nejvyšší teplotě byla dodržena optimální mezerovitost, vykazovaly by právě tyto vzorky největší hodnoty pevnosti.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo prokázat, že teplota je zásadním parametrem kvality u hutněných asfaltových směsí. Dodržování správné teploty od výroby až po samotnou pokládku je prioritou. Konkrétně byly provedeny zkoušky na 3 sadách po osmi zkušebních tělesech, které měly dokázat, jaký vliv má teplota na výslednou kvalitu asfaltové směsi, respektive asfaltové konstrukční vrstvy. Dále byla také sledována míra ochlazování asfaltové směsi v dodatečně izolovaných korbách během převozu směsi z obalovny na stavbu. Měření teplot probíhalo také během pokládky asfaltové směsi.

Z měření teplot v terénu přímo na stavbě jsme došli k závěru, že v současných podmínkách lze asfaltovou směs převážet i na delší vzdálenosti. Dle technických kvalitativních podmínek v kapitole 7 lze asfaltovou směs dopravit na stavbu, která je vzdálená 1 hodinu maximálně 1,5 hodiny, jsou-li příznivé klimatické podmínky. Z našeho měření je však znát, že při správném zaplachtování korby a na termoizolačním návěsu lze udržet asfaltovou směs při požadované teplotě až 3 hodiny.

Dále byl v laboratorních podmínkách sledován vliv výrobní teploty na kvalitu zhutněné asfaltové vrstvy. Byly zhotoveny tři sady po osmi zkušebních tělesech. První sada byla zhotovena při teplotě 165 °C, druhá při 155 °C a třetí při 145 °C. Poté byla zjištěna maximální objemová hmotnost asfaltové směsi a objemové hmotnosti jednotlivých zkušebních vzorků. Z této zkoušky bylo zjištěno, že objemová hmotnost při zvyšující se teplotě stoupá, což byl náš základní předpoklad.

Díky těmto zjištěným vlastnostem jsme byli schopni vypočítat mezerovitost vzorků. Dle našich předpokladů vzorky, které byly zhotoveny při nejvyšší teplotě, vykazovaly nejmenší mezerovitost. Avšak velikost mezerovitosti se blížila k dolní hranici povolené mezerovitosti u tohoto typu asfaltové směsi. Nejideálnější mezerovitost, uprostřed povoleného rozpětí, měly vzorky, které byly zhotoveny při 155 °C. Toto zapříčinilo, že ostatní zkoušky, které byly prováděny při vyšších teplotách, vycházely ve prospěch těles, které byly zhotoveny při nižších teplotách z důvodu ideální mezerovitosti. Projevilo se to zejména při zkouškách modulu tuhosti při 40 °C a při Marshallově zkoušce, která probíhala s netemperovanými vzorky na 60 °C.

Závěrem bylo zjištěno, že nejideálnější teplota pro tuto směs je 155 °C, což je bezesporu velká výhoda při pokládce asfaltové vrstvy. Z tohoto důvodu by stálo za uvážení příští zkoušky provádět na několika typech asfaltových směsí.

9 Bibliografie

- [1] ZAJÍČEK, Jan. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. Technická knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] HÝZL, PH.D., Ing. Petr. PRAKTICKÉ APLIKACE V POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH: Modul 6 - Asfaltové směsi. Brno, 2006. Dostupné také z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/-%20-%20P%C5%99edm%C4%9Bty%20dle%20semestru%20-%20-/6-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%C3%A9ma%207%20text%20-%20Asfaltov%C3%A9%20sm%C4%9Bsi.pdf>
- [3] TKP 7: Hutněné asfaltové vrstvy. Praha: Ministerstvo dopravy – odbor infrastruktury, 2008.
- [4] ČSN EN 12697: Asfalty a asfaltová pojiva – Terminologie. 2014.
- [5] ČSN EN 12697-26: Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 26: Tuhost
- [6] MONDSCHNEIN, Petr. Prezentace SS02 [online]. In: ČVUT
- [7] ČSN EN 12697-34: Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 34: Marshallova zkouška.
- [8] ČSN EN 12697-23: Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu.
- [9] ČSN EN 12697-5: Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti.
- [10] ČSN EN 12697-6: Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa.
- [11] ČSN EN 12697-8: Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.
- [12] ČSN 73 6121: Stavba vozovek-Hutněné asfaltové vrstvy-Provádění a kontrola shody
- [13] Asfaltový zásobník. Ammann Group [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.ammann.com/cz-cz/plants/asphalt-plants/complementary-products/bitumen-tank>
- [14] HANZÍK, Václav, Pavel Klapka, Petr MONDSCHNEIN, František LUXEMBURK, Martin OTTA a Daniel SOVA. Pokládka hutněných asfaltových směsí: revidované a rozšířené vydání s počítačovým programem. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2015. ISBN 978-80-903925-6-4.
- [15] Froněk dopravní stavby. Froněk a dopravní stavby [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.fronek.cz/sluzby/doprava-a-mechanizace/>
- [16] Dny sklápěcích návěsů Fliegl 2015. TRANSPORT A LOGISTIKA. 2015, 2015(1-2), 16-17
- [17] ASW STONE TRUCK THERMO. Fliegl-baukom.de [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://fliegl-baukom.de/produkte/lkw-abschieber/asw-stone-lkw-thermo>
- [18] Mapa – obalovna Froněk – Štichovice [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/dir/%C5%A0tichovice/50.0694156,13.6811597/@50.0049>

