VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VLIV PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES A ZABUDOVÁNÍ GEOMŘÍŽE NA NÍZKOTEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY ASFALTOVÉ SMĚSI

THE INFLUENCE OF TEST SPECIMENS PREPARATION AND INSTALING OF GRID ON LOW TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF BITUMINOUS MIXTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE JAN SKLENÁŘ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.
SUPERVISOR

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Sklenář
Název	Vliv přípravy zkušebních těles a zabudování geomříže na nízkoteplotní charakteristiky asfaltové směsi
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ fakulta stavební DĚKANÁT -1-

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem
O. Dašek: Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí, Diplomová práce, 2006

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Nahutnění tří desek z asfaltové směsi s CRmB odebrané na obalovně – první deska tloušťky 50 mm, druhá deska tloušťky 60 mm (se zabroušením) a třetí deska s vložením geomříže. Určení nízkoteplotních charakteristik těles vyrobených z jednotlivých desek a jejich srovnání.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

ABSTRAKT:

Bakalářská práce byla věnována zkoumání chování asfaltové směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem za nízkých teplot. Práce je rozdělena na praktickou a teoretickou část. Praktická část pojednává o výrobě zkušebních těles a provedení zkoušky pro zjištění nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným řízeným poklesem teploty dle ČSN EN 12697-46. Teoretická část byla věnována rešerši literatury, popisu postupu výroby a analýze naměřených hodnot. Byly vyrobeny tři druhy těles z jedné směsi.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, Nízkoteplotní charakteristiky, mrazové trhliny, geomříž,

ABSTRACT:

This thesis was focused on studying of asphalt mixture behaviour with Crumb Rubber modified Bitumen at low temperatures. The work is divided into practical and theoretical part. The practical part is focused on manufacturing of test specimens and using of thermal stress restrained specimen test according to ČSN EN 12697-46. The literature review, description of the specimens manufacturing process and analysis of the measured values are introduced in the theoretical part of the work. Three kinds of test specimens were manufactured from one asphalt mixture.

KEY WORDS:

Crumb rubber modified bitumen, low-temperature characteristics, frost cracks, geogrid

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Jan Sklenář *Vliv přípravy zkušebních těles a zabudování geomříže na nízkoteplotní charakteristiky asfaltové směsi.* Brno, 2014. 51 s., 11 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně dle pokynů vedoucího bakalářské práce. Všechny podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

V Brně dne

……
Jan Sklenář

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování prof. Ing. Janu Kudrnovi CSc., Ing. Ondřeji Daškovi, Pavlu Strakovi, dále pak všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST za pomoc při zpracovávání této bakalářské práce.

OBSAH

1 ÚVOD 9

1.1 CÍLE PRÁCE 9

2 REŠERŠE LITERATURY 10

2.1 ASFALT MODIFIKOVANÝ PRYŽOVÝM GRANULÁTEM 10

2.1.1 Historie použití asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem 10

2.1.2 Výhody a nevýhody CRmB a směsí CRmB 11

2.1.3 Směsi vyrobené z „gumoasfaltu“ [1] 11

2.2 PRYŽOVÝ GRANULÁT 12

2.2.1 Funkce a výroba gumoasfaltu 13

2.3 MŘÍŽOVINY 15

3 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY 17

3.1 VÝROBA SMĚSI 17

3.2 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH DESEK 17

3.2.1 Lamelový zhutňovač 18

3.2.2 Parametry vyrobených desek 20

3.3 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES 21

3.3.1 Nařezání zkušebních těles 21

3.3.2 Broušení zkušebních těles 22

3.3.3 Lepení zkušebních těles do zkušebních podložek 24

3.4 MĚŘENÍ NÍZKOTEPLOTNÍCH VLASTNOSTÍ 25

4 POUŽITÉ MATERIÁLY 28

4.1 POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU 28

4.1.1 Pojivo 28

4.1.2 Kamenivo 29

4.2 KONTROLNÍ ZKOUŠKA 32

4.2.1 Stanovení zrnitosti 32

4.2.2 Stanovení obsahu rozpustného pojiva 35

4.2.3 Stanovení maximální objemové hmotnosti 35

4.2.4 Stanovení objemové hmotnosti zkušebího tělesa 37

4.3 VLASTNOSTI MŘÍŽOVINY [16] 38

5 VÝSLEDKY ZKOUŠEK 39

5.1 OZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES 39

5.2 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT 39

6 ZÁVĚR 43
POUŽITÁ LITERATURA 45
SEZNAM TABULEK 46
SEZNAM OBRÁZKŮ 47
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 48
SEZNAM PŘÍLOH 51
PŘÍLOHA A 52

1 ÚVOD

Se zvyšující se intenzitou dopravy a automobilizací se zvyšují nároky na kvalitu vozovek, jak při jejich výrobě a užívání, tak při jejich následné údržbě. Dnešní konzumní společnost vytváří spoustu odpadního materiálu s různou možností využití a schopností se organicky rozložit. Recyklace, tedy znovu použití odpadů ať už ve stejných nebo dalších odvětví, je způsob moderního řešení odpadové politiky. Tímto způsobem dochází k ulehčení problémů se skladováním odpadu, jeho odstraněním a v neposlední řadě zatížením na životní prostředí. Za posledních 20 let se dvojnásobně zvětšil počet automobilů v České republice, tudíž se zvětšila i spotřeba pneumatik. Z nařízení Evropské unie je jasně naznačen trend recyklování, jelikož od roku 2006 se nesmí staré pneumatiky používat do zavážek a od roku 2010 ani při spalování v cementárnách. Rokem 2014 už odpad z ojetých pneumatik překročil cca 60 tisíc tun za rok [17]. Oproti ostatním zemím Evropské unie je recyklace ojetých pneumatik v České republice ještě na začátku cesty.

V silničním stavitelství se recyklace ojetých pneumatik v rozemleté formě tzv. pryžového granulátu, který je přimícháván do asfaltové směsi, zdá být správnou cestou na řešení otázky: „Co s ojetými pneumatikami?“.

1.1 CÍLE PRÁCE

V rámci bakalářské práce bude provedena rešerše odborné literatury týkající se technologie asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem a technologie výztužných geomříží. Cílem bakalářské práce je zjištění vlivu přípravy zkušebních těles a vlivu použití výztužné geomříže na nízkoteplotní charakteristiky asfaltové směsi typu asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM 5 A), která je stmelena asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem. Budou vyrobena zkušební tělesa tvaru trámce, která budou mít zabroušené všechny strany a zkušební tělesa, která budou mít dvě protilehlé podstavy nezabroušeny. Dále bude doprostřed asfaltové desky zahutněna výztužná geomříž a z této desky budou nařezány zkušební trámce. Výsledkem práce bude srovnání nízkoteplotních vlastností jednotlivých zkušebních těles.

Zároveň v této práci bude zahrnuta praktická zkušenost při výrobě zkušebních těles a jejich instalace do přístroje CYKLON -40 pro vyhotovení zkoušky nízkoteplotních vlastností směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem.

Budou vyrobeny tři zkušební desky a z každé 5 zkušebních těles:

- Deska tl. 50 mm, rozřezána na zkušební tělesa, dále neopracována
- Deska tl. 60 mm, rozřezána na zkušební tělesa, zabroušena
- Deska tl. 60 mm s instalovanou geomříží, rozřezána na zkušební tělesa a zabroušena

2 REŠERŠE LITERATURY

2.1 ASFALT MODIFIKOVANÝ PRYŽOVÝM GRANULÁTEM

„Gumoasfalt“ je lidové, široce užívané označení pro asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. (Označuje se zkratkou CRmB). Je to asfaltové pojivo složené ze silničního asfaltu, pryžového granulátu a eventuálně dalších přísad a vyrábí se ve speciálním míchacím zařízení. Toto pojivo je ve srovnání s ostatními pružnější, má delší životnost a vyšší odolnost vůči nízkým i vysokým teplotám [1].

2.1.1 Historie použití asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem

Technologii přídavku pryžového granulátu do asfaltu a asfaltových směsí převzala Evropa z USA, kde vznik silničních materiálů s přídavkem pryžového granulátu pro použití jako spojovací nátěry, vysprávky a membrány započal koncem třetího desetiletí 20. století [1].

Charles H. McDonald z Phoenixu v Arizoně, který se zabýval asfaltem a pryžovým materiálem, v letech 1960 až 1970 vyvíjel „mokrý proces“ (také nazývaný McDonaldův proces). Jako první běžně používal asfalt modifikovaný pryžovým granulátem k vysprávkám horkou směsí a k údržbě povrchu. Nátěrové technologie s pryžovým granulátem sloužily efektivně jako primární údržba vozovek v intravilánu pro hlavní silnice v některých státech USA po dalších 20 let, dokud si intenzity dopravy nevynutily změnu za tenké asfaltobetonové vrstvy. Směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem se zrnitostí kameniva typu „gap-graded“ (přerušená čára zrnitosti, vyšší mezerovitost směsi kameniva) byly vyvinuty jako úspěšná náhrada [1].

První vozovky z asfaltového betonu s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem vyrobené s prvotními verzemi mokrého procesu (pojivo a směs kameniva typu „dense graded“) byly budovány v roce 1980. Souběžně bylo na Floridě vyvinuto pojivo s nízkým obsahem pryžového granulátu a v roce 1988 American Society for Testing and Materials (ASTM) publikovala definici asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem (Asphalt-Rubber, continuous blend): „Směs asfaltového pojiva, recyklované pryže z pneumatik a případně jiných přísad, přičemž obsah pryže je minimálně 15 % z celkové hmotnosti pojiva; tento granulát dostatečně reaguje v horkém asfaltu kvůli nabobtnání pryžových částic“. Do roku 1990 byly ve 23 státech USA položeny zkušební úseky s použitím asfaltové směs s CRmB. V některých státech USA se běžně využívá technologie mokrého procesu s přípravou přímo na obalovně. Do roku 1992 byla většina procesů použitelných pro zpracování pryže v USA patentována nebo se na ně vztahovalo vlastnické právo. Po vypršení lhůty platnosti vlastnických práv se technologie začaly rychle rozvíjet a asfaltové směsi s CRmB (wet process, continuous blend) jsou nyní považovány za součást veřejného vlastnictví [1].

První použití pryžového granulátu v asfaltu se v ČR datuje do padesátých let 20. století, kdy se tento materiál používal v pojivech pro nátěry. V letech 1985 až 1987 došlo k realizacím směsí s pryžovým granulátem (asfaltový beton a litý asfalt), zálivek a pružných membrán mezi vrstvy vozovek. Směsi vycházely z vynálezu kolektivu pracovníků ČVUT a výroba pojiva probíhala při teplotách převyšujících 200 °C. K dalšímu uplatnění asfaltových směsí s přídavkem pryžového granulátu frakce 0/4 mm

dávkovaného přímo do míchačky obalovny došlo v letech 1998 až 2002 (technologie suchého procesu, Rubit®), ale některé úseky vykázaly nevyhovující životnost [1].

Od roku 2006 se začíná prosazovat technologie výroby asfaltové směsi s CRmB v míchacím zařízení na obalovně (wet process, continuous blend) a do popředí zájmu se rovněž dostává technologie výroby asfaltové směsi s CRmB v rafinerii (terminal blend). Společnost Total Česká republika spolupracuje na přípravě výrobního zařízení pro dávkování přísad do asfaltu. Na ČVUT probíhá v současné době výzkum vlastností asfaltu modikofaným pryžovým granulátem s nižším obsahem pryžového granulátu s různými druhy aditiv pro zlepšení vlastností pojiva, zvláště pak jeho skladovací stability. Skupina Shell vyvinula pojivo řady Mexphalte RM obsahující nižší obsah pryžového granulátu, které vykazuje mimo jiné výhodné laboratorní vlastnosti z hlediska skladovací stability. Společnost Paramo vyvíjí asfalt modikofaným pryžovým granulátem s nižším podílem pryžového granulátu, splňující podmínky skladovací stability hodnocené upraveným postupem. Společnost Eurovia (SSŽ) má s používáním pryžového granulátu do asfaltu zkušenosti od roku 1990 a vlastní světový patent na jednu z technologií využití pryžového granulátu do vozovek z roku 2004 [1].

2.1.2 Výhody a nevýhody CRmB a směsí CRmB

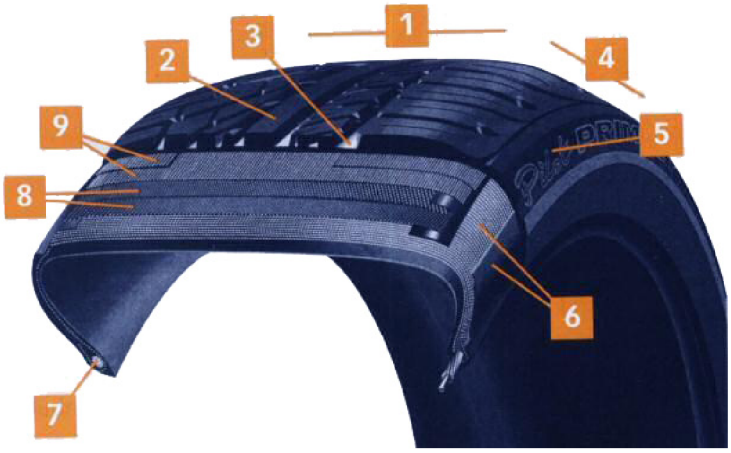
Výzkum kalifornského ministerstva dopravy zjistil, že CRmB vrstvy mohou mít podstatně sníženou tloušťku oproti běžným vrstvám z asfaltového betonu při zachování stejné životnosti. Důvodem je vyšší odolnost proti únavě, stárnutí, trvalým deformacím a trhlinám. Z hlediska dlouhodobého (za doposud používané období 30 let) jsou náklady na údržbu a opravy nižší a je rovněž možné opětovné využití CRmB vrstev (recyklace). Mezerovité typy směsí oproti obvyklým obrusným vrstvám znatelně snižují hladinu akustického tlaku hluku a zabraňují vytváření vodní clony za automobily při dešti. K nevýhodám patří vyšší pracnost a energetická a organizační náročnost. Pro zabudování pryžového granulátu do asfaltu je nezbytné použít přídavné míchací zařízení. CRmB a směsi s CRmB jsou více „lepivé“, o něco obtížněji zpracovatelné [5].

2.1.3 Směsi vyrobené z CRmB [1]

BBTM A5	CRmB beton pro velmi tenké vrstvy
BBTM B5	CRmB beton pro velmi tenké vrstvy
PA 8	CRmB koberec drenážní
BBTM A8	CRmB beton pro velmi tenké vrstvy
SMA 8 S	CRmB koberec mastixový
ACL 16	CRmB beton pro ložní vrstvy
SAL	CRmB se zvýšenou odolností proti šíření trhlin

2.2 PRYŽOVÝ GRANULÁT

Pryžový granulát lze získat mnohými metodami. Nejčastější metodou výroby je vícenásobné mechanické drcení za normální teploty.



Obrázek 1: Konstrukční vrstvy pneumatiky [2]

1. běhoun, 2. vzorek pozitvní, 3. Vzorek negativní, 4. Rameno pneumatiky,5. bočnice, 6. kostra pneumatiky a patka pláště, 7. patní lano, 8. PA nárazník a praporek

Při metodě mechanického drcení je pneumatika nejprve zbavena patních ocelových lan pomocí vytrhávače patních lan. Poté pneumatika prochází linkou přes vstupní hrubý drtič, který tvar pneumatiky narušuje soustavou nožů a případně mezidrtič, který dále zmenšuje frakci. Po hrubém nadrcení jsou magnetem odstraněny zbytky kovových částic. Na konci linky je vibrační třídič, který rozděluje granulát na jednotlivé frakce a větší kusy vrací zpět na opětovné zpracování. Na případné dočištění se používají fluidní čističky [3].

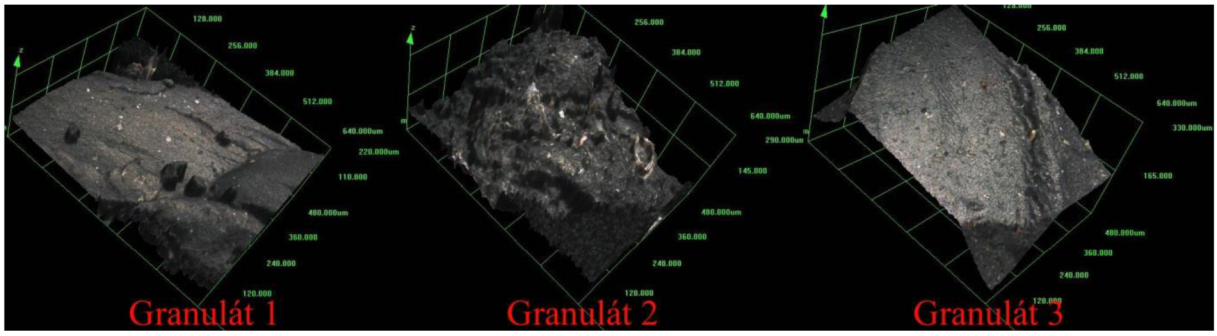
Další způsob výroby pryžového granulátu je metoda kryogenního drcení. Pneumatika je ochlazena tekutým dusíkem, čímž se dosáhne zkřehnutí pneumatiky tak, aby ji bylo možné rozmělnit sekacím strojem [3].

Výroba pryžového granulátu ozonovým rozkladem, která se do asfaltových směsí nepoužívá, prochází vysoce koncentrovanou ozonovou atmosférou, kde dojde k rozpadu na pryžovou drť a z pneumatiky zůstane jen kovová vrstva. Důležité je zajištění přesného dávkování ozonu na určitý objem pryže. Pro to je hodně důležité třídění pneumatik podle druhu a objemu [3].

Při výrobě lze nakonec linky ještě zařadit tzv. kalandr. To je zařízení obsahující dva hladké ocelové válce. Granulát prochází úzkou mezerou mezi těmito válci a vlastním průchodem zrn pryže jsou povrchy upraveny [3]

.

