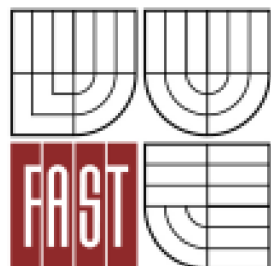




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# VLIV OBSAHU PRYŽOVÉHO GRANULÁTU NA NÍZKOTEPLTNÍ CHARAKTERISTIKY ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

The influence of crumb rubber content on low temperature characteristics of bituminous mixtures

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

bachelor's thesis

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Doležel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Václav Doležel
<b>Název</b>	Vliv obsahu pryžového granulátu na nízkoteplotní charakteristiky asfaltových směsí
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....  
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**

Výroba dvou asfaltových směsí s CRmB s různým obsahem pryžového granulátu (11 % a 17 % z hmotnosti CRmB). Určení nízkoteplotních charakteristik obou směsí.

## **Předepsané přílohy**

.....

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

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je navržení asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s použitím asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem a provedení zkoušek nízkoteplotních vlastností podle normy ČSN EN 12697-46.

## **Klíčová slova**

Asfalt, pryžový granulát, nízkoteplotní charakteristiky, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy.

## **Abstract**

The aim of this bachelor's thesis is the design of asphalt concrete for very thin layers with crumb rubber modified bitumen and the perform of low temperature characteristics tests according to ČSN EN 12697-46 standard.

## **Keywords**

Bitumen, crumb rubber, low temperature characteristics, crumb rubber modified bitumen, asphalt concrete for very thin layers.

## **Bibliografická citace VŠKP**

Doležel, Václav. *Vliv obsahu pryžového granulátu na nízkoteplotní charakteristiky asfaltových směsí*. Brno, 2014. **46 s.**, **10 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 bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5.2014

.....

podpis autora

Tímto bych rád poděkoval prof. Ing. Janu Kudrnovi CSc., Ing. Ondřeji Daškovi, Matějovi Šafránkovi a ostatním zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně za ochotu, čas, zkušenosti a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce.

## Obsah:

1. Úvod.....	9
1.1. Výhody a nevýhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem.....	9
1.2. Výroba pryžového granulátu .....	11
2. Výroba Asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem .....	13
2.1. Doprava a pokládka CRmB.....	15
2.2. Příklady asfaltových směsí s CRmB .....	17
2.3. Kamenivo .....	18
2.4. Filer .....	20
2.5. Asfaltové pojivo .....	21
3. Metodika řešení .....	22
4. Návrh a příprava asfaltové směsi.....	22
4.1. Kamenivo .....	22
4.2. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem.....	23
4.3. Návrh čáry zrnitosti asfaltové směsi BBTM 5 A .....	23
4.4. Výroba směsí.....	24
4.5. Stanovení fyzikálně mechanických vlastností.....	25
4.5.1. Objemová hmotnost jednotlivých směsí.....	25
4.5.2. Stanovení maximální objemové hmotnosti .....	27
4.5.3. Mezerovitost zhutněné asfaltové směsi .....	29
4.5.4. Mezerovitost směsi kameniva (VMA) a stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB) .....	30
4.5.5. Míra zhutnění desek .....	31
4.5.6. Nízkoteplotní charakteristiky – zařízení cyklon -40.....	34
5. Závěr.....	39
6. Seznam použité literatury .....	41
7. Seznam použitých zkratk a symbolů.....	42
8. Seznam grafů .....	43
9. Seznam tabulek.....	44
10. Seznam obrázků .....	45
11. Seznam příloh .....	46
12. Přílohy .....	Chyba! Záložka není definována.



# 1. Úvod

V České republice by se našla jen malá část motoristů, kteří by řekli, že jsou spokojeni se stavem pozemních komunikací na našem území. Trhliny, výtluky, vyjeté koleje nejsou žádný výjimečný jev. Za vinu nelze dávat jen ne vždy ideálnímu provedení některé z vrstev pozemní komunikace ale hlavně i stále se zvyšujícímu množství osobních a hlavně nákladních automobilů, které mají negativní vliv na trvanlivost pojízdné vrstvy. V 90. letech se počet nákladních automobilů téměř zdvojnásobil oproti létům předchozím, což lze považovat za největší problém pro udržení kvality vozovky. Od té doby se počet nákladních automobilů nadále zvyšuje ale už ne tak dramatickým poměrem. Dřívější projektanty však ze špatného stavu silnic vinit nelze, protože s pádem komunismu nastal již zmiňovaný prudký nárůst dopravy. Nelze tedy nic jiného než co nejlépe hospodařit s tím, co máme.