[701,13.3864165,25418m/data=!3m1!1e3!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x470a60dde89830cf:0x400af0f6615ea60!2m2!1d13.3028333!2d49.9778112!1m0!3e0](https://www.google.com/maps/dir/50.1331475,13.7317944,21.783m/data=!3m1!1e3!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x470a60dde89830cf:0x400af0f6615ea60!2m2!1d13.3028333!2d49.9778112!1m0!3e0)

- [19] Mapa Štichovice [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/dir/%C5%A0tichovice/%C5%A0tichovice/@49.977138,13.3001177,1416m/data=!3m1!1e3!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x470a60dde89830cf:0x400af0f6615ea60!2m2!1d13.3028333!2d49.9778112!1m5!1m1!1s0x470a60dde89830cf:0x400af0f6615ea60!2m2!1d13.3028333!2d49.9778112!3e0>
- [20] COUFALÍKOVÁ, Iva. Vyhodnocení naměřených teplot v rámci akce: Ověření účinnosti použití izolace koreb vozidel pro převoz asfaltových směsí a homogenizátoru při položení asfaltového betonu s 50-70 % R-materiálu. VUT Brno.
- [21] Mapa – obalovna Froněk – Nové Strašecí [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/dir/50.0696152,13.6809305/271+01+Nov%C3%A9+Stra%C5%A1ec%C3%AD/@50.1331475,13.7317944,21.783m/data=!3m1!1e3!4m9!4m8!1m0!1m5!1m1!1s0x470a4ac8e6af4c8b:0x28ce20abe3ad9f41!2m2!1d13.9004377!2d50.1527227!3e0>

10 Seznam obrázků

- Obrázek 1 - Obalovna Froněk – oddělený sklad kameniva
- Obrázek 2 – Visko-elastické chování asfaltu v závislosti na teplotě [1]
- Obrázek 3 - Obor zrnitosti asfaltové směsi ACO 11+ [1]
- Obrázek 4 - Obor zrnitosti asfaltové směsi PA 11 [1]
- Obrázek 5 - Marshallova zkouška – lis a zkušební těleso [6]
- Obrázek 6 - Typy porušení při zkoušce pevnosti v příčném tahu [8]
- Obrázek 7 - Šaržová obalovna [1]
- Obrázek 8 - Kontinuální obalovna [1]
- Obrázek 9 - Obalovna Froněk – Zásobníky na asfaltovou směs
- Obrázek 10 - Zásobník na asfaltové pojivo [13]
- Obrázek 11 - Nákladní vozidla určená k přepravě asfaltové směsi; stavební firma Froněk [15]
- Obrázek 12 - Průběh ochlazování směsi v závislosti na době jízdy [14]
- Obrázek 13 - Technologie push-off [16]
- Obrázek 14 - Speciálně izolované nákladní vozidlo s krytem od firmy Fliegl Baukom [17]
- Obrázek 15 - Firma Froněk – hutnicí a dokončovací práce
- Obrázek 16 - Nákladní automobil s dodatečně zatepleným návěsem Schwarzmüller společností Servis jeřábů, a.s.
- Obrázek 17 - Trasa Obalovna Froněk – stavba Štichovice [18]
- Obrázek 18 - Místo stavby – obec Štichovice [19]
- Obrázek 19 - Rozmístění teplotních čidel v korbě nákladního vozu [20]
- Obrázek 20 - Doprava asfaltové směsi Obalovna Froněk – Nové Strašecí [21]
- Obrázek 21 - Upevněný zkušební vzorek

11 Seznam grafů

- Graf 1 - Grafické znázornění výsledků objemové hmotnosti zkušebních těles
- Graf 2 - Objemová hmotnost v závislosti na výrobní teplotě
- Graf 3 - Mezerovitost v závislosti na výrobní teplotě
- Graf 4 - Grafické vyjádření výsledků modulů tuhosti v závislosti na výrobní teplotě
- Graf 5 - Stabilita zkušebních těles
- Graf 6 - – Grafické znázornění pevností jednotlivých vzorků