Na obrázku č. 2 jsou zachyceny povrchy zrn granulátu při 480 násobném zvětšení.



Obrázek 2: Trojrozměrné grafy povrchů zrn jednotlivých granulátů [3]

Granulát 1: Vyroben metodou vícenásobného mechanického mletí za běžné teploty.

Granulát 2: Vyroben stejnou metodou jako Granulát 1. Po namletí kalandrován.

Granulát 3: Vyroben metodou kryogenního drcení.

2.2.1 Funkce a výroba gumoasfaltu

Funkce pryžového granulátu z ojetých pneumatik je, že při přimíchání do asfaltu prudce vzroste dynamická viskozita pojiva. Dojde k „zahuštění“ asfaltu. Je to podobné jako při přidání fileru. Proces je závislý na teplotě, době trvání reakce, na intenzitě míchání částic granulátu s asfaltem, chemickém složení, způsobu výroby pryžového granulátu a na velikosti a tvaru částic pryže. Zrno pryžového granulátu s členitým povrchem nasaje, díky větší kontaktní (povrchové) ploše, rychleji a snadněji lehké frakce asfaltu, čímž dojde k prudšímu nárůstu viskozity pojiva a naopak zrna kubického tvaru s malou povrchovou plochou budou při kontaktu s horkým asfaltem reagovat pomaleji [3].

Existuje několik způsobů jak přimíchat pryžový granulát z ojetých pneumatik do asfaltových směsí.

Suchý proces (dry process, Rubit®) je technologie, která pochází ze Švédska. Pryžový granulát je přimícháván k asfaltu ve stejnou dobu jako kamenivo. Důležitá je homogenita směsi a tím pádem i delší doba míchání, jelikož musí proběhnout reakce nutné ke vzniku modifikovaného asfaltu. Je nutné aby směs zůstala minimálně jednu hodinu horká v zásobníku asfaltové směsi [3].

Mokrý proces (wet process, asfalt modifikovaný pryžovým granuláte, Crumb Rubber modified Bitumen CRmB, „gumoasfalt“) je světově nejrozšířenější technologie pro zpracování pryžového granulátu v asfaltových směsích. Metoda je popsaná v technickém Predpise TP 148 [3] [4].

Metoda „Continous blend“ spočívá v míchání ve speciálním mísícím zařízení umístěném na obalovně. Modifikovaný asfalt je míchán po celou dobu reakce a v TP 148 je označeno jako pojivo, u kterého se neposuzuje skladovatelnost. Ukazatelem kvality pojiva je dynamická viskozita, která se během skladování za horka mění. Při výrobě se do asfaltového pojiva přimíchává pryžový granulát v množství 15 % až 25 % při teplotě 170 °C až 185 °C. Dále se přivádí pojivo za stálého míchaní do reakční nádrže. CRmB se čerpá zubovým čerpadlem k dávkovacímu zařízení obalovny. V literatuře je uváděno,

že takto vyrobená směs lze skladovat za běžných teplot, přičemž po jeho následném ohřátí a promíchání lze použít [3].

Obrázek 3: Míchací souprava ECOPATH pro přípravu gumoasfaltového pojiva [5]

Metoda „terminal blend“ využívá modifikaci asfaltu jemnozrnným pryžovým granulátem v rafinerii. Většinou se používá nižší množství pryžového granulátu (5 % až 15 %) a chemické přísady, které dočasně udržují jemné částice pryže rozptýlené v celém objemu pojiva. U těchto pojiv se předpokládá, že jsou skladovatelná nebo aspoň omezeně skladovatelná a tudíž je nutné posoudit skladovatelnost upravenou metodikou zkoušení. Je tedy nutné dodržet předepsanou dobu trvání dopravy a následnou dobu skladování [3].

TecRoad je kombinací suchého procesu a metody „terminal blend“. Jedná se o granulovaný koncentrát dodávaný v plastových pytlích, který se vyrábí v Rakousku. Jemný pryžový granulát se několik hodin míchá se silničním asfaltem, přečerpává se a na konci linky se přidáním pryžového granulátu a chemických přísad upravuje do sypké hmoty, která je vlastně koncentrátem asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. Tato metoda spojuje výhody předešlých postupů, protože tuto předsměs lze snadno dávkovat společně s kamenivem do míchačky obalovny jako u technologie RUBIT ale většina pryžového granulátu v asfaltu zreagovala již při výrobě granulátu. Tudíž doba mísení směsi „dry process“ se zkracuje [3].

Obrázek 4: Napytlovaný koncentrát technologie TecRoad [6]

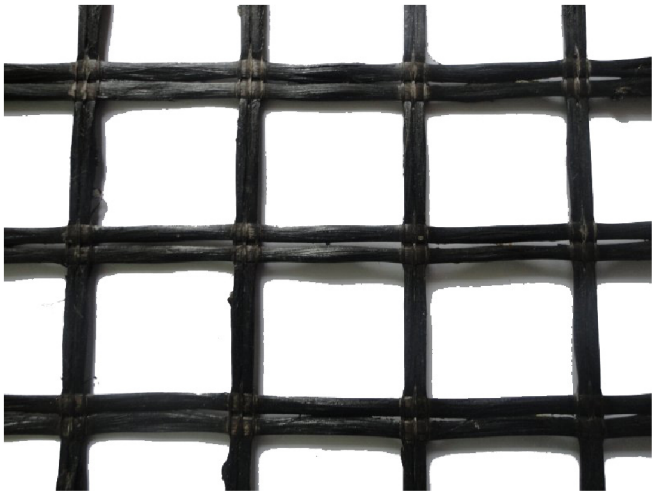
2.3 MŘÍŽOVINY

Jedním z materiálů pro rekonstrukce i novou výstavbu je výztužná mřížovina impregnovaná asfaltem, která se umisťuje mezi asfaltové vrstvy a tím prodlužuje jejich životnost. Přestože je asfalt ideální materiál pro konstrukce silnic, neboť je trvanlivý a levný, má nízkou pevnost v tahu. Tahová pevnost může být překročena již při malém přetvoření (0,2 % ÷ 0,3 %) a tím dochází k tvorbě trhlin, které snižují použitelnost a životnost asfaltového koberce [7].

Základní funkce mřížoviny při zabudování do konstrukce vozovky jsou:

- zvýšení tahové pevnosti asfaltové vrstvy;
- schopnost převzít významnou část vodorovného tahového napětí v asfaltové vrstvě a zajistit jeho rovnoměrné rozdělení na rozsáhlejší oblast.
- redistribuce napětí též pomáhá významně redukovat tvorbu vyjetých kolejí v oblastech s vysokým dopravním zatížením.

Pro znázornění účinnosti a efektivnosti vyztužení asfaltových vrstev mřížovinou byly provedeny srovnávací tahové zkoušky na dvouvrstvých asfaltových vzorcích. Výsledky zkoušek názorně ukazují, že zatížení na mezi porušení je u vzorku vyztuženého na rozdíl od vzorku nevyztuženého o 50% vyšší a jeho přetvoření při porušení je větší o 65%. Dalším důležitým poznatkem je, že trhliny vzniklé ve vyztuženém vzorku jsou drobné a četné ve srovnání s jednou velkou trhlinou u vzorku nevyztuženého [7].



Obrázek 5: Samolepící mřížovina [18]

Na obrázku č. 5 je vidět mřížovina, která tvoří oka o velikosti 25x25 [mm]. Ve směru tahového napětí jsou dvě lamely a v druhém jen jedna distanční lamela.

Obrázek 6: Způsob pokládky geomříže [18]

Samolepící vrstva se aktivuje tlakem. Nutné dávat pozor na správné uložení sítě, jelikož jen jedna strana je samolepící a ta by se měla nalepit na spodní vrstvu [16].

3 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

3.1 VÝROBA SMĚSI

Směs byla odebrána na stavbě silniční komunikace v Pardubicích. Její složení je udáno v kapitole **4.1**.

3.2 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH DESEK

Pro všechny zkoušky byla zkušební tělesa připravena pomocí lamelového zhutňovače. Forma a plech byl řádně vymazán separačním prostředkem, aby nedošlo k přilepení směsi. Zkušební desky se vyráběly dle vypočtené navážky, která byla dopočítána dle objemové hmotnosti získané z kontrolní zkoušky viz. kapitola **4.2.4.** Byly vyrobeny tři zkušební desky, které se lišily tloušťkou desky a použitím geomříže. Po výrobě desek byly desky z důvodu získání objemové hmotnosti přeměřeny posuvným měřítkem a zváženy na váze (za sucha, pod vodou, osušené).

V následující tabulce jsou vypočtené navážky jednotlivých desek.

Tabulka 1: Navážky jednotlivých směsí

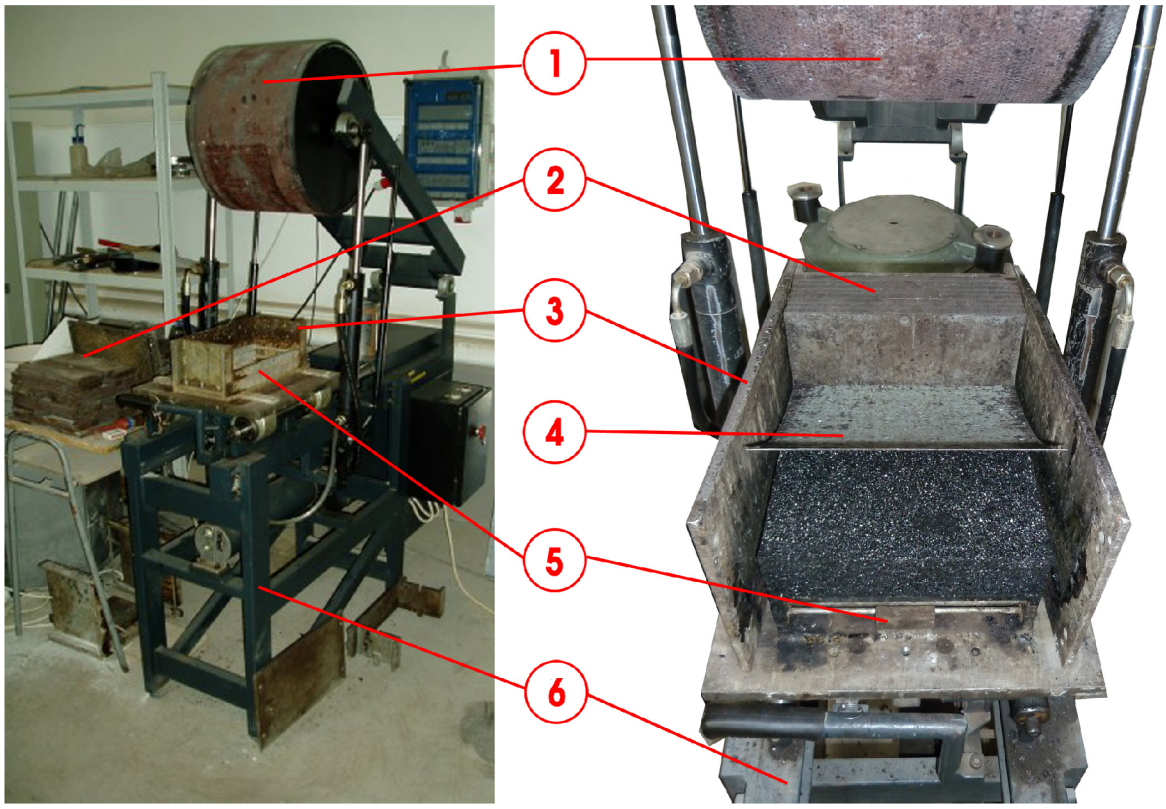
		BBTM 5 50	BBTM 5 60	BBTM 5+ 60
Rozměry desky	a (m)	0,261	0,261	0,261
	b (m)	0,322	0,322	0,322
	v (m)	0,05	0,06	0,03
	plech (m)	0,0008	0,0008	0,0008
Objem desky (m^3)		0,004135	0,004975	0,002454
Objem hmotnost desky (kg/m^3)		2198	2198	2198
Hmotnost směsi (g)		**9043**	**10881**	**5367**

Kde: BBTM 5 50 CRmB beton pro velmi tenké vrstvy, deska tl. 50 mm
BBTM 5 60 CRmB beton pro velmi tenké vrstvy, deska tl. 60 mm
BBTM 5+ 60 CRmB beton pro velmi tenké vrstvy, deska tl. 60 mm s vloženou geomřížovinou

U zkušební desky asfaltové směsi BBTM 5+ 60 byla záměrně volena tloušťka desky 30 mm, jelikož byla hutněna po vrstvách kvůli umístění výztuže. Prvně byla zhutněna navážka na tloušťku 30 mm, pak byla položena správnou stranou geomříž a zasypána asfaltovou směsí naváženou pro tloušťku desky 30 mm. Hotová zkušební deska měla tedy tloušťku 60 mm.

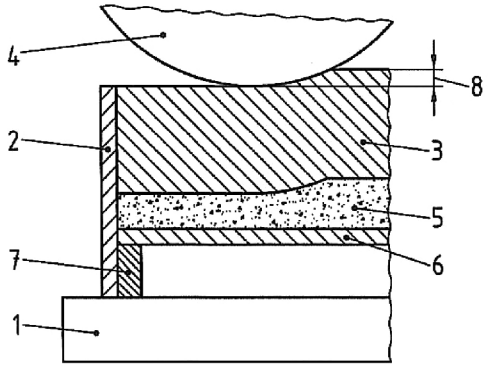
3.2.1 Lamelový zhutňovač

Lamelový zhutňovač dle ČSN EN 12697-33 [8] se skládá z ocelového stolu, na který je přišroubovaná rozebíratelná ocelová forma o rozměrech 260 mm x 320 mm s tolerancemi ±1 mm. Ve formě jsou pod ocelovou podkladní deskou vloženy nastavovací (distanční) rámečky tak, aby výška zhutňované desky byla 50 mm (60 mm). Do formy se na plech položený na povrchu asfaltové směsi vertikálně za sebe vkládají ocelové lamely, po kterých se ve vodorovném směru pohybuje dostatečně velký ocelový válec tam a zpět.



Obrázek 7: Lamelový zhutňovač

1. hutnící válec, 2. ocelové lamely, 3. forma, 4. Plech, 5. Distanční rámečky, 6.ocelový stůl zhutňovače



Obrázek 8: Řez lamelovým zhutňovačem [8]

1. Stůl zhutňovače
2. Forma
3. Ocelové lamely
4. Hutnící válec
5. Asfaltová směs
6. Podkladní deska
7. Distanční rám
8. Lamely válce jsou výše než forma a tento rozdíl se stává nulovým po určitém počtu pojezdů válce

Jelikož byl použit lamelový zhutňovač, tak se na rozprostřenou směs ve formě pokládá plech, který má obvykle tloušťku 0,5 mm až 1 mm. O tuto tloušťku je potřeba snížit konečnou tloušťku desky „e“ při výpočtu navážky

$$M = 10^{-6}.L.l.e.\rho_m.\left(\frac{100-v}{100}\right)$$

Rovnice 1: Hmotnost asfaltové směsi

kde:	M	hmotnost desky [kg]
	L	vnitřní délka formy [mm]
	l	vnitřní šířka formy [mm]
	e	konečná tloušťka desky [mm]
	ρ_m	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi [kg.m-3]
	v	mezerovitost směsi v desce [%]

Směs se opatrně a rovnoměrně rozprostřela pomocí lopatky do formy a upěchovala se tak, aby byly vyplněny rohy formy a povrch byl pokud možno co nejrovnější před tím, než se zahájilo hutnění.
Hutnicí lamely byly vkládány do formy ve svislé poloze na plech na povrchu asfaltové směsi. Pohyblivý válec se spustil na hutnicí lamely a uvedl se do pohybu, tím se lamely zatlačovaly konstantní silou až do dosednutí válce na formu. Po ukončení hutnícího procesu se desky před rozebráním formy nechaly vychladnout na laboratorní teplotu [9].

Obrázek 9: zobrazení zarovnání ocelových lamel a formy

Na obrázku č. 9 je znázorněno zarovnání ocelových lamel s formou po dokončení hutnění pomocí pojezdového hutnícího válce.

3.2.2 Parametry vyrobených desek

Po výrobě zkušebních desek a jejich ochlazení na laboratorní teplotu bylo provedeno jejich převážení. Byl vážen suchý vzorek, poté vzorek ponořený ve vodě zbaven všeho vzduchu v kapilárách desky a nakonec vzorek nasycený vodou.

$$\rho_{SKUT} = \left(\frac{m_1}{m_3 - m_2} \right)$$

Rovnice 2: Skutečná objemová hmotnost

Kde:	ρ_{SKUT}	Skutečná objemová hmotnost
	m_1	Hmotnost suché zkušební desky
	m_2	Hmotnost desky ponořené ve vodě
	m_3	Hmotnost desky nasycené vodou

Obrázek 10: Znázornění váženi zkušební desky

Na obrázku č. 10 vlevo je vidět, jak je zkušební deska vážena zcela ponořena ve vodě. Důležité bylo počkat 30 minut, než se všechen vzduch v kapilárách vytlačí. Na obrázku č. 10 vpravo je již zvážená zkušební deska a je zbavována povrchové vody. Následuje vážení zkušební desky nasycené vodou.