Při provozu vozidla působí na komunikaci svislý silový účinek, který je výslednicí statické síly, představující zatížení kola a dynamické síly způsobující kmitání kola za jízdy vlivem nerovností. Každá vozovka s asfaltovým povrchem má jistou pružnost a tedy i schopnost regenerace. Je-li však zatížení náprav a kol nebo četnost průjezdů těžkých vozidel příliš vysoké, přirozená pružnost vozovky tomuto náporu nestačí a deformuje se trvale. Vlivem vznikajících deformací roste čím dál tím rychleji dynamická složka síly – kola vozidel stále více kmitají, dynamický účinek síly roste z několika málo procent na mnohonásobek a stav vozovky se pak zhoršuje o to rychleji [13]. K opotřebení komunikace přispívají samozřejmě i povětrnostní vlivy a to tím že do nerovností a trhlinek v povrchu vniká dešťová voda nebo rozbředlý sníh a ten při nízkých teplotách zmrzne a narušenou silnici doslova roztrhá. Tím dochází k naprostému zničení vrstev a po nějakém čase se trhliny zvětšují a komunikace se stává čím dál hůře pojízdnou.

Světové ekonomické fórum vytvořilo žebříček asi 150 zemí světa a zhodnotilo kvalitu jejich komunikací v rámci reportu o konkurenceschopnosti. Česká republika se umístila na 81. místě, což je velmi špatný výsledek v porovnání s tím jaké země byly do tohoto reportu zahrnuty. Zjištění že ČR se umístila někde mezi rozvojovými zeměmi typu Írán, Indie, Pákistán a zeměmi z východu jako Kazachstán, Moldávie je pro stát ležící ve středu Evropy, jakožto důležitý dopravní uzel šokující. Žebříčku vévodí země ze západní Evropy jako Švýcarsko, Francie, Rakousko [14].

## 1.1. Výhody a nevýhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem

Právě ze západní Evropy a Severní Ameriky si berou čeští projektanti příklad a snaží se přebírat a praktikovat moderní technologie i v České republice. Jednou z těchto technologií je nový typ asfaltového povrchu s příměsí pryžového granulátu, hovorově zvaný Gumoasfalt. Pojivo se nazývá asfalt modifikovaný pryžovým granulátem a označuje se CRmB. Zkratka vznikla z anglických slov „Crumb Rubber Modified Bitumen“. Je to asfaltové pojivo složené ze silničního asfaltu a pryžového granulátu, které se vyrábí ve speciálních mísících centrech. Z fyzikálního pohledu je to pružné pojivo a ve srovnání s ostatními asfalty viskóznější a jak

dokazují výsledky zkoušek z laboratoří mají delší životnost a větší odolnost vůči nízkým i vysokým teplotám. Nemalou výhodou je i možnost použití menší tloušťky vrstvy oproti jiným běžným technologiím jako je polymerem modifikovaný asfalt při dodržení stejné doby životnosti úpravy. S tím ale souvisí i cena CRmB, která je při pořizování vyšší než u běžných asfaltů, ale při srovnání s pořizovacími náklady u běžných asfaltů a jejich následné častější opravy tak z ekonomického hlediska jsou částky srovnatelné. S pokládkou CRmB se totiž značně ušetří za protihluková opatření, které by bylo v určitých úsecích nutno navrhnout. Asi největší výhodou CRmB je bezpečnost díky zlepšení protismykových vlastností. V roce 2012 navštívil Českou republiku expert švédské silniční správy Thorsten Nordgren který má na starost projekt zaměřený na rozvoj silničních povrchů z CRmB. Hlavním tématem setkání proto byly zkušenosti s CRmB ve Švédsku. Na svém semináři vysvětlil, že jejich hlavním cílem při aplikování gumoasfaltu bylo zvýšení bezpečnosti, což znamenalo snížení počtu smrtelných nehod na tavných komunikacích. V průběhu dvou let 2007-2009 se došlo ke zjištění, že tento záměr byl úspěšný, když se podařilo snížit počet smrtelných nehod z 275 na 175. V této statistice je Švédsko nejlepší na světě. V České republice v loňském roce 2013 došlo k 436 smrtelným nehodám [15]. Ve srovnání se Švédskem, které má srovnatelný počet obyvatel tedy asi 9 500 000 a Česká republika asi 10 500 000, je tato bilance odstrašující. Samozřejmě ne vždy za způsobení dopravní nehody, ať už smrtelné nebo lehké, může stav komunikace. Ale určitě je to jeden z faktorů jak nehodám předcházet.