12 Seznam tabulek

- Tabulka 1 - Mezní výrobní teploty [12]
- Tabulka 2 - Minimální teploty vzduchu [12]
- Tabulka 3 - Teplota asfaltové směsi při pokládce v závislosti na tloušťce konstrukční vrstvy [14]
- Tabulka 4 - Změřené teploty asfaltové směsi v průběhu dopravy a pokládky
- Tabulka 5 - Měření teplot směsi za pomoci čidel v korbě nákladního automobilu
- Tabulka 6 - Naměřené teploty – stavba Nové Strašecí
- Tabulka 7 - Teploty naměřené čidly v návěsu nákladního automobilu
- Tabulka 8 - Naměřené teploty bez použití homogenizéru [20]
- Tabulka 9 - Naměřené teploty s použitím homogenizéru [20]
- Tabulka 10 - Objemová hmotnost zkušebních těles A-H
- Tabulka 11 - Objemová hmotnost zkušebních těles 1-8
- Tabulka 12 - Objemová hmotnost zkušebních těles I-VIII
- Tabulka 13 - Mezerovitost vzorků A-H
- Tabulka 14 - Mezerovitost vzorků 1-8
- Tabulka 15 - Mezerovitost vzorků I-VIII
- Tabulka 16 - Moduly tuhosti zkušebních těles při teplotách 0 °C a 15 °C
- Tabulka 17 - Moduly tuhosti zkušebních těles při teplotách 27 °C a 40 °C
- Tabulka 18 - Naměřené hodnoty – Marshallova zkouška
- Tabulka 19 - Výsledky zkoušky ITS

13 Seznam vzorců

- Vzorec 1 - Vzorec pro výpočet reálné složky E_1 [5]
- Vzorec 2 - Vzorec pro výpočet imaginární složky E_2 [5]
- Vzorec 3 - Vzorec pro výpočet komplexního modulu tuhosti [5]
- Vzorec 4 - Vzorec pro výpočet fázového úhlu [5]
- Vzorec 5 - Vzorec pro výpočet korekčního faktoru [7]
- Vzorec 6 - Vzorec pro výpočet stability směsi [7]
- Vzorec 7 - Vzorec pro výpočet pevnosti v příčném tahu [8]
- Vzorec 8 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti vody při konkrétní teplotě [9]
- Vzorec 9 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti volumetrickým postupem [9]
- Vzorec 10 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti hydrostatickým postupem [9]

Vzorec 11 - Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti matematickým postupem [9]

Vzorec 12 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti vody při konkrétní teplotě [10]

Vzorec 13 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti – suché zkušební těleso [10]

Vzorec 14 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti – nasycený suchý povrch zkušební tělesa [10]

Vzorec 15 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti – utěsněné zkušební těleso [10]

Vzorec 16 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti u zkušební vzorku tvaru válce [10]

Vzorec 17 - Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti u zkušební vzorku pravoúhlého tvaru [10]

Vzorec 18 - Vzorec pro výpočet mezerovitosti [11]

14 Přílohy

14.1 Seznam příloh

Příloha 1 - Rozměry vzorků 1-8

Příloha 2 - Rozměry vzorků A-H

Příloha 3 - Rozměry vzorků I-VIII

Příloha 4 - Moduly tuhosti v závislosti na teplotě 1-8

Příloha 5 - Zprůměrované moduly tuhosti v závislosti na teplotě 1-8

Příloha 6 - Moduly tuhosti v závislosti na teplotě A-H

Příloha 7 - Zprůměrované moduly tuhosti v závislosti na teplotě A-H

Příloha 8 - Moduly tuhosti v závislosti na teplotě I-VIII

Příloha 9 - Zprůměrované moduly tuhosti v závislosti na teplotě I-VIII

Příloha 10 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 0 °C

Příloha 11 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 15 °C

Příloha 12 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 27 °C

Příloha 13 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 40 °C

Příloha 14 - Marshallova zkouška kompletní naměřené hodnoty

Rozměry vzorků							
1			5				
v	57,97	d	101,17	v	60,06	d	101,97
	58,58		100,76		59,73		102,07
	58,32		101,22		59,31		101,97
	58,72		101,33		59,64		101,91
v_{\emptyset}	58,40	d_{\emptyset}	101,12	v_{\emptyset}	59,69	d_{\emptyset}	101,98
2			6				
v	58,94	d	101,95	v	59,77	d	101,88
	58,72		101,89		59,66		101,92
	58,61		101,82		60,06		101,92
	59,22		101,05		60,06		101,97
v_{\emptyset}	58,87	d_{\emptyset}	101,68	v_{\emptyset}	59,89	d_{\emptyset}	101,92
3			7				
v	59,80	d	101,90	v	59,04	d	102,09
	59,22		102,20		59,27		102,01
	59,65		102,11		59,47		102,00
	59,64		101,94		59,04		102,01
v_{\emptyset}	59,58	d_{\emptyset}	102,04	v_{\emptyset}	59,21	d_{\emptyset}	102,03
4			8				
v	59,52	d	102,35	v	58,65	d	101,85
	59,81		102,50		59,37		102,02
	59,76		102,30		59,21		101,92
	59,86		102,51		58,83		102,00
v_{\emptyset}	59,74	d_{\emptyset}	102,42	v_{\emptyset}	59,02	d_{\emptyset}	101,95