Na základě naměřených hodnot byla dopočítána míra zhutnění jednotlivých desek.

$$\rho_{\%} = \left(\frac{\rho_{SKUT}}{\rho_{CAL}} \right) \times 100$$

Rovnice 3: Míra zhutnění

Kde: $\rho_{\%}$ Míra zhutnění (%)

ρ_{SKUT} Objemová hmotnost skutečná (kg/m^3)

ρ_{CAL} Objemová hmotnost kalkulovaná (kg/m^3)

Tabulka 2: Parametry vyrobených desek

SMĚS	OBJEMOVÁ HMOTNOST SROVNÁVACÍ [kg/m^3]	OBJEMOVÁ HMOTNOST SKUTEČNÁ [kg/m^3]	MÍRA ZHUTNĚNÍ [%]	POUŽITA NA
BBTM 5 50 mm	2198	2210	100,5	N CH
BBTM 5 60 mm	2198	2174	98,9	N CH
BBTM 5+ 60mm	2198	2179	99,1	N CH

N CH Nízkoteplotní charakteristiky

3.3 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

3.3.1 Nařezání zkušebních těles

Ze zkušební desky o rozměrech 261x322x50(60) [mm] bylo nařezáno pomocí stolní kotoučové pily s diamantovým kotoučem značky CEDIMA pět zkušebních těles o rozměrech 50x50(60)x200 [mm]. Jako první přířezy se dvěma řezy zkracovala deska na potřebných 200 mm. Dále se řezaly hranolky po 50 mm. Pomocí ocelového měřícího plátku se nastavil doraz, aby řez na začátku a na konci byl co nejpřesnější. U zkušební desky s vloženou geomříží bylo potřeba barvou označit, kde vedou ztužující prvky mřížoviny a následně řezat tak, aby do jednoho zkušebního tělesa vešly centricky dva ztužující pásy. Při řezání musel být zajištěn neustálý přítok vody, který ochlazoval kotouč. Tím bylo zabráněno jak poškození budoucího zkušebního tělesa tak poškození samotného kotouče a pily. V této části výroby zkušebních těles bylo zapotřebí dbát bezpečnosti práce a zvýšené pozornosti.

Na obrázku č. 11 je diamantový kotouč pily, který je chlazen vodou a zároveň řeže zkušební desku, která je umístěna na posuvné podložce.

Obrázek 11: Stolní kotoučová pila s diamantovým kotoučem CEDIMA

3.3.2 Broušení zkušebních těles

Zkušební tělesa z desek, které byly zhutněny na tloušťku desky 60 mm bylo potřeba zbrousit na tloušťku 50 mm. Ze začátku byl proveden začišťující zábrus stran, které neměly řezné plochy z předchozího řezání. Následně byly posuvným měřítkem změřeny délky stran na krajích a uprostřed. Zprůměrováním byla vyčíslena hodnota délky strany. Od této hodnoty byla odečtena hodnota 50 mm. Vypočtený výsledek byla hodnota, o kterou se má příslušné zkušební těleso zbrousit. Tato hodnota byla dělena dvěma, jelikož bylo potřeba zbrousit zkušební těleso ze dvou stran.

Po přípravě bylo těleso upevněno na desku pomocí aretačních lamel. Dále pomocí ovládání diamantové brusky byla nastavena výška broušení. V našem případě byla zvolena výška broušení 2 mm.

Po nastavení byl spuštěn přívod vody a následně diamantová bruska. Pohybem na rameni po čtvrtkruhu tam a zpět bylo dosaženo obroušení o danou nastavenou výšku zábrusu.

Na obrázku č. 12 vlevo bylo zaaretováno zkušební těleso před začišťujícím zábrusem. Na obrázku č. 12 vpravo byl už proveden zábrus o 2 mm.

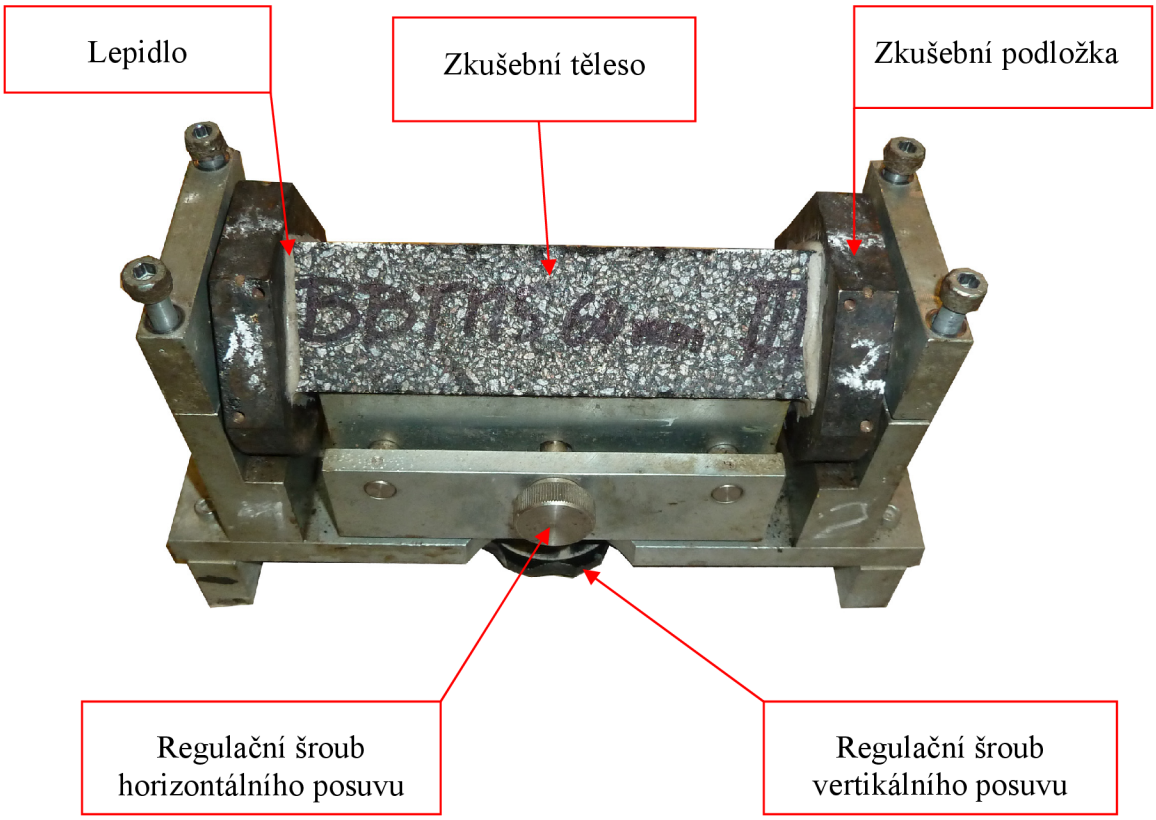
Obrázek 12: Diamantová bruska

Obrázek 13: Zabroušená a označena tělesa

Po zabroušení byla zkušební tělesa označena typem vzorku a římskou číslicí podle pořadí řezání na zkušební desce (vnitřní mohou být více zhutněné než krajní).

3.3.3 Lepení zkušebních těles do zkušebních podložek

Trámečky byly po změření rozměrů nalepeny do zkušebních podložek v kovovém rámu, který zaručuje co nejpřesnější centrické nalepení vzorků. Nejprve se usadil trámeček i s podložkami do rámu nasucho bez lepidla s provedením centrace vzorku. Poté se vyjmuly podložky, nanesla se do vymezené části vrstva rozmíchaného dvousložkového epoxidového lepidla a umístily se i s trámečkem do rámu. Kamenná moučka byla dávkována v takovém množství, aby při svislé poloze podložek lepidlo nestékalo. Před dotažením čelistí rámu svírajících podložky bylo nutné dotlačit podložky na čela vzorku, aby unikly vzduchové bubliny, které by mohly způsobit nedokonalé přilepení zkušebního tělesa k podložkám a následně vytržení v průběhu zkoušení. Lepidlo bylo nutné nechat tvrdnout alespoň 48 hodin [9].



Obrázek 14: Kovový rám pro centrické nalepení zkušebního tělesa

Obrázek 15: Nalepené těleso připravené ke zkoušce

3.4 MĚŘENÍ NÍZKOTEPLOTNÍCH VLASTNOSTÍ

Mrazové trhliny vznikají ve vozovkách při poklesu teploty pod určitou kritickou hodnotu. Kritickou teplotu částečně snižuje velmi rychlý pokles teploty. Na povrchu se vytvoří příčná smršťovací trhlinka oslabující asfaltové vrstvy. Tato trhlinka opakovanými poklesy teplot roste do hloubky obrusné vrstvy. Jakmile dosáhne vzájemného spojení s ložní nebo podkladní vrstvou vozovky, začne se šířit do hloubky nebo naruší spojení jednotlivých vrstev [9].

Vývoj porušení příčnou trhlinou je rozdělen na dílčí stádia:

- úzká trhlina nepostihující celou šířku vozovky
- úzká trhlina přes celou šířku vozovky
- větvení trhliny a vytváření přidružených trhlinek
- prohlubování a vznik široké trhliny s olamováním hran a možným vývojem přidružených trhlin

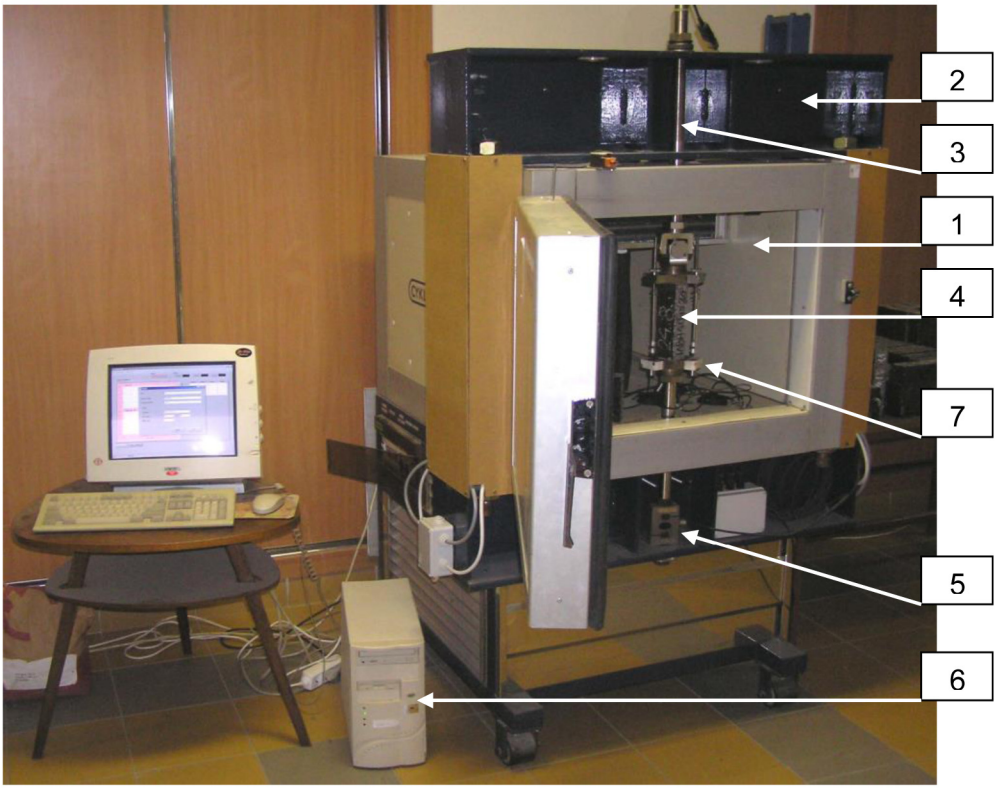
Chování asfaltové směsi při nízkých teplotách závisí nejvíce na vlastnostech použitého asfaltu a jeho tvrdosti, obsahu asfaltu a částečně na složení asfaltové směsi.

Při zjišťování nízkoteplotního chování asfaltových vrstev vozovky pomocí zařízení Cyklon -40 se vychází z toho, že asfaltové vrstvy vozovky fungují jako nekonečný pás. Je-li vybrán element tohoto nekonečného pásu, na který působí smršťovací síly způsobené snížením teploty, pak každá další navazující část elementu pomáhá tato napětí přenášet, tudíž navazující části způsobují „vetknutí“ sledovaného elementu. Jestliže na element působí tahové napětí větší než je jeho pevnost, dojde k porušení mrazovou trhlinou [9].

Obrázek 16: Porušení tělesa mrazovou trhlinou[9]

Účelem zkoušky je zjistit kritickou teplotu a velikost tahové síly (napětí) zkušebního tělesa z asfaltové směsi při porušení trhlinou, které vzniká při jeho ochlazování konstantní rychlostí z výchozí teploty za podmínky zamezení zkracování tělesa – tzn. při dodržení nulové podélné deformace ($\varepsilon_t = 0$) [9].

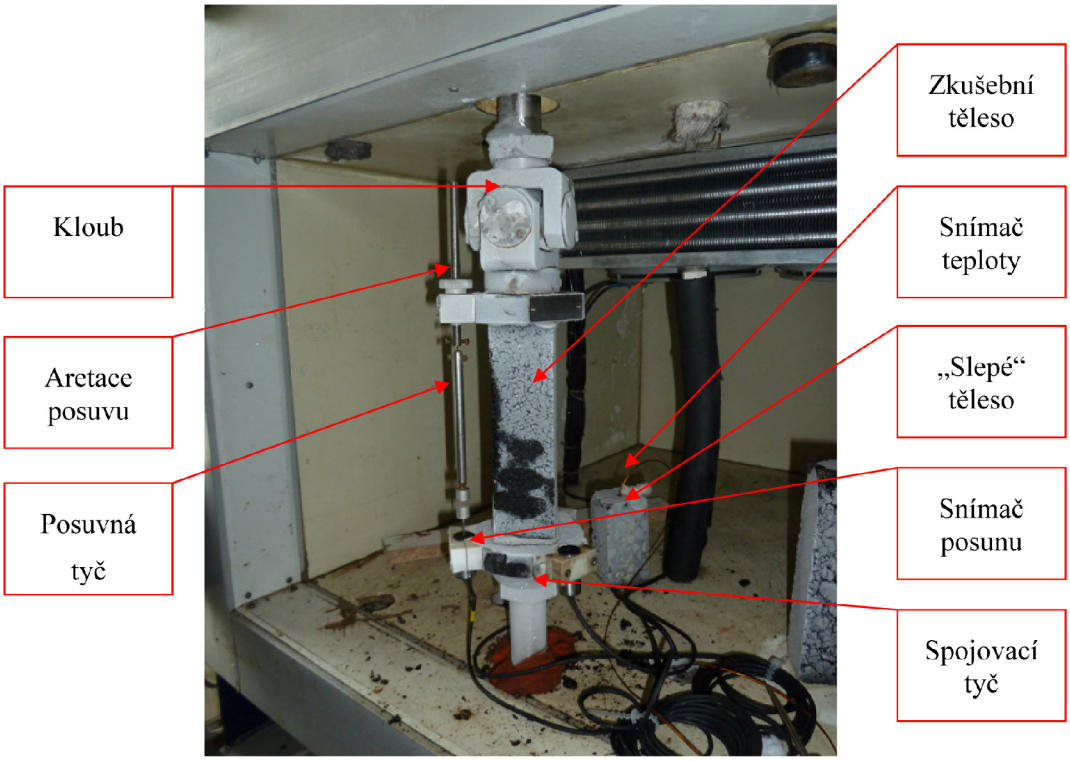
Nulové deformace tělesa se dosahuje ohřevem sloupků rámu, do kterého je vloženo nalepené zkušební těleso v upínacím zařízení, které řídí počítač, na základě zpětné vazby ze snímačů délky osazených na upínacím zařízení.
Zařízení Cyklon -40, vyvinuté pro zjišťování nízkoteplotních charakteristik se skládá ze zkušební komory (**1**), která je tvořena zkušebním prostorem, strojním prostorem a elektrickým rozvaděčem s řídící částí. Zkušební prostor tvoří komora izolovaná polyuretanovou pěnou s vestavěným výparníkem, dvojicí ventilátorů a čidlem teploměru vnitřního prostoru. Kolem zkušební komory je umístěn tuhý zkušební rám (**2**) a na něm se nachází upínací zařízení – spojovací tyče o průměru 32 mm (**3**), ke kterým se připojuje zkušební těleso (**4**) prostřednictvím podložek, na nichž je zkušební těleso nalepeno. Na dolním nosníku rámu se nachází snímač síly (**5**). Měřící a řídící elektronika, umístěná na pravé straně zkušební komory, zajišťuje napájení snímačů a převod signálu ze snímačů síly, deformace a teploty, ovládání topných tělísek a chlazení a komunikaci s počítačem (**6**). Teplota zkušebního tělesa se v průběhu zkoušky zjišťuje pomocí snímače teploty, vloženého do vyvrtaného otvoru „slepého“ tělesa. Deformace tělesa se měří třemi snímači posunu (**7**), které se osazují na podložky zkušebního tělesa po 120° [9].



Obrázek 17: Celkový pohled na zařízení CYKLON -40 [9]

Pomocí obslužného programu je ovládáno řízení ohřevu prvků upínacího zařízení (sloupy zkušebního rámu a spojovací tyče) tak, aby bylo dosaženo nulové podélné deformace zkušebních těles, dále snímání dat v průběhu zkoušky a regulace průběhu teploty v komoře [9].

Na obrázku č. 18 je zobrazena chladící komora ihned po zkoušce TSRST.



Obrázek 18: Detail uchycení zkušebního tělesa v komoře

4 POUŽITÉ MATERIÁLY

4.1 POČÁTEČNÍ ZKOUŠKA TYPU

Počáteční zkouškou typu se ověřuje, zda výrobek vyhovuje harmonizované technické specifikaci. Na základě počáteční zkoušky typu se stanoví ukazatele všech harmonizovaných charakteristik, které mají být výrobcem deklarovány. Počáteční zkouška typu není posouzením vhodnosti výrobku k danému použití [10].

4.1.1 Pojivo

Jako pojivo byl použit asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (CRmB).