Dále CRmB snižuje dopravní hluk. Ve srovnání se starými, porušenými asfaltovými povrchy dosahují CRmB drenážní koberce snížení hluku až o 9 dB, navíc pohlcují i okolní hluk. Povrch z CRmB je tišší a pro lidské ucho příjemnější. Díky kvalitním protismykovým vlastnostem zkracují vrstvy s CRmB povrchem brzdnou dráhu a snižují riziko smyku. Vysoká odolnost vůči vzniku trvalých deformací zabraňuje také vytváření kolejí ve stopách vozidel. U CRmB drenážních koberců se pak za deště na silnicích nevytváří kaluže a tím pádem ani vodní clony za auty, které značně snižují viditelnost. Ale najdou se i určitá úskalí a nevýhody použití CRmB. Patří sem vyšší pracnost, energetická a organizační náročnost při výrobě. Pro kvalitní promísení pryžového granulátu a asfaltu je nezbytné použít v obalovnách přídatné míchací zařízení. Takto modifikovaný asfalt a asfaltové směsi jsou více přilnavé v mísicím zařízení, tím pádem obtížněji zpracovatelné a zhutnitelné čemuž se lze ale vyvarovat mírně vyšší teplotou pokládky, odlišným složením kameniva nebo vyšším dávkováním pojiva. Po vyhodnocení všech faktorů je jasné že výhody převyšují nad nevýhodami a úspory nad větší pracností. Z ekologického hlediska se jedná také o pozitivní vnímání, jelikož dochází k vysoké recyklaci použitých pneumatik, což vzhledem k tomu že je zakázáno skladovat pneumatiky vyhláškou č. 383/2001 sb. , výrazně ulevilo životnímu prostředí. Recyklací se rozumí komplexní zpracování pneumatiky. Ocelová lana z patek a kordu jsou zpracovatelné v hutním průmyslu, textil je asi nejproblematictější produktem recyklace, separuje se od ostatních složek vyfukováním, proto obsahuje i velké množství prachu, přesto i textil lze využít, například do izolačních a tlumících [16].

Samotný pryžový granulát má celou řadu využití, odvíjející se od velikosti frakce, jeho čistoty a základního materiálu, což je druh a konstrukce recyklovaných pneumatik. Z kvalitního granulátu je vyrobena pryžová směs, určena k dalšímu zpracování v gumárenství.

Tím se ušetří značná část syntetického i přírodního kaučuku i dalších přísad při výrobě nových výrobků, dále výroba sorpčních materiálů pro lapání úniku ropných látek do prostředí. Z granulátu se též vyrábějí podlahové krytiny, tlumící prvky, dlažba, sportovní hřiště, drážní přejezdy a do asfaltových směsí. Nejméně kvalitní díl je pak likvidován ve spalovnách. Spalování pneumatik je další způsob likvidace, dokonce jsou považovány za ekologičtější palivo pro cementárny než jiné druhy paliv, například topné oleje [17].

## 1.2. Výroba pryžového granulátu

Pryžový granulát z odpadních pneumatik lze získat několika způsoby. Nejběžnějším postupem výroby granulátu je vícenásobné mechanické drcení za normální teploty. Při této metodě 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 jednotlivých kusů pneumatik. Po hrubém nadrcení jsou magnetem odseparovány kovové částice. Za posledním drtičem je osazen vibrační třídič, který rozděluje granulát na jednotlivé frakce a větší zrna vrací zpět na opětovné zpracování.

Pro úpravu vlastností zrn granulátu je možné na konec výrobní linky zařadit tzv. kalandr, což je zařízení obsahující dva hladké ocelové válce s různou úhlovou rychlostí rotace. Zrna granulátu procházejí úzkou štěrbinou mezi těmito válci, čímž jsou zrna povrchově upravena (kalandrována).