Příloha 1 - Rozměry vzorků 1-8

Rozměry vzorků							
A				E			
v	60,92	d	101,99	v	58,84	d	102,09
	61,47		101,83		59,03		101,99
	61,46		101,77		58,55		101,92
	61,07		101,90		58,44		101,93
v_{\emptyset}	61,23	d_{\emptyset}	101,87	v_{\emptyset}	58,72	d_{\emptyset}	101,98
B				F			
v	58,54	d	101,95	v	58,77	d	103,59
	58,74		101,96		58,27		103,15
	58,45		102,00		58,21		103,59
	58,27		102,21		58,75		103,47
v_{\emptyset}	58,50	d_{\emptyset}	102,03	v_{\emptyset}	58,50	d_{\emptyset}	103,45
C				G			
v	59,72	d	101,86	v	59,30	d	101,77
	59,67		101,97		59,81		101,97
	59,35		101,93		59,27		101,87
	59,23		101,85		58,93		101,94
v_{\emptyset}	59,49	d_{\emptyset}	101,9	v_{\emptyset}	59,33	d_{\emptyset}	101,89
D				H			
v	59,47	d	102,35	v	59,65	d	101,64
	59,33		102,49		59,70		101,76
	58,64		102,29		59,67		101,77
	58,65		102,49		60,06		101,75
v_{\emptyset}	59,02	d_{\emptyset}	102,41	v_{\emptyset}	59,77	d_{\emptyset}	101,73

Příloha 2 - Rozměry vzorků A-H

Rozměry vzorků							
I			V				
v	59,64	d	102,13	v	59,15	d	102,35
	59,79		101,85		58,96		102,41
	60,90		102,00		58,59		103,47
	59,68		101,86		58,78		102,45
v_{\emptyset}	60,00	d_{\emptyset}	101,96	v_{\emptyset}	58,87	d_{\emptyset}	102,67
II			VI				
v	58,60	d	103,23	v	60,76	d	101,96
	58,00		103,33		59,91		102,09
	57,57		103,32		59,87		101,99
	57,39		103,21		60,39		101,94
v_{\emptyset}	57,89	d_{\emptyset}	103,27	v_{\emptyset}	60,23	d_{\emptyset}	102
III			VII				
v	61,94	d	101,86	v	59,62	d	102,55
	60,97		101,98		59,58		102,50
	61,20		101,91		59,08		102,58
	61,45		101,88		59,00		102,55
v_{\emptyset}	61,39	d_{\emptyset}	101,91	v_{\emptyset}	59,32	d_{\emptyset}	102,55
IV			VIII				
v	58,57	d	101,75	v	59,70	d	102,27
	57,97		101,93		59,24		102,31
	58,05		101,87		59,59		102,32
	58,33		101,84		59,83		102,31
v_{\emptyset}	58,23	d_{\emptyset}	101,85	v_{\emptyset}	59,59	d_{\emptyset}	102,3

Příloha 3 - Rozměry vzorků I-VIII

Modul tuhosti v závislosti na teplotě					
Rozměry zkušebních vzorků		Zkušební teploty			
		E při 0 °C	E při 15 °C	E při 27 °C	E při 40 °C
1	v = 58,40 mm	16247	7353	-	-
	d = 101,12 mm	15963	7529	-	-
2	v = 58,87 mm	-	-	2747	1250
	d = 101,68 mm	-	-	2919	1205
3	v = 59,58 mm	17287	8412	-	-
	d = 102,04 mm	17003	8186	-	-
4	v = 59,74 mm	17472	8184	-	-
	d = 102,42 mm	17695	8496	-	-
5	v = 59,69 mm	16973	8703	-	-
	d = 101,98 mm	15983	8302	-	-
6	v = 59,89 mm	-	-	3983	1454
	d = 101,92 mm	-	-	3349	1295
7	v = 59,21 mm	-	-	3816	1747
	d = 102,03 mm	-	-	3636	1479
8	v = 59,02 mm	-	-	4411	1697
	d = 101,95 mm	-	-	4243	1445

Příloha 4 - Moduly tuhosti v závislosti na teplotě 1-8

Modul tuhosti v závislosti na teplotě					
Rozměry zkušebních vzorků		Zkušební teploty			
		E při 0 °C	E při 15 °C	E při 27 °C	E při 40 °C
1	v = 58,40 mm	16105	7441	-	-
	d = 101,12 mm				
2	v = 58,87 mm	-	-	2833	1227,5
	d = 101,68 mm				
3	v = 59,58 mm	17145	8299	-	-
	d = 102,04 mm				
4	v = 59,74 mm	17583,5	8340	-	-
	d = 102,42 mm				
5	v = 59,69 mm	16478	8502,5	-	-
	d = 101,98 mm				
6	v = 59,89 mm	-	-	3666	1374,5
	d = 101,92 mm				
7	v = 59,21 mm	-	-	3726	1613
	d = 102,03 mm				
8	v = 59,02 mm	-	-	4327	1571
	d = 101,95 mm				