- Asfaltová pojivo CRmB 25/55-60

Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem měl tyto vlastnosti:

- Penetrace: 27 mm
- Bod měknutí 67,2 °C
- Dynamická viskozita při 175 °C 4,5 Pa.s
- Resilience 34 %

Tabulka 3: Parametry návrhové směsi

B_{min}	B_{min} 3)	B_{vol}	ρ_{bssd} 4)	ρ_{mV} 5)	V	VMA	VFB	ρ_d	ITSR	PRD_{AIR}	WTS_{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[Mg.m-3]	[Mg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[Mg.m-3]	[%]	[%]	[*]
9,9	9,0	18,4	2,128	2,408	11,6	30,0	61	2,768	---	---	---
10,5	**9,5**	**19,6**	**2,149**	**2,380**	**9,7**	**29,3**	**67**	**2,752**	**---**	**---**	**---**
11,1	10,0	20,8	2,164	2,355	8,1	28,9	72	2,740	---	---	---

Obrázek 19: Mezerovitost asfaltové směsi

4.1.2 Kamenivo

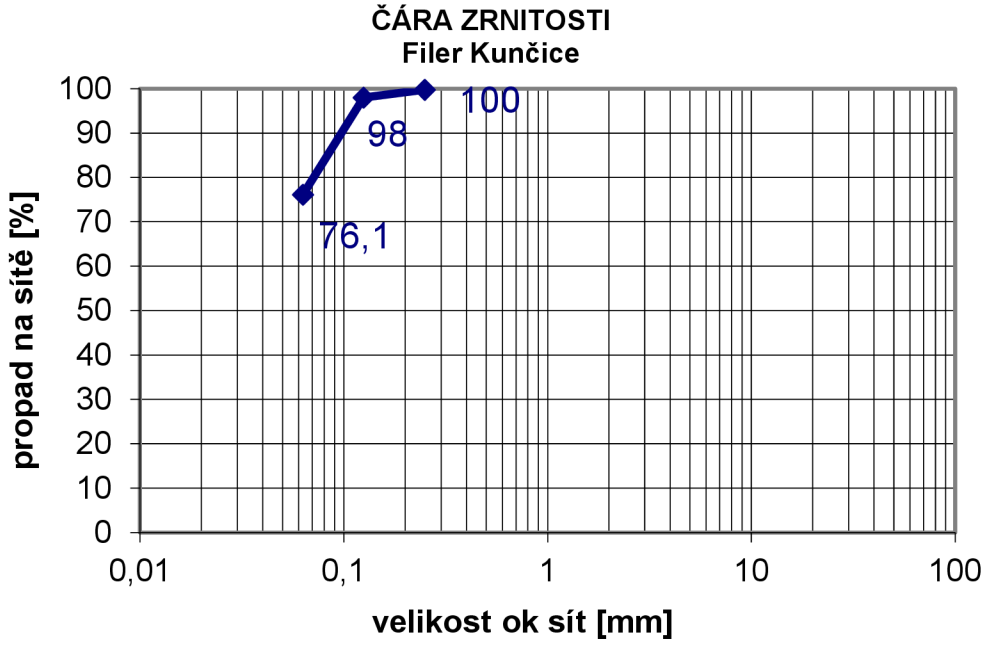
Do směsi byl přimíchán filer a drcené kamenivo drobné frakce těžené v lomech:

- Filer Kunčice 0 % z objemu
- Kamenivo SDK 0/4 Sloupno 32 % z objemu
- Kamenivo HDK 2/4 Černá Skála 68 % z objemu

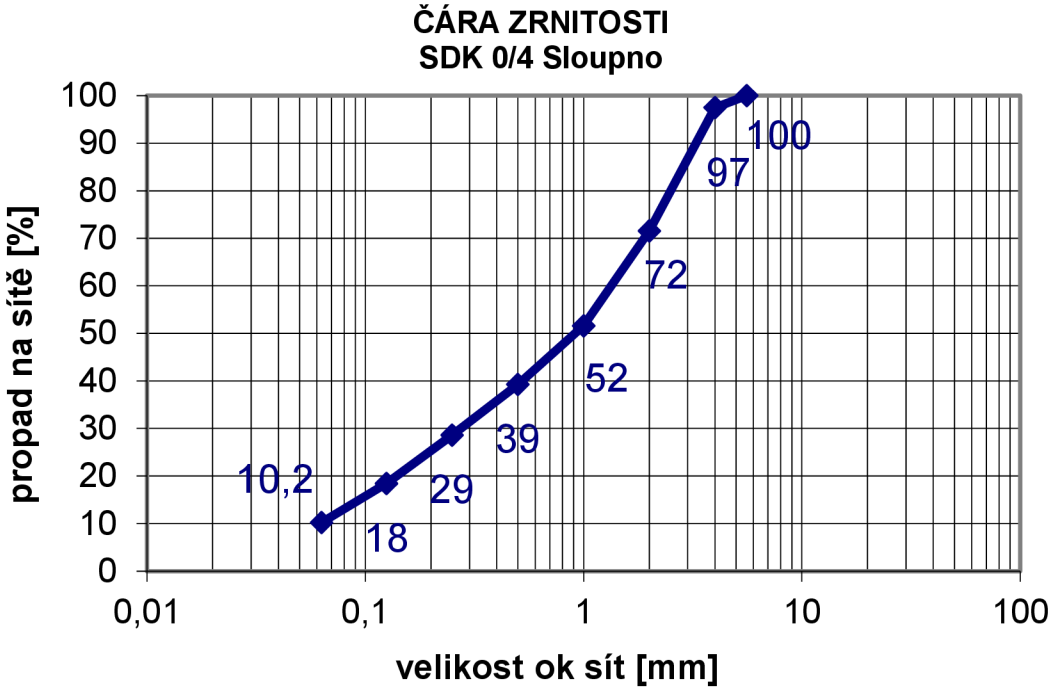
Kamenivo z lomu Černá Skála ležící v okrese Rychnov nad Kněžnou se skládá převážně z horniny pararuly a kamenivo z lomu Sloupno ležící v okrese Havlíčkův Brod z horniny amfibolitu. Na obrázku č. 20 je vlevo vyfocen lom Černá Skála a vpravo lom Sloupno [20].

Obrázek 20: Fotky lomu Černá Skála a Sloupno [20]

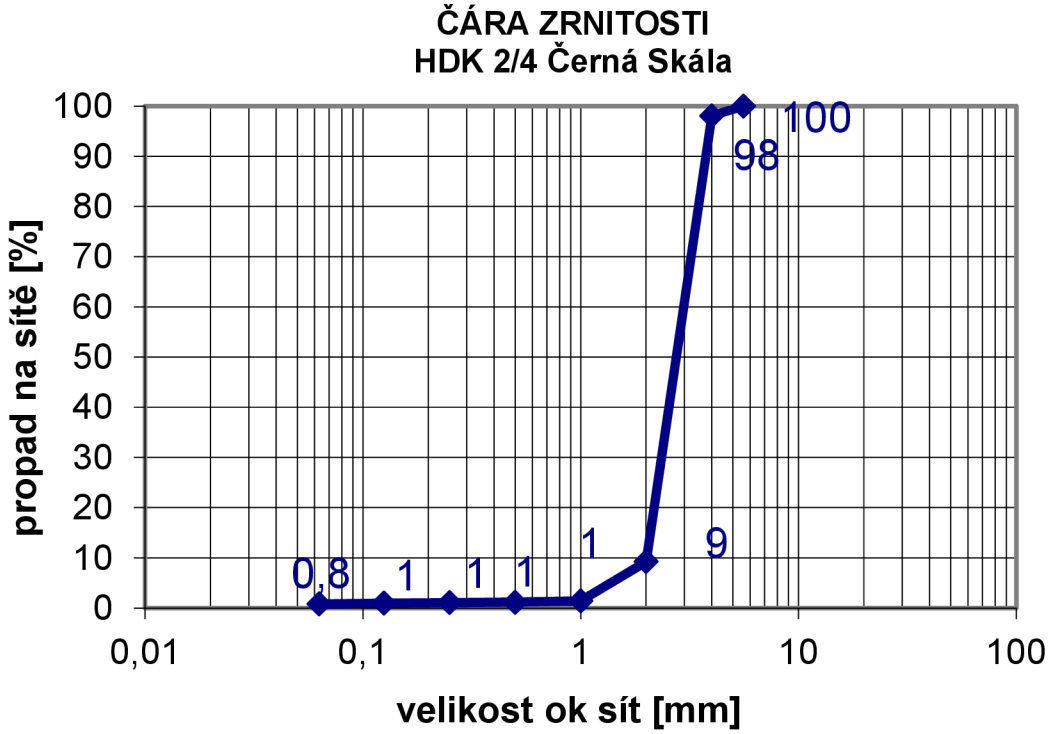
V následujících grafech jsou znázorněny čáry zrnitosti použitých frakcí kameniva.



Obrázek 21: Čára zrnitosti - filer Kunčice



Obrázek 22: Čára zrnitosti - SDK 0/4 Sloupno



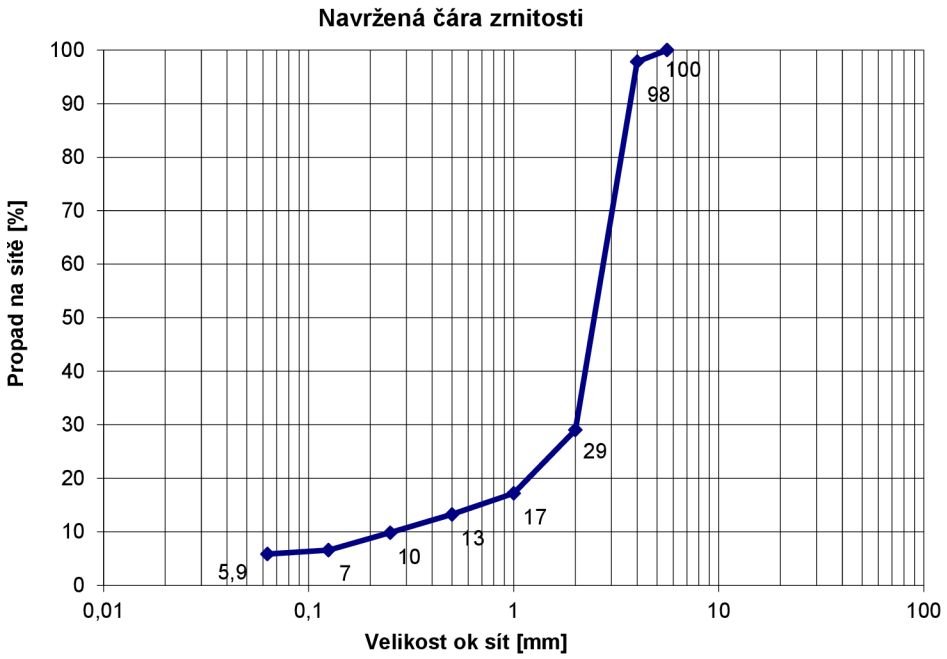
Obrázek 23: Čára zrnitosti - HDK 2/4 Černá Skála

V tabulce č. 4 jsou vypsány propady všech frakcí u všech materiálů použitých ve směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem.

Tabulka 4: Propady materiálů na jednotlivých sítech

Kamenivo		HDK 2/4	SDK 0/4	Filer
Typ zkoušky		Černá Skála	Sloupno	Kunčice
Zrnitost kameniva propad sítem v %	31,5	100	100	100
	22,4	100	100	100
	16	100	100	100
	11	100	100	100
	8	100	100	100
	5,6	100	100	100
	4	98	97	100
	2	9	72	100
	1	1	52	100
	0,5	1	39	100
	0,25	1	29	100
	0,125	1	18	98
	0,063	**0,8**	**10,2**	**76,1**

Dle tabulky č. 4 byla vyobrazena návrhová čára zrnitosti kameniva v asfaltové směsi, která je vyobrazena na obrázku č. 24.



Obrázek 24: Návrhová čára zrnitost

4.2 KONTROLNÍ ZKOUŠKA

Zhotovitel musí provádět kontrolní zkoušky během výroby, pokládky, hutnění a na hotové vrstvě s potřebnou pečlivostí a v požadovaném rozsahu. Jako kontrolní zkoušky stavebních materiálů lze převzít výsledky výstupní kontroly dodavatele popř. výsledky z dozorových kontrol. Protokoly zkoušek se evidují a jsou součástí stavebního deníku a dokladů pro převzetí prací a zhotovitel je musí podle požadavku předkládat objednateli/správci stavby [11].

VZOREK I.		**VZOREK II.**	
Datum odběru:	29.5.2013	Datum odběru:	29.5.2013
Zkoušeno:	4.6 – 7.6.2013	Zkoušeno:	4.6 – 7.6.2013
Stavba:	Pardubice	Stavba:	Pardubice

4.2.1 Stanovení zrnitosti

Zkouška se provádí na kamenivu dle požadavků ČSN EN 933-1. Pokud je k dispozici menší množství materiálu než je požadováno, tak se zkouška provádí s celým množstvím materiálu. Minimální hodnota hmotnosti materiálu je 500 g [12].

Pokud se tato zkouška provede po extrakci pojiva zahrnující sítový rozbor s použitím příslušných sít a pokud se kamenivo důkladně promyje v průběhu zkoušky podle ČSN EN 12697-1 nebo pokud se zkouška provede u kameniva po provedení zkoušky obsahu pojiva termickou analýzou podle ČSN EN 12697-39, lze zrnitost stanovit pouze sítovým rozborem za sucha. Pokud se však zjistí, že propad materiálu sítem 0,063 mm, který zůstává na kamenivu, je větší než 1,0 % celkového kameniva, musí se zrnitost stanovit znovu po promytí kameniva [12].

V případě, že se obsah pojiva v asfaltové směsi stanoví přímo, celková hmotnost materiálu procházejícího sítem se vypočítá následovně:

$$M_F = M - M_W - M_B - M_C$$

Rovnice 4: Hmotnost materiálu procházejícího sítem 0,063 mm, v g

Kde: M_F Celková hmotnost materiálu procházejícího sítem 0,063 mm,v g

M Celková hmotnost nevysušeného kameniva, v g

M_W Hmotnost vody, v g

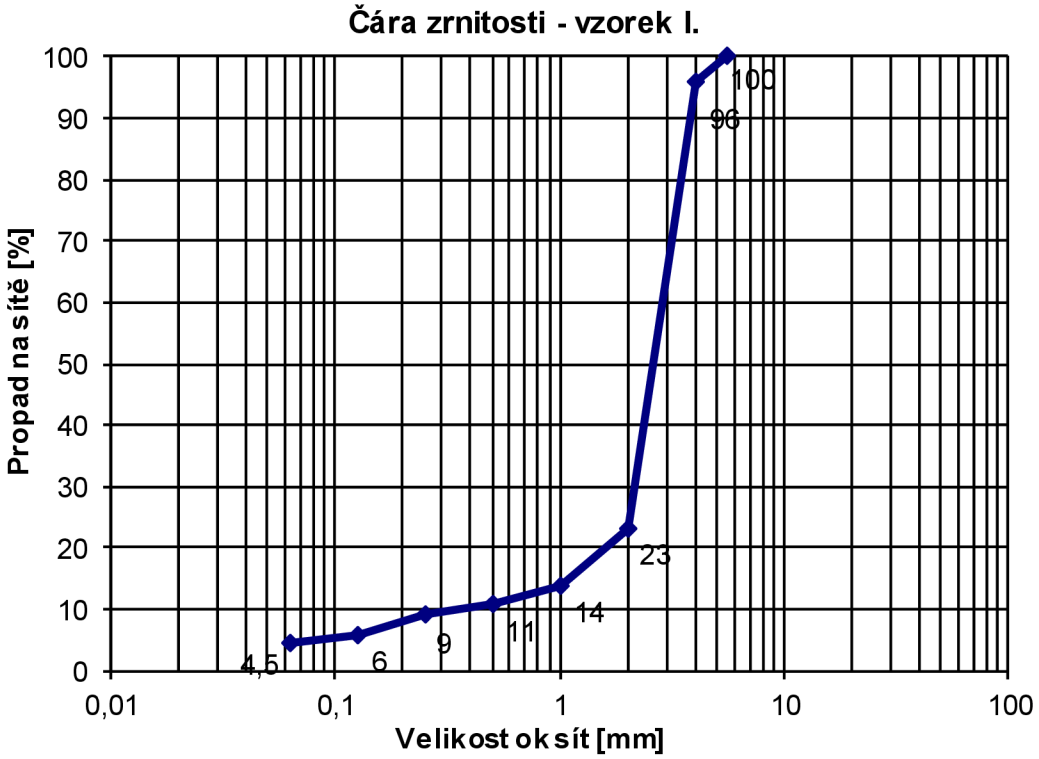
M_B Hmotnost celkového pojiva, v g

M_C Hmotnost materiálu, který zůstane na sítě 0,063 mm, v g

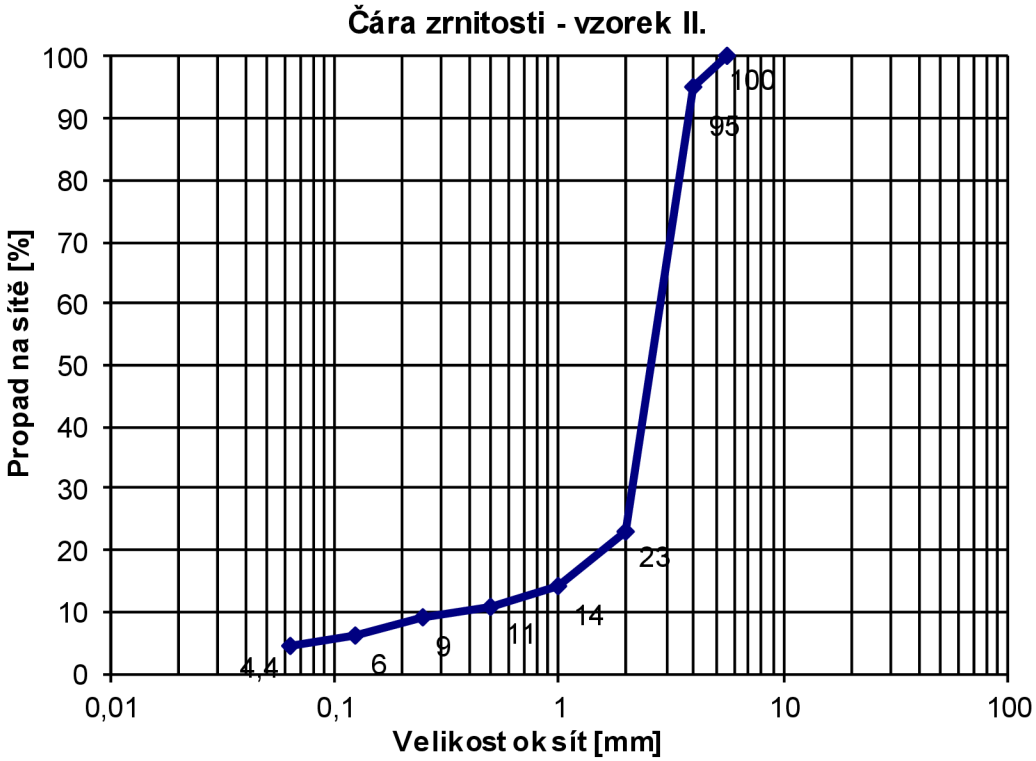
Tabulka 5: Stanovení Zrnitosti

	Vzorek I.			Vzorek II.		
Vel. Ok sít	Zbytky (g)	Zbytky(%)	Propad (%)	Zbytky (g)	Zbytky(%)	Propad (%)
5,6	0	0	100	0	0	100
4	16,2	4,3	96,0	18,7	5,0	95,0
2	173,7	73,0	23,0	270,3	72,2	23,0
1	31,3	8,4	14,0	32,6	8,7	14,0
0,5	11,3	3,0	11,0	10,8	2,9	11,0
0,25	9,9	2,6	9,0	9,5	2,5	9,0
0,125	8,8	2,3	6,0	9,0	2,4	6,0
0,063	6,8	1,8	4,5	7,1	1,9	4,4
Filer	16,7	4,5	0,0	16,6	4,4	0,0
Celkem	374,7	100,0		374,6	100,0	

Na obrázku č. 25 a č. 26 jsou znázorněny čáry zrnitosti jednotlivých vzorků, které byly zjištěny při kontrolní zkoušce.



Obrázek 25: Čára zrnitosti vzorku I.



Obrázek 26: Čára zrnitosti vzorku II.

Čáry zrnitosti byly následně srovnány s výsledky navržené čáry zrnitosti z počáteční zkoušky typu. Tuto křivku můžeme vidět na obrázku č. 24. Je vidět, že čáry zrnitosti spolu přibližně korespondují, tudíž nedošlo k pochybení při dávkování kameniva.

4.2.2 Stanovení obsahu rozpustného pojiva

Směs z pyknometru se vsype do sady sít umístěné v trychtýři, jehož ústí se nachází nad středem odstředivého bubnu, ve kterém je patrona, do které se zachytávají jemné částice. Směs v sítech se promývá tak dlouho rozpouštědlem, dokud z trychtýře nevytéká čisté rozpouštědlo (není zbarvené rozpuštěným asfaltem). Po vysušení propraného kameniva je možné z rozdílu hmotnosti směsi a kameniva určit obsah rozpustného pojiva [12].
Z počáteční zkoušky byl vypočten obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky, který je roven 7,9 %. Z tabulky č. 6 je patrné, že při kontrolní zkoušce byl zjištěn obsah rozpustného pojiva v hodnotě 7,8 %, což odpovídá počáteční zkoušce typu.

$$S = 100 \times \left(\frac{M - (M_1 + M_W)}{M - M_W} \right)$$

Rovnice 5: Výpočet obsahu rozpustného pojiva

Kde: S Obsah rozpustného pojiva v %

M Hmotnost nevysušeného vzorku v g

M_1 Hmotnost minerálního materiálu po extrakci v g

M_W Hmotnost vody v nevysušeném vzorku v g

Tabulka 6: Stanovení obsahu rozpustného pojiva

	Vzorek I.	Vzorek II.
Navážka asf. Směsi (g)	406,5	406,5
Kamenivo celkem (g)	374,8	374,8
Pojivo (g)	31,7	31,7
Pojivo (%)	7,8	7,8
Kamenivo (bez patrony) (g)	359,9	360,1
Označení patrony	B	B
Patrona+filer (g)	486,7	464,9
Patrona+prázdná (g)	471,8	450,2
Filer v patroně (g)	14,9	14,7
Filer zrnitost(g)	1,8	1,9
Filer celkem	16,7	16,6

4.2.3 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhutněném vzorku a dalších charakteristik zhutněné asfaltové směsi, které se vztahují k jejímu objemu. U volumetrického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. U volumetrického postupu se objem vzorku měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru [13].

Výpočet volumetrické metody:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times \left(V_P - \frac{m_3 - m_2}{\rho_v} \right)}$$

Rovnice 6: Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

Kde: ρ_{mv} Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 s přesností 0,1 kg/m^3

m_1 hmotnost pyknometru a nástavce v g

m_2 hmotnost pyknometru, nástavce a zkušebního vzorku v g

m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, zkušebního vzorku a vody v g

V_p objem pyknometru při naplnění po referenční značku nástavce v m^3

ρ_v Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 s přesností 0,1 kg/m^3

Tabulka 7: Stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi

	Vzorek I.	Vzorek II.
Označení pyknometru	IV.	III.
Pyknometr prázdný m_1 (g)	392,6	379,5
Pyknometr+vzorek m_2 (g)	799,1	786
Pyknometr+vzorek+voda m_3 (g)	1502,9	1488,5
Objem pyknometru V_p (m^3)	653,6	652,4
Hustota vody ρ_W (Mg/m^3)	1,452	1,452
Teplota temperace (°C)	25	25
Navážka asf. směsi [ř.3 - ř.2] (g)	406,5	406,5
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} (Mg/m^3)	2407	2411

U zkoušky byl použit jako rozpouštědlo trichlorethylen. **Maximální objemová hmotnost** byla vypočtena zprůměrováním vypočtených hodnot obou vzorků a je rovna **2409 kg/m^3**. Maximální objemová hmotnost určená při kontrolní zkoušce je mírně vyšší než maximální objemová hmotnost stanovená v rámci počáteční zkoušky typu.

4.2.4 Stanovení objemové hmotnosti zkušebího tělesa

Objemová hmotnost zhutněného asfaltového tělesa se stanoví z hmotnosti tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušebního tělesa se získá vážením suchého vzorku na vzduchu.

Při postupu určení objemové hmotnosti při nasyceném suchém povrchu (SSD) se zkušební těleso nejdříve nasytí vodou a poté se jeho povrch osuší látkou, která nepouští vlákna [14].

Výpočet objemové hmotnosti SSD se vypočítá s přesností na 1 kg/m^3:

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

Rovnice 7: Objemová hmotnost nasyceného suchého tělesa

Kde: ρ_{bssd} Objemová hmotnost SSD v kg/m^3

m_1 Hmotnost suchého tělesa, v g

m_2 Hmotnost tělesa ve vodě, v g

m_3 Hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného v g

ρ_w Hustota vody

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

Rovnice 8: Mezerovitost asfaltové směsi [15]

Kde V_m Mezerovitost asfaltové směsi s přesností 0,1 v %

ρ_m Maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3

ρ_b Objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m^3

Tabulka 8: Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles

Zkušební těleso	1	2	3	4	Průměr
Suché (g)	1091,7	1089,5	1188,4	1090,2	1115,0
Pod vodou (g)	603,7	602,8	656,2	603,1	616,5
Vlhké (g)	1098,3	1097,3	1198,5	1096,7	1122,7
Obj. hmotnost (Mg/m^3)	2203	2199	2187	2204	**2198,3**
Mezerovitost (%)	8,6	8,8	9,3	8,6	**8,8**

4.3 VLASTNOSTI MŘÍŽOVINY [16]

SAINT GOBAN GLASSGRID GG100 - 8511

GlasGrid® GG100 je síť ze skleněných vláken s patentovaným elastomerovým povlakem pro sanaci asfaltových ploch. Spodní strana sítě je opatřena lepidlem aktivovaným tlakem, které usnadňuje instalaci a zajišťuje polohu sítě. Síť GlasGrid® GG100 je instalována buď přímo na připravený kryt původní vozovky, nebo na vyrovnávací vrstvu položenou na frézovaném podkladu. Při použití pro sanaci betonové vozovky musí být na tuto před instalací výrobku GlasGrid položena bitumenová vyrovnávací vrstva.
GlasGrid® GG100 je systém pro sanaci vozovek a vyztužení asfaltových krytů, který je používán zejména pro ochranu před vznikem reflexních trhlin z nosné vrstvy. Systém je možné použít pro zamezení vzniku trhlin buď v ohraničené ploše, například vlivem sedání u zásypů výkopů, nebo při celoplošné sanaci asfaltového krytu. Systém oddaluje vznik reflexních trhlin v polotuhých krytech a prodlužuje dobu použitelnosti krycí vrstvy o násobek.

Výhody geomříže SAINT GOBAN:

- rychlá a bezpečná instalace (zejména v obloucích)
- samolepicí tlakem aktivovaná spodní strana zabraňující vytváření skladů a sklouzávání při přejezdech
- velmi vysoká tuhost a pevnost v tahu pro zajištění maximální ochrany proti tvorbě reflexních trhlin
- prodloužení doby použitelnosti sanované komunikace
- GlasGrid je možné snadno zpracovávat pomocí jednoduchého nářadí
- velmi dobrá frézovatelnost a úplná recyklovatelnost

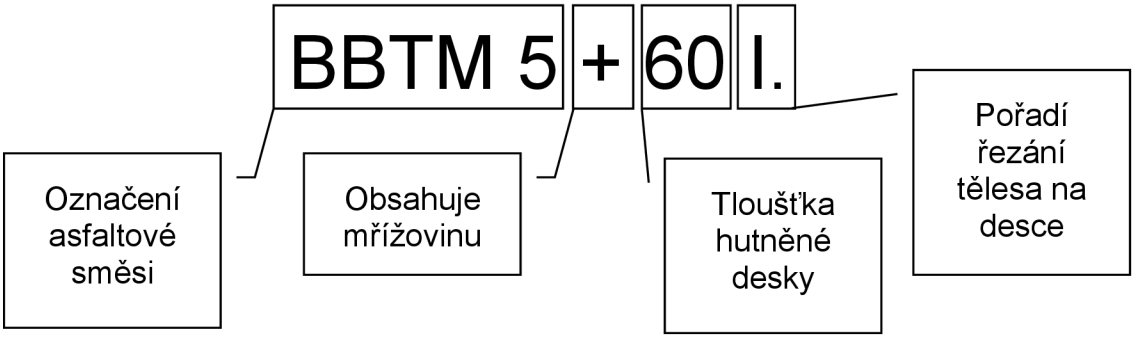
Tabulka 9: Technické informace geomřížoviny

	jednotky	GG100 - 8511	zkušební metoda
pevnost v tahu	kN/m	115 x 115 ± 15	DIN 10319
protažení	%	2,5 ± 0,5	DIN 10319
pevnost v tahu při protažení 2%	kN/m	95 x 95 ± 20	DIN 10319
tuhost	N/mm	4 600 x 4 600 ± 600	DIN 10319
modul pružnosti E skla	MPa	73.000	
bod tavení	°C	> 232	
gramáž	g/m²	405	DIN 9864
rozměr ok	mm	25 x 25	odpadá
délka na roli	m	100	odpadá
šířka role	m	1,5	odpadá
plocha na roli	m²	150	odpadá
paleta	role 150 m²	9 rolí 13.500	
kontejner 20 ft	m²	13.500	
kontejner 40 ft	m²	29.700	

5 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

5.1 OZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES

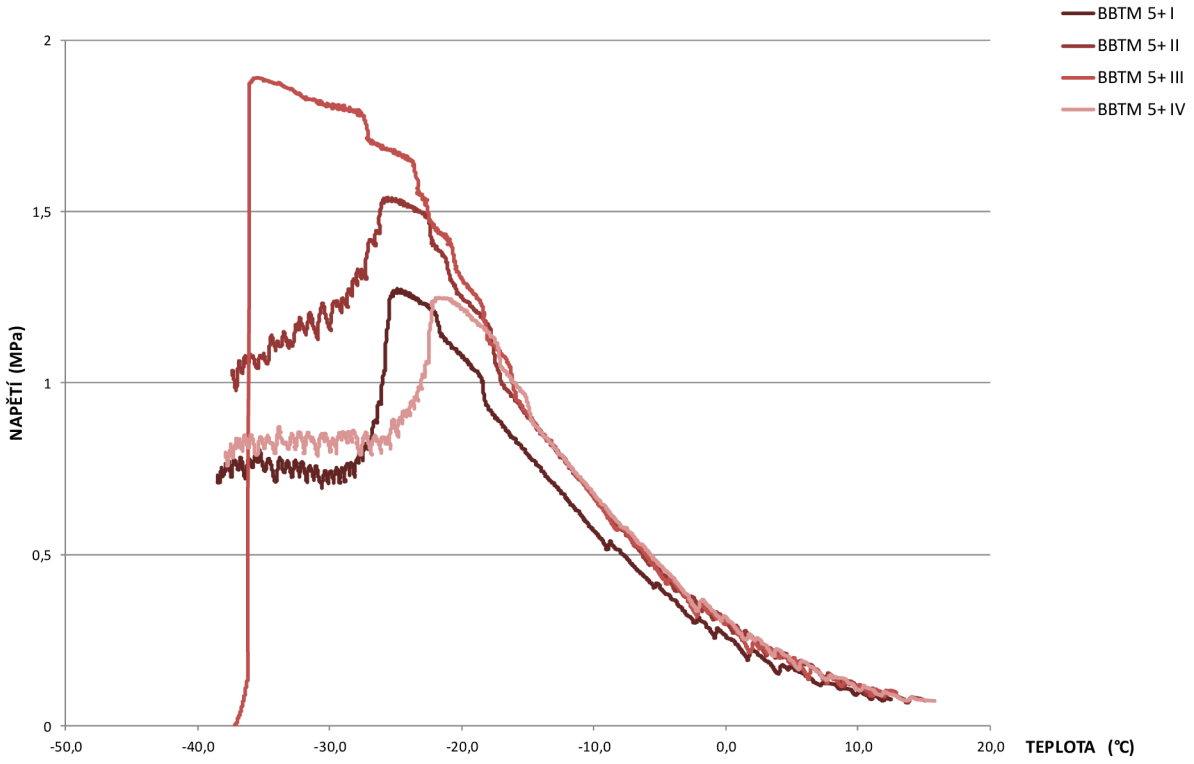
Z asfaltové směsi byly vyrobeny tři zkušební desky, z kterých se následně vyrobila zkušební tělesa. Tyto desky se lišily způsobem výroby a zároveň se také lišily výroby zkušebních těles. První deska byla vyrobena dle vypočtené navážky na tloušťku desky 50 mm. Tato deska byla rozřezána po 50 mm na pět zkušebních těles. Druhá deska byla dle vypočtené navážky hutněna na tloušťku desky 60 mm. Další zpracování spočívalo v nařezání pěti hranolů po 50 mm, které bylo zbroušeno na tloušťku 50 mm. Třetí deska byla hutněna po vrstvách, tedy dle spočtené navážky byla hutněna první vrstva o tloušťce 30 mm, na kterou se položila geomříž. Dále byla zhutněna deska s geomříží a zasypána asfaltovou směsí podle navážky pro 30 mm a pomocí lamelového zhutňovače zhutněna na tloušťku desky 60 mm. Deska byla rozřezána na 5 hranolů po 50 mm, přičemž bylo nutno dávat pozor na umístění geomříže tak, aby byly vždy dvě tahové lamely centricky v jednom hranolu. Tyto hranoly byly stejně jako u druhé desky zbroušeny na tloušťku 50 mm.



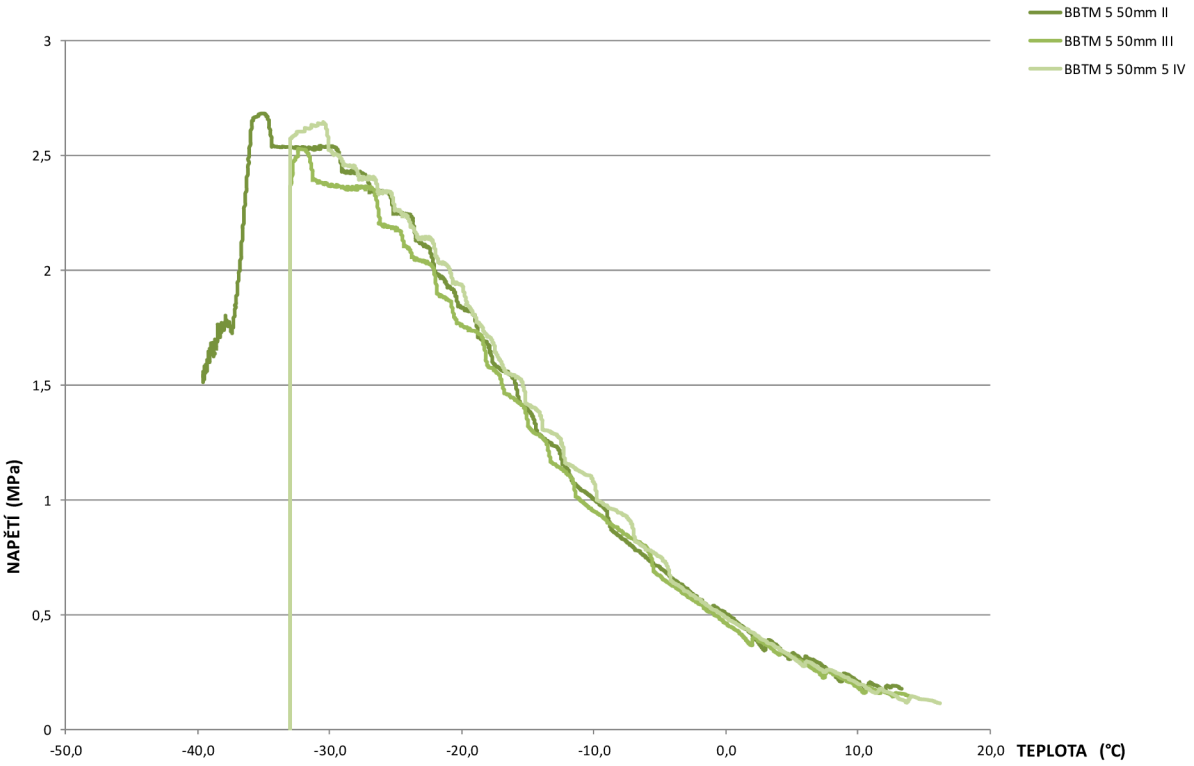
5.2 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Softwarovým řešením přístroje pro měření nízkoteplotních charakteristik CYKLON -40 byly ukládány hodnoty teploty jak v chladící komoře tak ve „slepém tělese“ uvnitř chladící komory, tahová síla působící mezi kotevními bloky (v tělese) a deformace na snímačích posunu. Pro analýzu naměřených hodnot byly zjištěné síly ve zkušebním tělese přepočteny na tahové napětí. Dále byly vypsány hodnoty maximálního napětí v jednotlivých zkušebních tělesech. Pokud bylo zkušební těleso porušeno mrazovou trhlinou, byla zapsána hodnota teploty při jeho porušení. Pokud nedošlo k porušení mrazovou trhlinou, tak se zapsala hodnota teploty při dosažení maximálního tahového napětí.