Příloha 5 - Zprůměrované moduly tuhosti v závislosti na teplotě 1-8

Modul tuhosti v závislosti na teplotě					
Rozměry zkušebních vzorků		Zkušební teploty			
		E při 0 °C	E při 15 °C	E při 27 °C	E při 40 °C
A	v = 61,23 mm	15568	9684	-	-
	d = 101,87 mm	16276	9192	-	-
B	v = 58,50 mm	17105	10032	-	-
	d = 102,03 mm	17273	9769	-	-
C	v = 59,49 mm	15437	9471	-	-
	d = 101,9 mm	16794	9838	-	-
D	v = 59,02 mm	-	-	4796	2166
	d = 102,41 mm	-	-	4749	2071
E	v = 58,72 mm	-	-	4569	1755
	d = 101,98 mm	-	-	4883	1621
F	v = 58,50 mm	-	-	4769	2021
	d = 103,45 mm	-	-	4712	1948
G	v = 59,33 mm	17187	9471	-	-
	d = 101,89 mm	18164	9348	-	-
H	v = 59,77 mm	-	-	4702	1576
	d = 101,73 mm	-	-	4596	1556

Příloha 6 - Moduly tuhosti v závislosti na teplotě A-H

Modul tuhosti v závislosti na teplotě					
Rozměry zkušebních vzorků		Zkušební teploty			
		E při 0 °C	E při 15 °C	E při 27 °C	E při 40 °C
A	v = 61,23 mm	15922	9438	-	-
	d = 101,87 mm				
B	v = 58,50 mm	17189	9900,5	-	-
	d = 102,03 mm				
C	v = 59,493 mm	16115,5	9654,5	-	-
	d = 101,90 mm				
D	v = 59,02 mm	-	-	4772,5	2118,5
	d = 102,41 mm				
E	v = 58,72 mm	-	-	4726	1688
	d = 101,98 mm				
F	v = 58,5 mm	-	-	4740,5	1984,5
	d = 103,45 mm				
G	v = 59,33 mm	17675,5	9409,5	-	-
	d = 101,89 mm				
H	v = 59,77 mm	-	-	4649	1566
	d = 101,73 mm				

Příloha 7 - Zprůměrované moduly tuhosti v závislosti na teplotě A-H

Modul tuhosti v závislosti na teplotě					
Rozměry zkušebních vzorků		Zkušební teploty			
		E při 0 °C	E při 15 °C	E při 27 °C	E při 40 °C
I	v = 60,00 mm	16344	9848	-	-
	d = 101,96 mm	15431	9930	-	-
II	v = 57,89 mm	-	-	5012	2115
	d = 103,27 mm	-	-	4537	1989
III	v = 61,39 mm	-	-	4321	1685
	d = 101,91 mm	-	-	3954	1595
IV	v = 58,23 mm	16332	10687	-	-
	d = 101,85 mm	17605	10463	-	-
V	v = 58,87 mm	15089	9560	-	-
	d = 102,67 mm	16011	10221	-	-
VI	v = 60,23 mm	-	-	4594	1714
	d = 102 mm	-	-	4476	1847
VII	v = 59,32 mm	-	-	4443	1556
	d = 102,55 mm	-	-	4411	1714
VIII	v = 59,59 mm	15348	10729	-	-
	d = 102,3 mm	15385	11541	-	-

Příloha 8 - Moduly tuhosti v závislosti na teplotě I-VIII

Modul tuhosti v závislosti na teplotě						
Rozměry zkušebních vzorků			Zkušební teploty			
			E při 0 °C	E při 15 °C	E při 27 °C	E při 40 °C
I	v =	60,00 mm	15887,5	9889	-	-
	d =	101,96 mm				
II	v =	57,89 mm	-	-	4774,5	2052
	d =	103,27 mm				
III	v =	61,39 mm	-	-	4137,5	1640
	d =	101,91 mm				
IV	v =	58,23 mm	16968,5	10575	-	-
	d =	101,85 mm				
V	v =	58,87 mm	15550	9890,5	-	-
	d =	102,67 mm				
VI	v =	60,233 mm	-	-	4535	1780,5
	d =	102,00 mm				
VII	v =	59,32 mm	-	-	4427	1635
	d =	102,55 mm				
VIII	v =	59,59 mm	15366,5	11135	-	-
	d =	102,30 mm				