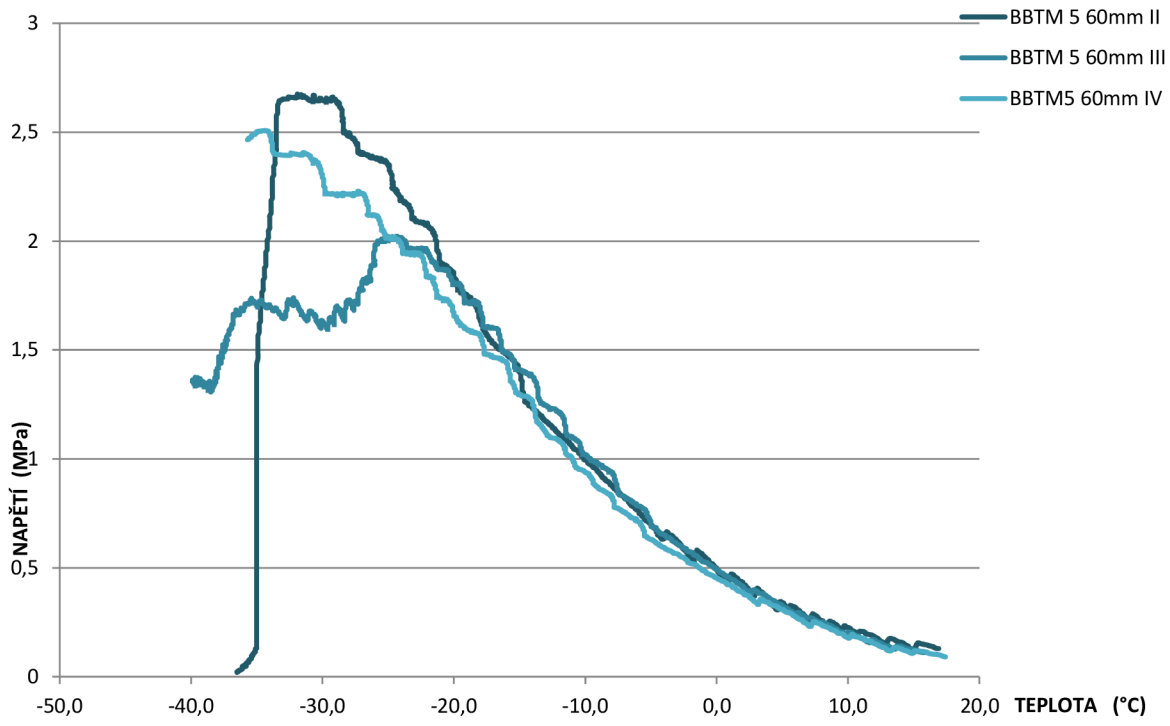
Následující grafy znázorňují výsledky nízkoteplotních zkoušek (TSRST) pro jednotlivé postupy výroby zkušebních těles.



Obrázek 27: Graf nízkoteplotních charakteristik zkušebních tětes s geomřížovinou

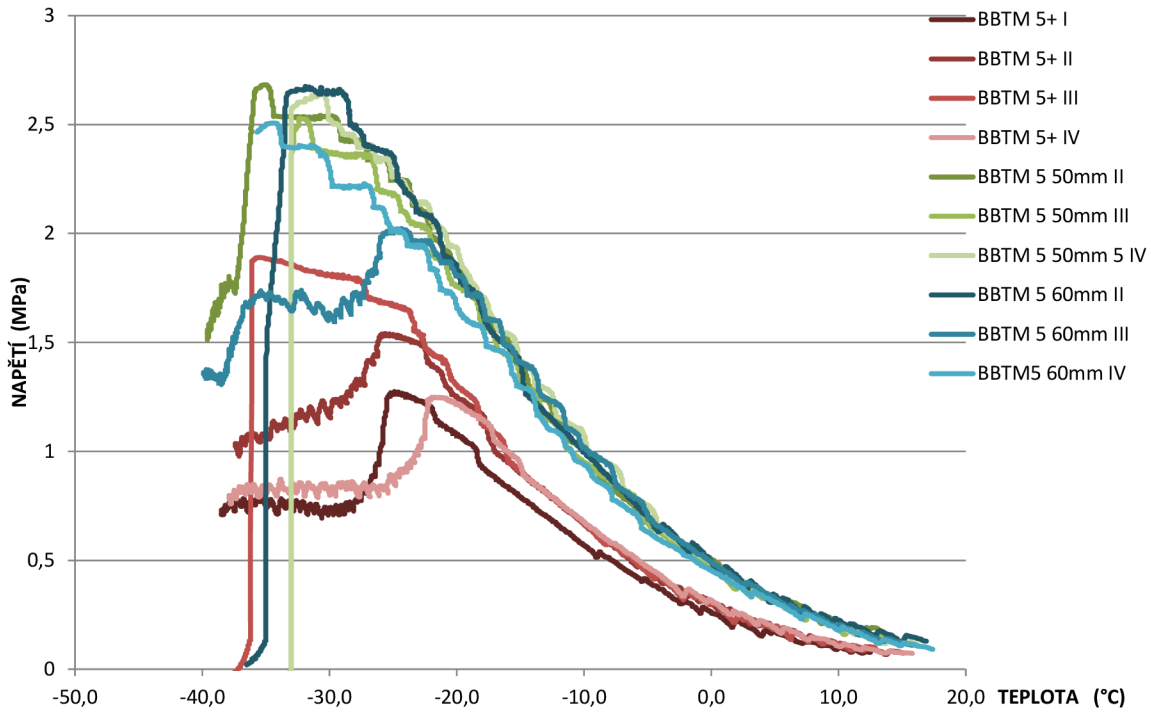


Obrázek 28: Graf nízkoteplotních charakteristik neobroušených zkušebních těles



Obrázek 29: Graf nízkoteplotních charakteristik obroušených zkušebních těles

Pro srovnání naměřených dat a vyvození závěru byly jednotlivé zkoušky na zkušebních tělesech sjednoceny do jednoho grafu na obrázku č. 30.



Obrázek 30: Graf nízkoteplotních charakteristik jednotlivých vzorků

V následující tabulce č. 9 jsou popsány dosažené minimální teploty a maximální hodnoty tahových napětí. V tabulce č. 9 jsou jednotlivá zkušební tělesa rozdělena barvou, která koresponduje s barvou křivky v grafu. V poznámce je uvedena teplota, při které bylo dosaženo maximálního tahového napětí zkušebních těles, která se neporušila trhlinou.

Tabulka 9: Tabulka hodnot minimálních teplot a maximálních napětí zkušebních těles

	NÁZEV VZORKU	MINIMÁLNÍ TEPLOTA (°C)	MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ (MPa)	POZNÁMKA	
OBROUŠENÁ	BBTM 5 60 mm II	-31,9	2,675	Došlo k porušení příčnou trhlinou	x
	BBTM 5 60 mm III	-39,9	2,022	Nedošlo k porušení příčnou trhlinou	-24,7 °C
	BBTM 5 60 mm IV	-34,3	2,507	Došlo k porušení příčnou trhlinou	x
NEOBROUŠENÁ	BBTM 5 50 mm II	-35,2	2,682	Došlo k porušení příčnou trhlinou	x
	BBTM 5 50 mm III	-32,4	2,529	Došlo k porušení příčnou trhlinou	x
	BBTM 5 50 mm IV	-30,5	2,645	Došlo k porušení příčnou trhlinou	x
MŘÍŽOVINA	BBTM 5+ I	-38,5	1,275	Nedošlo k porušení příčnou trhlinou	-24,9 °C
	BBTM 5+ II	-37,4	1,541	Nedošlo k porušení příčnou trhlinou	-25,6 °C
	BBTM 5+ III	-34,8	1,890	Došlo k porušení příčnou trhlinou	x
	BBTM 5+ IV	-37,9	1,275	Nedošlo k porušení příčnou trhlinou	-21,7 °C

Nejnižších maximálních tahových napětí dosahovala překvapivě zkušební tělesa obsahující geomříž. Těchto tahových napětí bylo dosaženo při nejvyšších teplotách – v rozmezí -21,7 °C až -34,8 °C s průměrnou hodnotou -26,8 °C. Nízká tahová napětí i vyšší kritické teploty je možné vysvětlit nehomogenitou zkušebních těles, která vznikla při hutnění dvouvrstvé zkušební desky.

Průměrná kritická teplota nezabroušených těles byla -32,7 °C a maximální tahové napětí bylo 2,62 MPa.

V případě zkušebních těles, která byla před zkouškou ze všech stran zabroušena, bylo dosahováno kritické teploty v rozmezí -24,7 °C až -34,3 °C a maximálních tahových napětí v rozmezí 2,02 MPa až 2,68 MPa. Průměrná kritická teplota byla -30,3 °C a průměrné maximální tahové napětí 2,40 MPa. Tyto průměrné hodnoty jsou ovšem ovlivněny výsledky zkušebního tělesa s označením III. Při vyloučení tohoto tělesa byla kritická teplota -33,1 °C, což je nejlepší výsledek ze všech tří srovnávaných skupin zkušebních těles.

Tělesa připravená všemi třemi postupy dosáhla velice kvalitních nízkoteplotních charakteristik, což je zapříčiněno použitím asfaltové směsi s CRmB, která obsahuje vysoké množství kvalitního pružného pojiva. Tato asfaltová směs dosahuje sama o sobě velice kvalitních nízkoteplotních vlastností. Běžně používané asfaltové směsi stmelené silničním asfaltem dosahují kritické teploty kolem -20 °C.

V případě čtyř zkušebních těles nedošlo k porušení tahovou trhlinou až do dosažení měřicí kapacity zkušebního zařízení, pouze došlo ke snížení tahového napětí a přerozdělení vnitřních sil v průřezu zkušebního tělesa. Tato situace nastává pouze v případě asfaltových směsí obsahujících asfalt modifikovaný pryžovým granulátem popř. u směsí s vysokým obsahem pojiva.

6 ZÁVĚR

V bakalářské práci bylo provedeno srovnání nízkoteplotních charakteristik tří skupin zkušebních těles, které byly připraveny různým postupem. Tělesa první skupiny tvaru trámce s rozměry 50 mm x 50 mm x 200 mm byla nařezána kotoučovou pilou z nahutněné desky tloušťky 50 mm, takže dvě protilehlé podstavy hranolů zůstaly nezabroušeny. Tělesa druhé skupiny byly vyrobeny z nahutněné desky tloušťky 60 mm a nařezané hranoly s tloušťkou 60 mm byly zabroušeny laboratorní bruskou na tloušťku 50 mm. Tělesa třetí skupiny byla nařezána z desky, která byla nahutněna ve dvou 30 mm vrstvách a mezi tyto vrstvy byla vložena výztužná geomříž typu SAINT GOBAN GLASSGRID GG100 - 8511. Tělesa byla poté zabroušena na tloušťku 50 mm. Všechny tři desky byly nahutněny z asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 5 A s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem.

Nízkoteplotní vlastnosti (kritická teplota a maximální tahové napětí) byly určeny jednoosou zkouškou v tahu podle ČSN EN 12697-46, která se označuje jako TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test) s rychlostí poklesu teploty 10 °C za hodinu.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ:

1. Průběhy zvyšování napětí jsou u obou sad zkušebních těles (zabroušených, nezabroušených) podobné, obě směsi mají stejné vlastnosti (modul pružnosti při snižování teploty). Spolehlivé výsledky 5 zkušebních těles stanovují průměrnou teplotu v ose zkušebního tělesa při přetržení tělesa -33,8 °C. Jedno zkušební těleso (BBTM5 60mm III) vykazovalo od počátku ochlazování podstatně vyšší necentrické zatěžování při snižování teploty (kroucení tělesa), čímž na jedné straně bylo vyšší protažení a docházelo na této straně k postupnému porušování trhlinou (což je pozorováno snižováním síly při měření) a zkušební těleso sice neprasklo, ale bylo porušeno v části průřezu. Zkušební těleso pak nesplňovalo podmínky zkoušky.
2. Z tohoto závěru také vyplývá, že vliv zabrušování těles s přesným stanovením rozměrů a zejména homogenního průřezu tělesa) u jemnozrnné směsi (do maximálního zrna 8 mm) nemá na výsledek zkoušky vliv (vliv zabroušení se bude projevovat při vyšší zrnitosti kameniva v asfaltové směsi).
3. Výsledky směsi s výztuží skelnou mřížovinou jsou překvapivě odlišné. Vzrůst napětí v průběhu ochlazování byl povlovnější, přibližně poloviční (tj. byl poloviční modul pružnosti než u směsí bez výztuhy). Proto toto vysvětlení nejsou žádné podklady.
4. Minimální pevnost geomříže je stanovena na 115 kN na 1 m délky mřížoviny, tj. dvě výztuhy zabudované do zkušebního tělesa mohly mít pevnost nejméně 5,75 kN. Dosažená tahová síla podle zkušebních protokolů dosahovala 3,2 kN až 4,7 kN, tzn., že zkušební těleso s vysokou silou se jediné porušilo trhlinou.

Tělesa připravená všemi třemi postupy dosáhla velice kvalitních nízkoteplotních charakteristik, což je zapříčiněno použitím asfaltové směsi, která obsahuje vysoké množství kvalitního pružného pojiva. Tímto pojivem byl asfalt modifikovaný pryžovým granulátem.

Použitá asfaltová směs dosahovala velice kvalitních nízkoteplotních vlastností. Běžně používané asfaltové směsi stmelené silničním asfaltem dosahují kritické teploty kolem -20 °C.

V případě čtyř zkušebních těles nedošlo k porušení tahovou trhlinou až do dosažení měřicí kapacity zkušebního zařízení, pouze došlo ke snížení tahového napětí a přerozdělení vnitřních sil v průřezu zkušebního tělesa. Tato situace nastává pouze v případě asfaltových směsí obsahujících asfalt modifikovaný pryžovým granulátem popř. u směsí s vysokým obsahem pojiva.

Práce by bylo zajímavé zopakovat s jiným typem asfaltové směsi, která by sama o sobě nedosahovala tak výborných nízkoteplotních vlastností a rozdíly v přípravě těles a vliv použití geomříže by se tudíž projevily znatelněji.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] O gumoasfaltu. Dostupné z: http://www.gasfalt.cz

[2] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. Dostupné z: http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html

[3] DAŠEK, O.; KUDRNA, J. Možnosti uplatnění odpadní pryže z ojetých pneumatik při modifikaci asfaltů. In *Asfaltové vozovky 2011.* 1. České Budějovice: Pragoprojekt, a.s., 2011. s. 1-6. ISBN: 978-80-903925-2- 6.

[4] TP 148, Hutněné asfaltové vrstvy s přídavkem drcené gumy z pneumatik, Předběžné technické podmínky, 2009

[5] http://www.casopisstavebnictvi.cz/vyuziti-gumoasfaltoveho-pojiva-do-obrusnych-vrstev-vozovek_N277

[6] http://www.barya-makina.com.tr/images/33.jpg

[7] Rekonstrukce komunikací s použitím mřížoviny HATELIT, Dostupné z: http://www.geosyntetika.cz/files/download/asfaltove-vozovky-99.pdf

[8] ČSN EN 12697-33+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek

[9] DAŠEK, O. Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí, 2006

[10] Počáteční zkouška typu, Dostupné z: http://www.ceskestavebnictvi.cz/rubrika.html?sk=0&k=14&l=1.7.2.1

[11] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, Dostupné z: http://www.pjpk.cz/TKP_7.pdf

[12] ČSN EN 12697-1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva

[13] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti

[14] ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa

[15] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

[16] Geomřížovina Saint Goban GlassGrid 8511, Dostupné z:

http://www.sg-adfors.com/cz/Znacky/GlasGrid/GlasGrid851

[17] Recyklace pneumatik, Dostupné z: http://www.sroty.cz/recyklace-pneumatik

[18] Geomřížoviny, Dostupné z: http://www.edb.cz/grmat/prosp/BIGUMA-P1.pdf

[19] Instalace geomřížoviny, Dostupné z:

http://17336.myshoptet.com/obleceni/fila-monica-vintage/

[20] Lom Černá Skála a Sloupno, Dostupné z: http://www.betonserver.cz/

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1: NAVÁŽKY JEDNOTLIVÝCH SMĚSÍ 17
TABULKA 2: PARAMETRY VYROBENÝCH DESEK 21
TABULKA 3: PARAMETRY NÁVRHOVÉ SMĚSI 28
TABULKA 4: PROPADY MATERIÁLŮ NA JEDNOTLIVÝCH SÍTECH 31
TABULKA 5: STANOVENÍ ZRNITOSTI 32
TABULKA 6: STANOVENÍ OBSAHU ROZPUSTNÉHO POJIVA 35
TABULKA 7: STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI 36
TABULKA 8: STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ZKUŠEBNÍCH TĚLES 37
TABULKA 9: TECHNICKÉ INFORMACE GEOMŘÍŽOVINY 38

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: KONSTRUKČNÍ VRSTVY PNEUMATIKY [2] 12
OBRÁZEK 2: TROJROZMĚRNÉ GRAFY POVRCHŮ ZRN JEDNOTLIVÝCH GRANULÁTŮ [3] 13
OBRÁZEK 3: MÍCHACÍ SOUPRAVA ECOPATH PRO PŘÍPRAVU GUMOASFALTOVÉHO POJIVA [5] 14
OBRÁZEK 4: NAPYTLOVANÝ KONCENTRÁT TECHNOLOGIE TECROAD [6] 15
OBRÁZEK 5: SAMOLEPÍCÍ MŘÍŽOVINA [18] 16
OBRÁZEK 6: ZPŮSOB POKLÁDKY GEOMŘÍŽE [18] 16
OBRÁZEK 7: LAMELOVÝ ZHUTŇOVAČ 18
OBRÁZEK 8: ŘEZ LAMELOVÝM ZHUTŇOVAČEM [8] 18
OBRÁZEK 9: ZOBRAZENÍ ZAROVNÁNÍ OCELOVÝCH LAMEL A FORMY 19
OBRÁZEK 10: ZNÁZORNĚNÍ VÁŽENI ZKUŠEBNÍ DESKY 20
OBRÁZEK 11: STOLNÍ KOTOUČOVÁ PILA S DIAMANTOVÝM KOTOUČEM CEDIMA 22
OBRÁZEK 12: DIAMANTOVÁ BRUSKA 23
OBRÁZEK 13: ZABROUŠENÁ A OZNAČENA TĚLESA 23
OBRÁZEK 14: KOVOVÝ RÁM PRO CENTRICKÉ NALEPENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 24
OBRÁZEK 15: NALEPENÉ TĚLESO PŘIPRAVENÉ KE ZKOUŠCE 24
OBRÁZEK 16: PORUŠENÍ TĚLESA MRAZOVOU TRHLINOU[9] 25
OBRÁZEK 17: CELKOVÝ POHLED NA ZAŘÍZENÍ CYKLON -40 [9] 26
OBRÁZEK 18: DETAIL UCHYCENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA V KOMOŘE 27
OBRÁZEK 19: MEZEROVITOST ASFALTOVÉ SMĚSI 28
OBRÁZEK 20: FOTKY LOMU ČERNÁ SKÁLA A SLOUPNO [20] 29
OBRÁZEK 21: ČÁRA ZRNITOSTI - FILER KUNČICE 29
OBRÁZEK 22: ČÁRA ZRNITOSTI - SDK 0/4 SLOUPNO 30
OBRÁZEK 23: ČÁRA ZRNITOSTI - HDK 2/4 ČERNÁ SKÁLA 30
OBRÁZEK 24: NÁVRHOVÁ ČÁRA ZRNITOSTI 31
OBRÁZEK 25: ČÁRA ZRNITOSTI VZORKU I. 33
OBRÁZEK 26: ČÁRA ZRNITOSTI VZORKU II. 34
OBRÁZEK 27: GRAF NÍZKOTEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK ZKUŠEBNÍCH TĚTES S GEOMŘÍŽOVINOU ... 40
OBRÁZEK 28: GRAF NÍZKOTEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK NEOBROUŠENÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLES 40
OBRÁZEK 29: GRAF NÍZKOTEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK OBROUŠENÝCH ZKUŠEBNÍCH TĚLES 41
OBRÁZEK 30: GRAF NÍZKOTEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ 41

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Hmotnost asfaltové směsi

M	hmotnost desky [kg]
L	vnitřní délka formy [mm]
l	vnitřní šířka formy [mm]
e	konečná tloušťka desky [mm]
ρ_m	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi [kg.m^{-3}]
v	mezerovitost směsi v desce [%]

Skutečná objemová hmotnost

ρ_{SKUT}	Skutečná objemová hmotnost
m_1	Hmotnost suché zkušební desky
m_2	Hmotnost desky ponořené ve vodě
m_3	Hmotnost desky nasycené vodou

Míra zhutnění

$\rho_{\%}$	Míra zhutnění (%)
ρ_{SKUT}	Objemová hmotnost skutečná (kg/m^3)
ρ_{CAL}	Objemová hmotnost kalkulovaná (kg/m^3)

Stanovení zrnitosti

M_F	Celková hmotnost materiálu procházejícího sítem 0,063 mm,v g
M	Celková hmotnost nevysušeného kameniva, v g
M_W	Hmotnost vody, v g
M_B	Hmotnost celkového pojiva, v g
M_C	Hmotnost materiálu, který zůstane na sítě 0,063 mm, v g

Obsah rozpustného pojiva

S	Obsah rozpustného pojiva v %
M	Hmotnost nevysušeného vzorku v g
M_1	Hmotnost minerálního materiálu po extrakci v g
M_W	Hmotnost vody v nevysušeném vzorku v g

Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

ρ_{mv}	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 s přesností 0,1 kg/m^3
m_1	hmotnost pyknometru a nástavce v g
m_2	hmotnost pyknometru, nástavce a zkušebního vzorku v g
m_3	hmotnost pyknometru, nástavce, zkušebního vzorku a vody v g
V_p	objem pyknometru při naplnění po referenční značku nástavce v m^3
ρ_v	Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 s přesností 0,1 kg/m^3

Objemová hmotnost nasyceného zkušebního tělesa

ρ_{bssd}	Objemová hmotnost SSD v kg/m^3
m_1	Hmotnost suchého tělesa, v g
m_2	Hmotnost tělesa ve vodě, v g
m_3	Hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného v g
ρ_w	Hustota vody

Mezerovitost asfaltové směsi

m	Mezerovitost asfaltové směsi s přesností 0,1 v %
ρ_m	Maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3
ρ_b	Objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m^3

Označení zkušebních desek

BBTM 5 50	„gumoasfaltový“ beton pro velmi tenké vrstvy deska tl. 50 mm
BBTM 5 60	„gumoasfaltový“ beton pro velmi tenké vrstvy deska tl. 60 mm¨
BBTM 5+ 60	„gumoasfaltový“ beton pro velmi tenké vrstvy deska tl. 60 mm s vloženou geomřížovinou

Parametry návrhové směsi

B_{min}	[kg/100 kg,%]	obsah rozpustného pojiva
B_{vol}	[v % obj.]	obsah rozpustného pojiva, hustota asfaltového pojiva při 20 °C je 1040 kg/m3
ρ_b	[$Mg.m^{-3}$]	objemová hmotnost asfaltové směsi
ρ_{mV}	[$Mg.m^{-3}$]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
V	[%]	mezerovitost zhutněné asfaltové směsi
VMA	[%]	mezerovitost směsi kameniva
VFB	[%]	stupeň vyplnění mezer
ρ_d	[$Mg.m^{-3}$]	objemová hmotnost směsi kameniva
ITSR	[%]	poměr pevnosti v příčném tahu
PRD_{AIR}	[%]	poměrná hloubka koleje po 5000 cyklech
WTS_{AIR}	[mm/100 cyklů]	přírůstek hloubky koleje

CRm**B** Crumb ruber modified bitumen

TSRST Thermal stress restrained specimen test

SEZNAM PŘÍLOH

1. PŘÍLOHA A

.

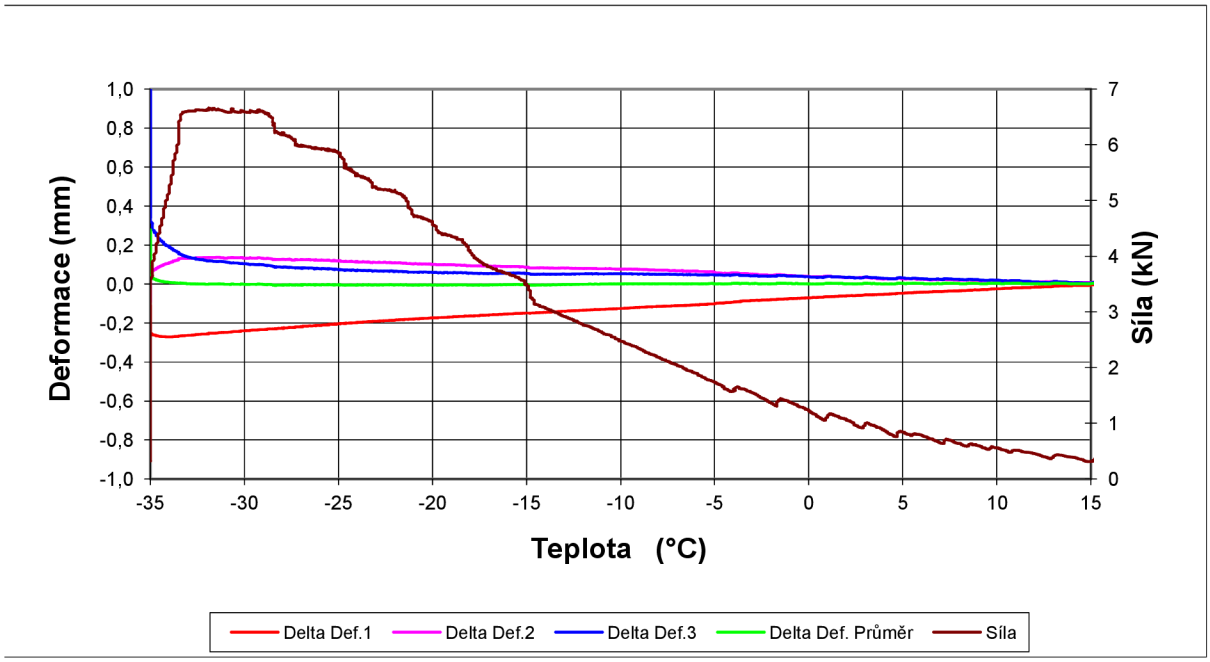
PŘÍLOHA A

PROTOKOLY ZE ZKOUŠEK ODOLNOSTI VŮČI MRAZOVÝM TRHLINÁM

VYSOKE UCENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM 5 60mm II
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.4 x 49.4 x 200
Datum zkoušky :	25.8.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	6,66
Max. napětí při porušení - MPa :	2,68
Teplota v komoře při porušení - °C :	-35,8
Teplota vzorku při porušení - °C :	-31,9

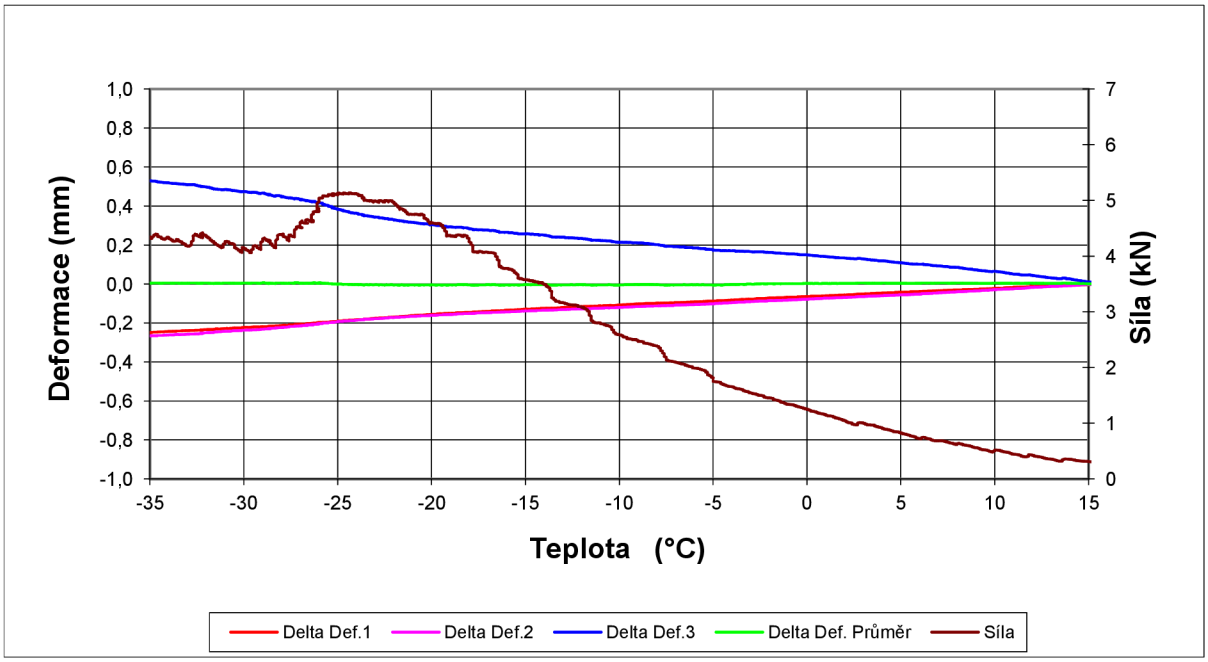


VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

VUT V BRNĚ, FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95
662 37 Brno
tel. : (05) 411 473 40
fax. : (05) 745 147
e-mail : kudrna@sil.fce.vutbr.cz

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

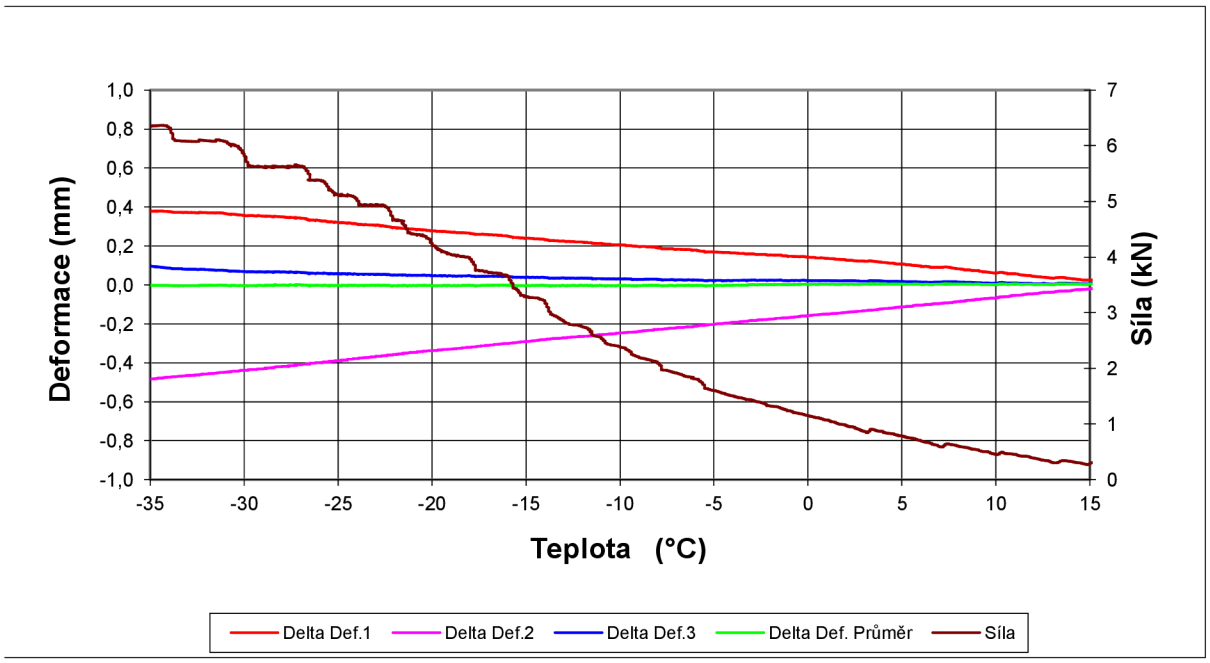
Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM5 60mm III
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.2 x 50.6 x 200
Datum zkoušky :	27.8.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	5,14
Max. napětí při porušení - MPa :	2,02
Teplota v komoře při porušení - °C :	-28,3
Teplota vzorku při porušení - °C :	-24,4



VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM5 60mm IV
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.9 x 49.9 x 200
Datum zkoušky :	28.8.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	6,37
Max. napětí při porušení - MPa :	2,51
Teplota v komoře při porušení - °C :	-37,5
Teplota vzorku při porušení - °C :	-34,4

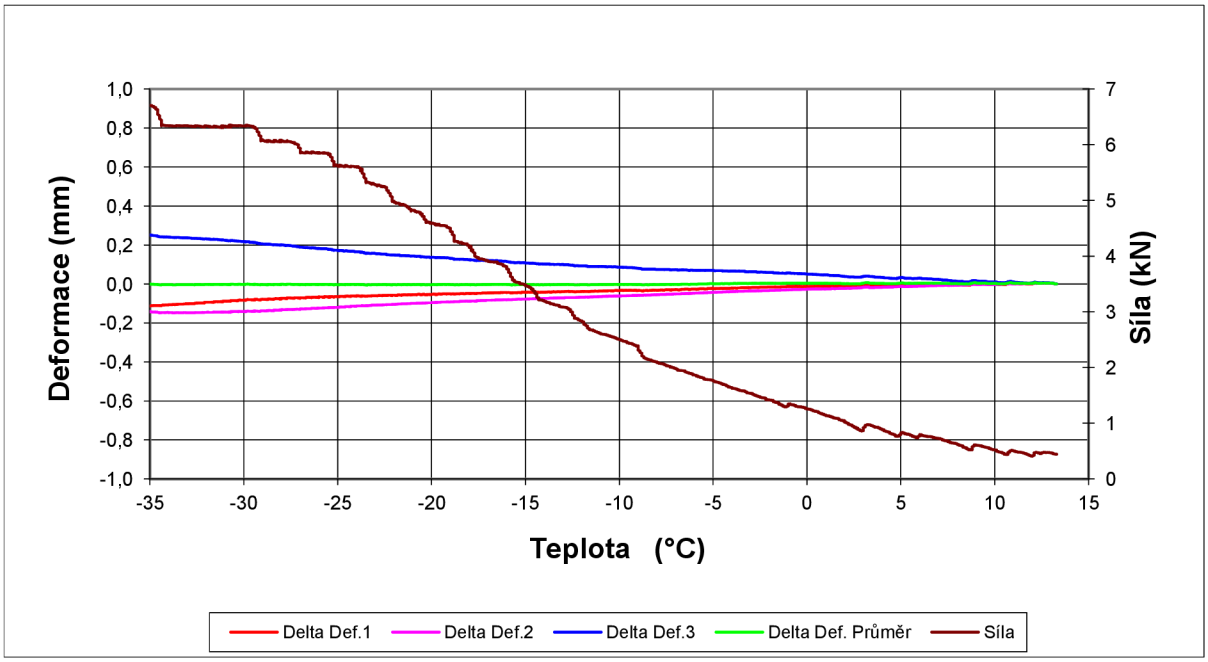


Praskl při vypnutí zkoušky!!!

VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

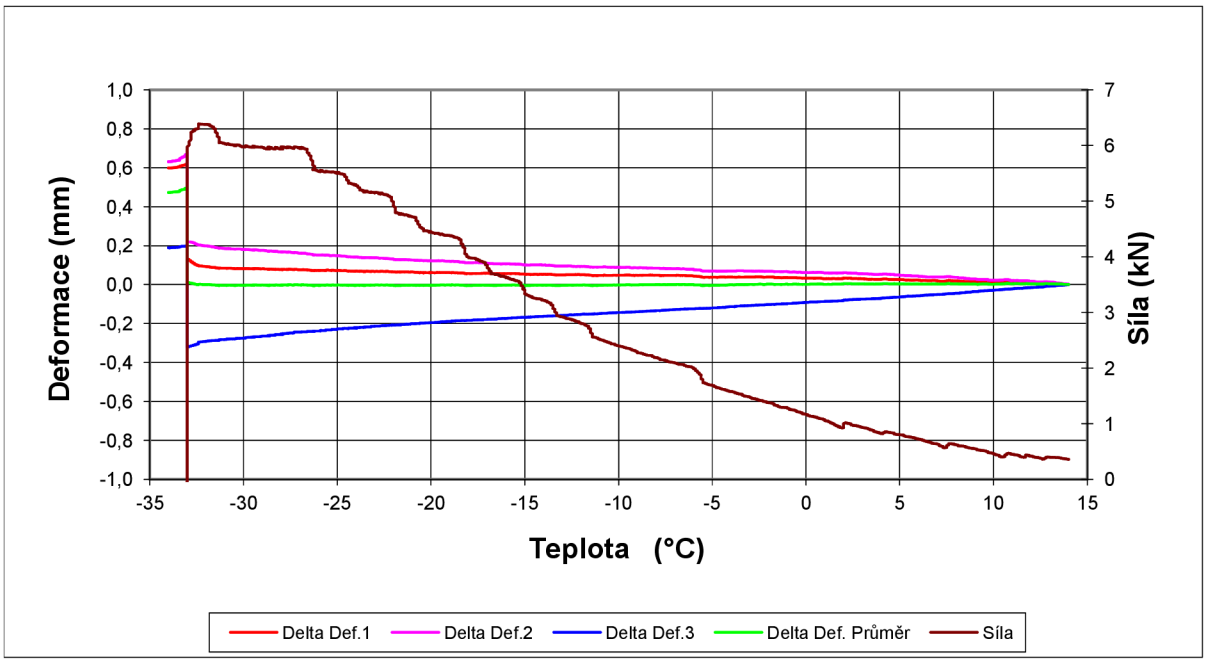
Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM 5 50mm II
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	29.8.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	6,71
Max. napětí při porušení - MPa :	2,68
Teplota v komoře při porušení - °C :	-38,4
Teplota vzorku při porušení - °C :	-35,0



VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

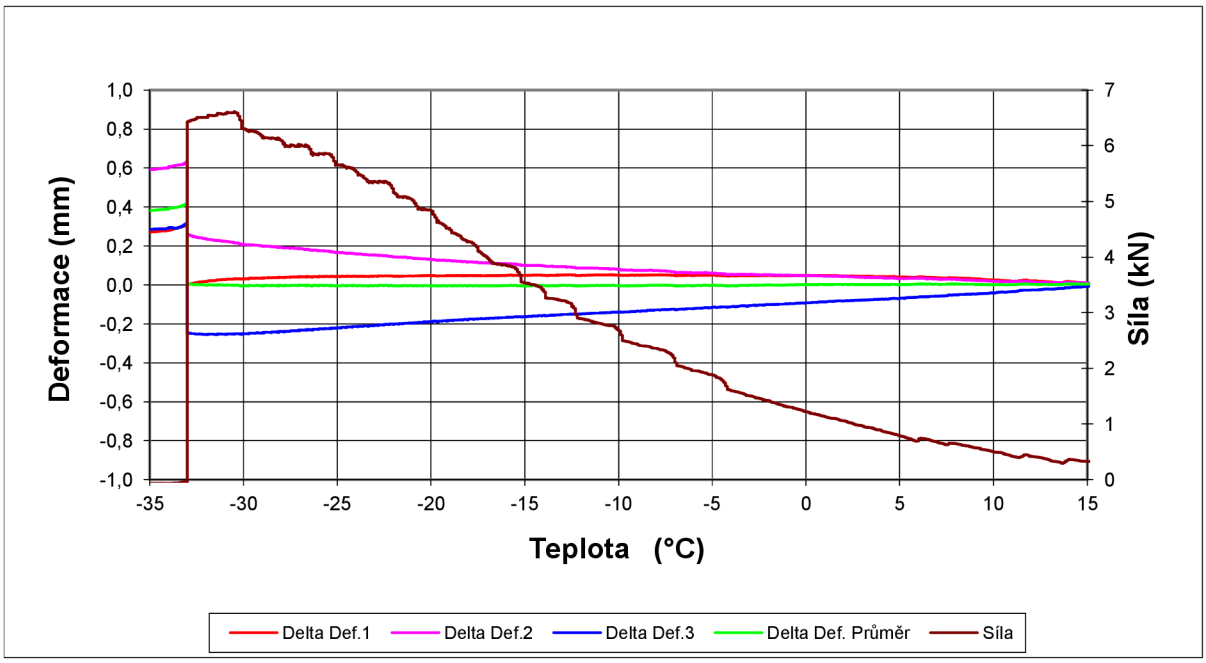
Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM5 50mm III
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.5 x 50 x 200
Datum zkoušky :	30.8.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	6,38
Max. napětí při porušení - MPa :	2,53
Teplota v komoře při porušení - °C :	-36,1
Teplota vzorku při porušení - °C :	-32,4



VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

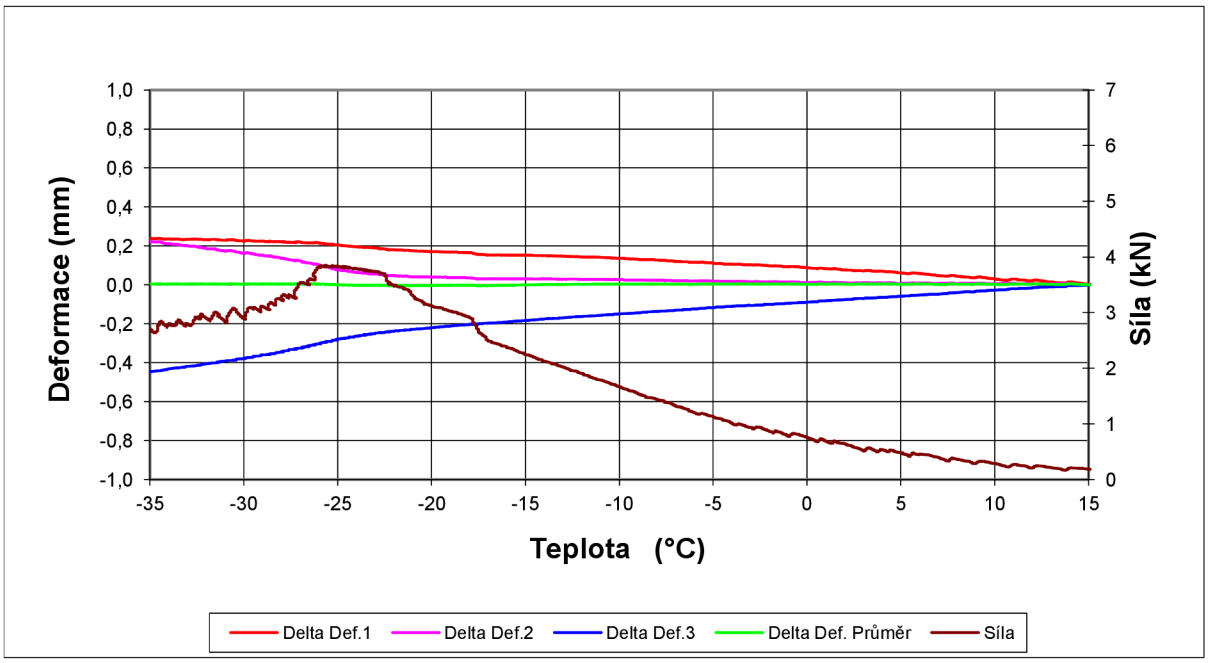
Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM 5 IV.
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	2.9.2013
Zkoušku provedl :	Jan Sklenář
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	6,61
Max. napětí při porušení - MPa :	2,65
Teplota v komoře při porušení - °C :	-34,0
Teplota vzorku při porušení - °C :	-30,5



VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM5 + II
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	3.9.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,85
Max. napětí při porušení - MPa :	1,54
Teplota v komoře při porušení - °C :	-29,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-25,6

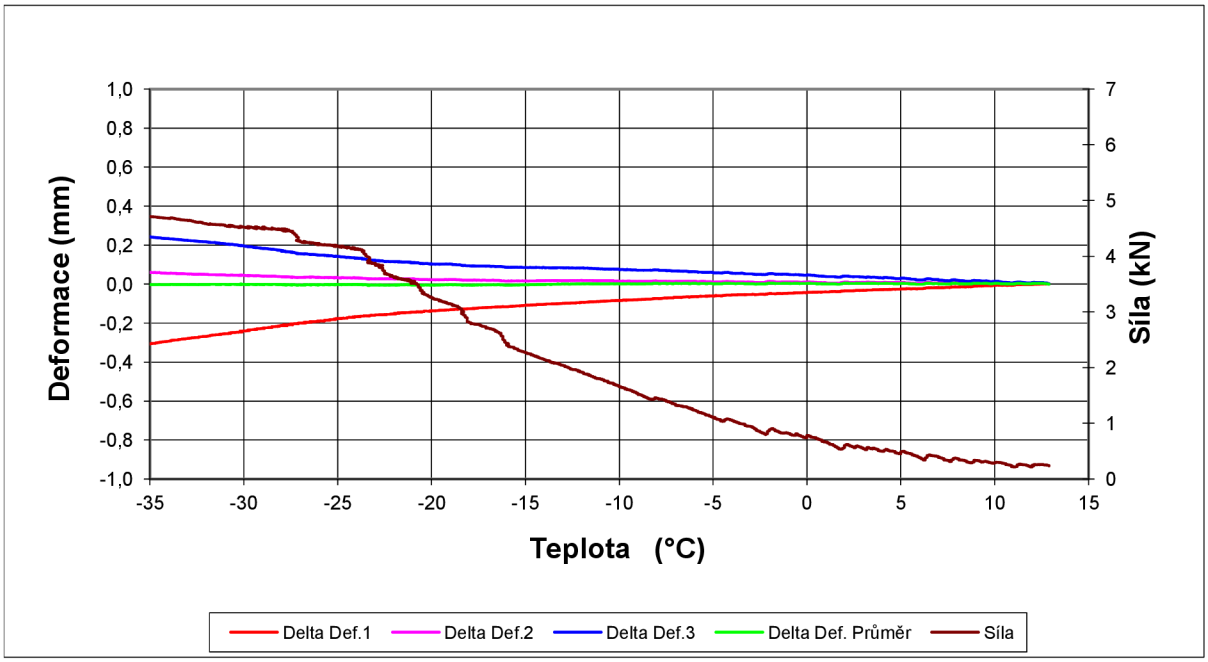


Nepraskl

VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

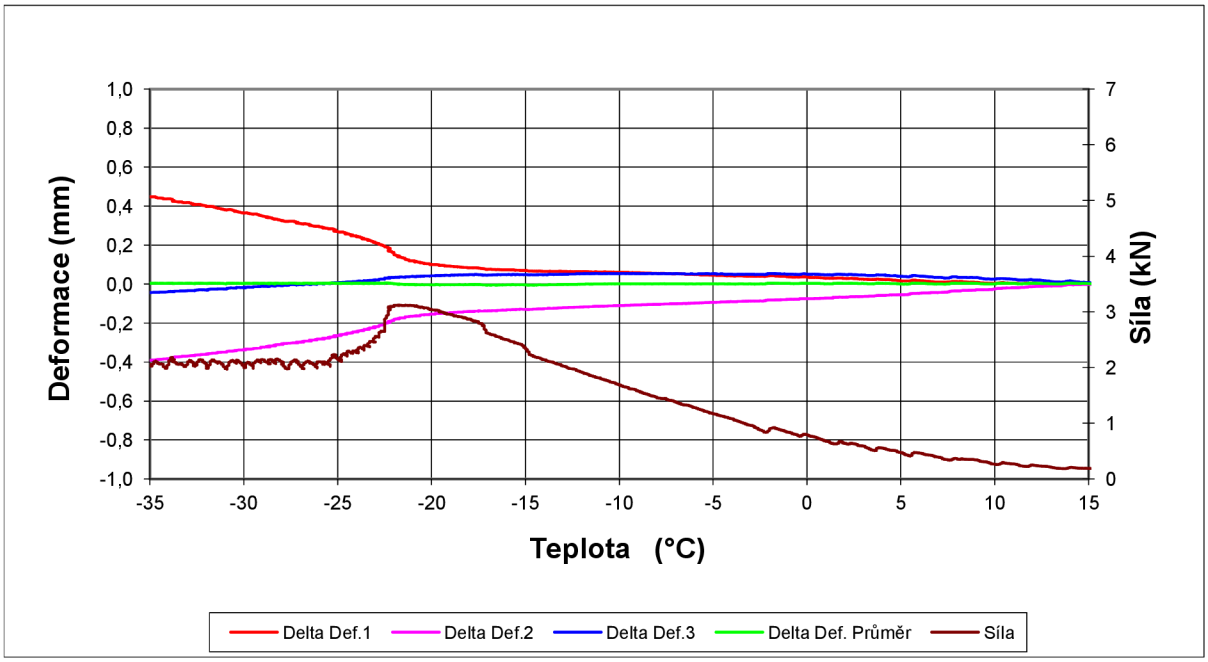
Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM 5+ III
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	4.9.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	4,72
Max. napětí při porušení - MPa :	1,89
Teplota v komoře při porušení - °C :	-38,4
Teplota vzorku při porušení - °C :	-35,4



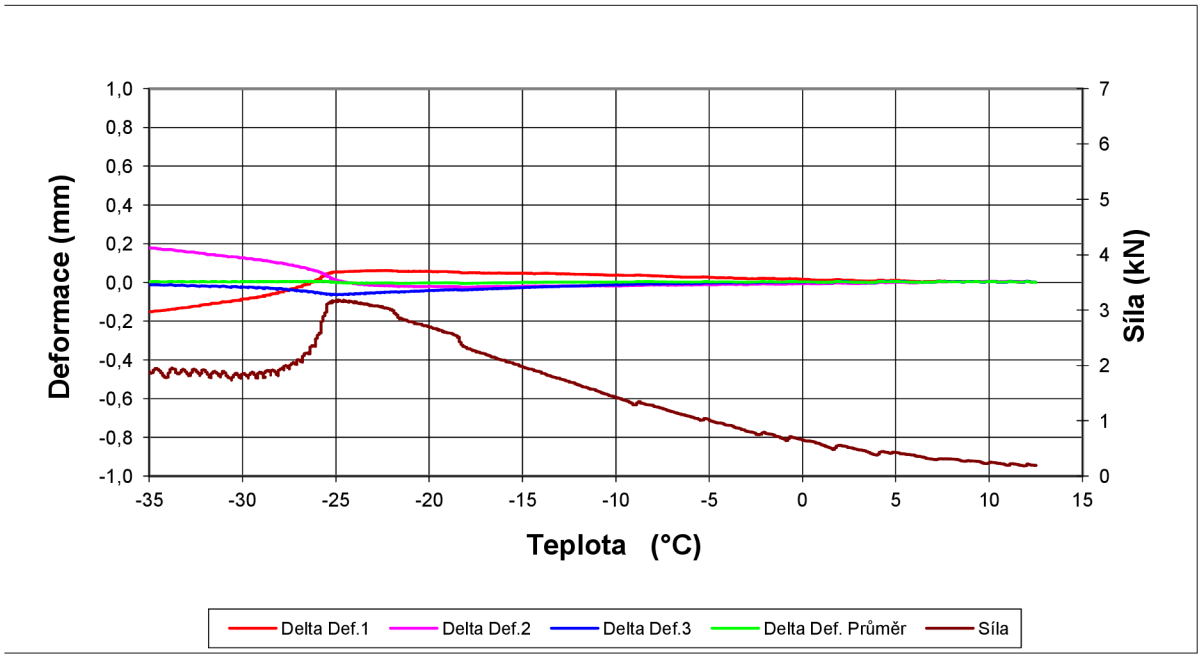
VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM 5+ IV
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	5.9.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,12
Max. napětí při porušení - MPa :	1,25
Teplota v komoře při porušení - °C :	-25,6
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,7



VYSOKE UCENI TECHNICKE V BRNE
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav pozemních komunikací

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	BP
Asfaltová směs :	BBTM 50+ I
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	11.10.2013
Zkoušku provedl :	Sklenar
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,19
Max. napětí při porušení - MPa :	1,27
Teplota v komoře při porušení - °C :	-29,4
Teplota vzorku při porušení - °C :	-24,9