Příloha 9 - Zprůměrované moduly tuhosti v závislosti na teplotě I-VIII

Číslo vzorku	Výška vzorku		Průměr vzorku	Zkušební teplota	Poissonovo číslo	Vertikální síla		Horizontální tlak		Horizontální deformace	Naměřený modul tuhosti		Výsledný modul tuhosti
	v =	d =				F =	p =	F =	p =		E =	E =	
1	v = 58,40	d = 101,12	mm	t = 0	v = 0,25	5,4 kN	579,9 kPa	3,0 μm	16109 Mpa	16247 Mpa			
						5,4 kN	578,7 kPa	3,0 μm	15862 Mpa	15963 Mpa			
3	v = 59,58	d = 102,04	mm	t = 0	v = 0,25	5,8 kN	615,7 kPa	3,0 μm	17142 Mpa	17287 Mpa			
						5,8 kN	611,7 kPa	3,0 μm	16902 Mpa	17003 Mpa			
4	v = 59,74	d = 102,42	mm	t = 0	v = 0,25	6,0 kN	623,7 kPa	3,0 μm	17370 Mpa	17472 Mpa			
						6,0 kN	629,9 kPa	3,0 μm	17584 Mpa	17695 Mpa			
5	v = 59,69	d = 101,98	mm	t = 0	v = 0,25	5,2 kN	546,3 kPa	3,0 μm	16871 Mpa	16973 Mpa			
						6,8 kN	696,1 kPa	3,0 μm	15900 Mpa	15983 Mpa			
A	v = 61,23	d = 101,87	mm	t = 0	v = 0,25	5,5 kN	587,3 kPa	3,0 μm	15485 Mpa	15568 Mpa			
						5,8 kN	607,6 kPa	3,0 μm	16225 Mpa	16276 Mpa			
B	v = 58,50	d = 102,03	mm	t = 0	v = 0,25	5,7 kN	607,6 kPa	3,0 μm	17038 Mpa	17105 Mpa			
						5,8 kN	613,6 kPa	3,0 μm	17225 Mpa	17273 Mpa			
C	v = 59,49	d = 101,9	mm	t = 0	v = 0,25	5,3 kN	552,1 kPa	3,0 μm	15383 Mpa	15437 Mpa			
						5,6 kN	588,7 kPa	3,0 μm	16735 Mpa	16797 Mpa			
G	v = 59,33	d = 101,89	mm	t = 0	v = 0,25	5,9 kN	618,9 kPa	3,0 μm	17112 Mpa	17187 Mpa			
						6,2 kN	652,3 kPa	3,0 μm	18117 Mpa	18164 Mpa			
I	v = 60,00	d = 101,96	mm	t = 0	v = 0,25	5,5 kN	573,9 kPa	2,9 μm	16278 Mpa	16344 Mpa			
						5,3 kN	550,4 kPa	3,0 μm	15385 Mpa	15431 Mpa			
IV	v = 58,23	d = 101,85	mm	t = 0	v = 0,25	5,5 kN	585,9 kPa	3,0 μm	16286 Mpa	16332 Mpa			
						5,9 kN	630,2 kPa	3,0 μm	17522 Mpa	17605 Mpa			
V	v = 58,87	d = 102,67	mm	t = 0	v = 0,25	5,0 kN	529,0 kPa	3,0 μm	15012 Mpa	15089 Mpa			
						5,4 kN	567,7 kPa	3,0 μm	15956 Mpa	16011 Mpa			
VIII	v = 59,59	d = 102,3	mm	t = 0	v = 0,25	5,2 kN	543,9 kPa	3,0 μm	15300 Mpa	15348 Mpa			
						5,3 kN	553,1 kPa	3,0 μm	15340 Mpa	15385 Mpa			

Příloha 10 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 0 °C

Číslo vzorku	Výška vzorku	Průměr vzorku	Zkušební teplota	Poissonovo číslo	Vertikální síla	Horizontální tlak	Horizontální deformace	Naměřený modul tuhosti	Výsledný modul tuhosti
1	v = 58,40	d = 101,12	t = 15 °C	v = 0,31	F = 3,7 kN	p = 396,1 kPa	u = 5,0 μm	E = 7297 Mpa	E = 7353 Mpa
					F = 3,8 kN	p = 404,6 kPa	u = 5,0 μm	E = 7491 Mpa	E = 7529 Mpa
3	v = 59,58	d = 102,04	t = 15 °C	v = 0,31	F = 4,2 kN	p = 451,2 kPa	u = 5,0 μm	E = 8366 Mpa	E = 8412 Mpa
					F = 4,1 kN	p = 439,7 kPa	u = 5,0 μm	E = 8145 Mpa	E = 8186 Mpa
4	v = 59,74	d = 102,42	t = 15 °C	v = 0,31	F = 4,2 kN	p = 437,1 kPa	u = 5,0 μm	E = 8141 Mpa	E = 8184 Mpa
					F = 4,3 kN	p = 451,1 kPa	u = 5,0 μm	E = 8455 Mpa	E = 8496 Mpa
5	v = 59,69	d = 101,98	t = 15 °C	v = 0,31	F = 4,2 kN	p = 460,2 kPa	u = 4,9 μm	E = 8664 Mpa	E = 8703 Mpa
					F = 4,1 kN	p = 446,5 kPa	u = 5,0 μm	E = 8264 Mpa	E = 8302 Mpa
A	v = 61,23	d = 101,87	t = 15 °C	v = 0,31	F = 5,1 kN	p = 517,6 kPa	u = 5,0 μm	E = 9630 Mpa	E = 9684 Mpa
					F = 4,8 kN	p = 491,7 kPa	u = 5,0 μm	E = 9156 Mpa	E = 9192 Mpa
B	v = 58,50	d = 102,03	t = 15 °C	v = 0,31	F = 5,1 kN	p = 539,1 kPa	u = 5,0 μm	E = 9989 Mpa	E = 10032 Mpa
					F = 4,9 kN	p = 522,3 kPa	u = 5,0 μm	E = 9723 Mpa	E = 9769 Mpa
C	v = 59,49	d = 101,9	t = 15 °C	v = 0,31	F = 4,9 kN	p = 512,4 kPa	u = 5,0 μm	E = 9438 Mpa	E = 9471 Mpa
					F = 5 kN	p = 523,8 kPa	u = 5,0 μm	E = 9784 Mpa	E = 9838 Mpa
G	v = 59,33	d = 101,89	t = 15 °C	v = 0,31	F = 4,8 kN	p = 506,3 kPa	u = 5,0 μm	E = 9429 Mpa	E = 9471 Mpa
					F = 4,8 kN	p = 504,3 kPa	u = 5,0 μm	E = 9305 Mpa	E = 9348 Mpa
I	v = 60,00	d = 101,96	t = 15 °C	v = 0,31	F = 5,1 kN	p = 527,2 kPa	u = 5,0 μm	E = 9800 Mpa	E = 9848 Mpa
					F = 5,1 kN	p = 531,3 kPa	u = 5,0 μm	E = 9900 Mpa	E = 9930 Mpa
IV	v = 58,23	d = 101,85	t = 15 °C	v = 0,31	F = 5,3 kN	p = 573,1 kPa	u = 5,0 μm	E = 10630 Mpa	E = 10687 Mpa
					F = 5,3 kN	p = 569,4 kPa	u = 5,1 μm	E = 10426 Mpa	E = 10463 Mpa
V	v = 58,87	d = 102,67	t = 15 °C	v = 0,31	F = 4,8 kN	p = 507,2 kPa	u = 5,0 μm	E = 9475 Mpa	E = 9560 Mpa
					F = 5,1 kN	p = 540,8 kPa	u = 5,0 μm	E = 10158 Mpa	E = 10221 Mpa
VIII	v = 59,59	d = 102,3	t = 15 °C	v = 0,31	F = 5,5 kN	p = 570,0 kPa	u = 5,0 μm	E = 10689 Mpa	E = 10729 Mpa
					F = 5,9 kN	p = 614,8 kPa	u = 5,0 μm	E = 11503 Mpa	E = 11541 Mpa

Příloha 11 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 15 °C

Číslo vzorku	Výška vzorku		Průměr vzorku	Zkušební teplota	Poissonovo číslo	Vertikální síla	Horizontální tlak		Horizontální deformace	Naměřený modul tuhosti		Výsledný modul tuhosti
	v	d					p	μ		F	E	
2	v = 58,87	d = 101,68	mm	t = 27	v = 0,38	F = 1,3 kN	p = 133,4 kPa	μ = 5,1	E = 2728 Mpa	E = 2747 Mpa	E = 2747 Mpa	
												t = 27
6	v = 59,89	d = 101,92	mm	t = 27	v = 0,38	F = 1,8 kN	p = 192,3 kPa	μ = 5,0	E = 3988 Mpa	E = 3983 Mpa	E = 3983 Mpa	
												t = 27
7	v = 59,21	d = 102,03	mm	t = 27	v = 0,38	F = 1,8 kN	p = 185,6 kPa	μ = 5,1	E = 3828 Mpa	E = 3816 Mpa	E = 3816 Mpa	
												t = 27
8	v = 59,02	d = 101,95	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,0 kN	p = 212,7 kPa	μ = 5,0	E = 4411 Mpa	E = 4411 Mpa	E = 4411 Mpa	
												t = 27
D	v = 59,02	d = 102,41	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,2 kN	p = 232,4 kPa	μ = 5,1	E = 4805 Mpa	E = 4796 Mpa	E = 4796 Mpa	
												t = 27
E	v = 58,72	d = 101,98	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,1 kN	p = 222,4 kPa	μ = 5,0	E = 4889 Mpa	E = 4883 Mpa	E = 4883 Mpa	
												t = 27
F	v = 58,50	d = 103,45	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,1 kN	p = 225,4 kPa	μ = 5,1	E = 4773 Mpa	E = 4769 Mpa	E = 4769 Mpa	
												t = 27
H	v = 59,77	d = 101,73	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,2 kN	p = 226,2 kPa	μ = 5,0	E = 4696 Mpa	E = 4702 Mpa	E = 4702 Mpa	
												t = 27
II	v = 57,89	d = 103,27	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,2 kN	p = 238,2 kPa	μ = 5,0	E = 5011 Mpa	E = 5012 Mpa	E = 5012 Mpa	
												t = 27
III	v = 61,39	d = 101,91	mm	t = 27	v = 0,38	F = 1,9 kN	p = 194,8 kPa	μ = 4,7	E = 4312 Mpa	E = 4321 Mpa	E = 4321 Mpa	
												t = 27
VI	v = 60,23	d = 102,00	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,1 kN	p = 221,6 kPa	μ = 5,0	E = 4596 Mpa	E = 4594 Mpa	E = 4594 Mpa	
												t = 27
VII	v = 59,32	d = 102,55	mm	t = 27	v = 0,38	F = 2,0 kN	p = 214,1 kPa	μ = 5,0	E = 4443 Mpa	E = 4443 Mpa	E = 4443 Mpa	
												t = 27

Příloha 12 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 27 °C

Číslo vzorku	Výška vzorku		Průměr vzorku	Zkušební teplota	Poissonovo číslo	Vertikální síla		Horizontální tlak		Horizontální deformace	Naměřený modul tuhosti		Výsledný modul tuhosti
	v	d				F	p	F	p		E	E	
2	v = 58,87	d = 101,68	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,5 kN	p = 54,9 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1238 Mpa	E = 1250 Mpa			
						F = 0,5 kN	p = 53,4 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1202 Mpa	E = 1205 Mpa			
6	v = 59,89	d = 101,92	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,6 kN	p = 63,7 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1451 Mpa	E = 1454 Mpa			
						F = 0,5 kN	p = 56,8 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1294 Mpa	E = 1295 Mpa			
7	v = 59,21	d = 101,95	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,8 kN	p = 80,5 kPa	μ = 5,3 μm	E = 1751 Mpa	E = 1747 Mpa			
						F = 0,6 kN	p = 63,5 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1477 Mpa	E = 1479 Mpa			
8	v = 59,02	d = 101,95	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,7 kN	p = 78,7 kPa	μ = 5,3 μm	E = 1698 Mpa	E = 1697 Mpa			
						F = 0,6 kN	p = 63,3 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1442 Mpa	E = 1445 Mpa			
D	v = 59,02	d = 102,41	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,9 kN	p = 95,8 kPa	μ = 5,1 μm	E = 2174 Mpa	E = 2166 Mpa			
						F = 0,9 kN	p = 89,9 kPa	μ = 5,0 μm	E = 2072 Mpa	E = 2071 Mpa			
E	v = 58,72	d = 101,98	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,7 kN	p = 77,2 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1754 Mpa	E = 1755 Mpa			
						F = 0,6 kN	p = 68,6 kPa	μ = 4,9 μm	E = 1610 Mpa	E = 1621 Mpa			
F	v = 58,50	d = 103,45	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,8 kN	p = 88,1 kPa	μ = 5,1 μm	E = 2025 Mpa	E = 2021 Mpa			
						F = 0,8 kN	p = 84,2 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1953 Mpa	E = 1948 Mpa			
H	v = 59,77	d = 101,73	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,6 kN	p = 66,2 kPa	μ = 4,8 μm	E = 1572 Mpa	E = 1576 Mpa			
						F = 0,7 kN	p = 68,3 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1553 Mpa	E = 1556 Mpa			
II	v = 57,89	d = 103,27	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,9 kN	p = 91,0 kPa	μ = 5,0 μm	E = 2115 Mpa	E = 2115 Mpa			
						F = 0,8 kN	p = 85,7 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1990 Mpa	E = 1989 Mpa			
III	v = 61,39	d = 101,91	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,7 kN	p = 73,0 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1683 Mpa	E = 1685 Mpa			
						F = 0,7 kN	p = 69,5 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1591 Mpa	E = 1596 Mpa			
VI	v = 60,23	d = 102	mm	t = 40 °C	v = 0,45	F = 0,7 kN	p = 75,8 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1734 Mpa	E = 1714 Mpa			
						F = 0,8 kN	p = 80,0 kPa	μ = 5,0 μm	E = 1848 Mpa	E = 1847 Mpa			
VII	v = 59,32	d = 102,55	mm	t = 40 °C	v = 0,45,	F = 0,6 kN	p = 68,0 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1561 Mpa	E = 1556 Mpa			
						F = 0,7 kN	p = 75,7 kPa	μ = 5,1 μm	E = 1721 Mpa	E = 1714 Mpa			

Příloha 13 - Podrobné záznamy z měření modulu tuhosti při 40 °C

Vzorek	Stabilita podle Marshalla [kN]	Přetvoření podle Marshalla [mm]	∅ stabilita [kN]	∅ přetvoření [mm]	odchylka stability [%]	odchylka přetvoření [%]
1	14	3,2	14,175	3,1	-1,2	3,2
2	14,2	3			0,2	-3,2
3	14	3,4			-1,2	9,7
4	14,5	2,8			2,3	-9,7
A	11,8	4,3	14,675	3,4	-19,6	26,5
B	15	2,8			2,2	-17,6
C	15,2	3,2			3,6	-5,9
D	16,7	3,3			13,8	-2,9
I	15,5	2,7	16,075	2,975	-3,6	-9,2
II	16,8	2,6			4,5	-12,6
III	15,6	3,7			-3,0	24,4
IV	16,4	2,9			2,0	-2,5

Příloha 14 - Marshallova zkouška kompletní naměřené hodnoty