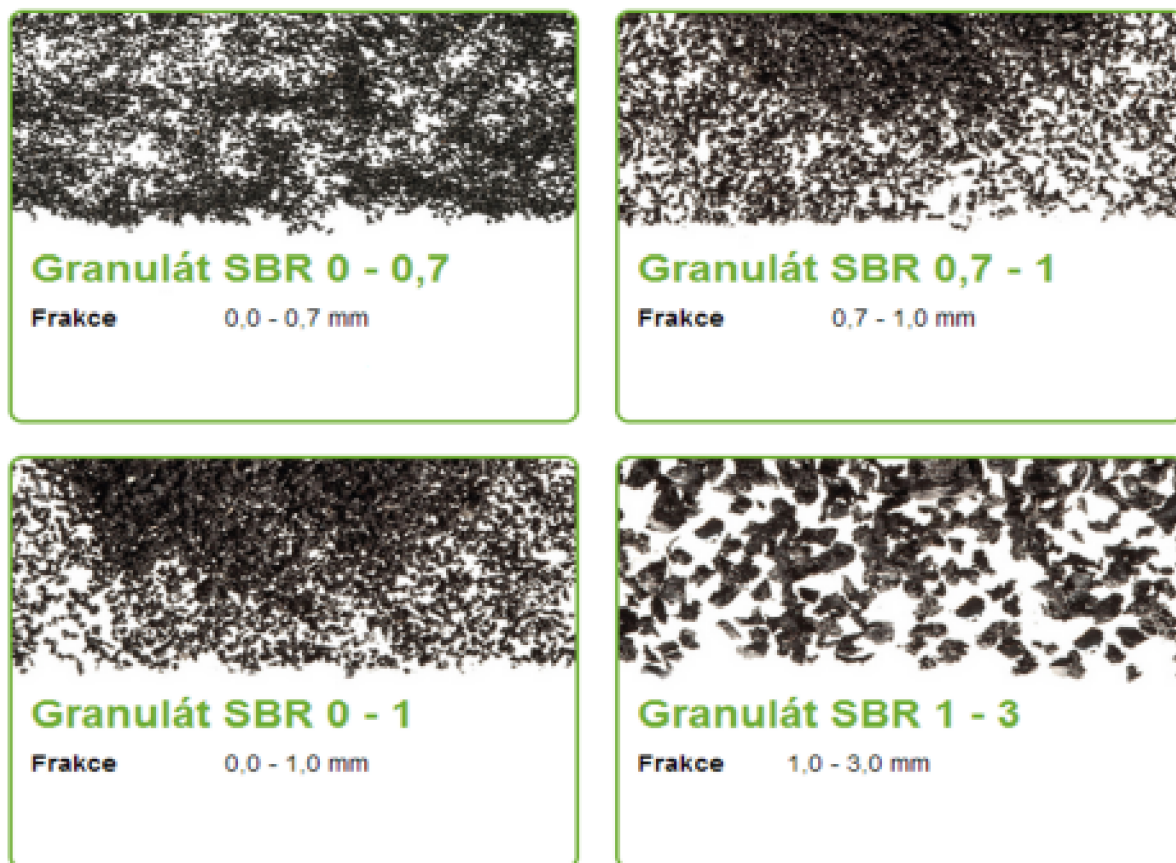


Obr. 1: Skladování a drcení pneumatik [18]

Další možností pro výrobu pryžového granulátu je metoda kryogenního drcení. Pneumatika je ochlazena tekutým dusíkem, čímž se dosáhne zkřehnutí pneumatiky tak, aby ji bylo možné rozmělnit sekacím strojem.

Při výrobě granulátu ozonovým rozkladem procházejí pneumatiky vysoce koncentrovanou ozonovou atmosférou, kde dochází k jejich rozpadu na pryžovou drť a z pneumatiky zůstává jen kovová kostra. Je třeba zajistit, aby na určitý objem pryže působila přesná dávka ozonu, proto musí být pneumatiky tříděny podle objemu a druhu. Granulát vyrobený ozonovým rozkladem se do asfaltových směsí nepoužívá.

Takto lze vyrobit pryžový granulát o velikosti zrn jakékoliv frakce, do asfaltů nejpoužívanější 0-1mm. Granulát používaný pro výrobu CRmB má mít stálou objemovou hmotnost ( $\pm 60$  kg $\times$ m<sup>-3</sup>), vlhkost nižší než 0,75 %, obsah částic oceli nižší než 0,01 %, vláken méně než 0,5 % a jiné znečištění (písek, sklo, dřevo apod.) smí být nejvýše 0,25 %. Z každé použité pneumatiky lze využít podle potřeby až 45 % z její celkové hmotnosti pro výrobu tohoto jemnozrnného pryžového granulátu[19].



Obr. 2: Příklady frakcí pryžového granulátu [20]

## 2. Výroba Asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem

K vytvoření asfaltové směsi se dají použít tyto 3 metody:

1. Suchý proces (dry proces, Rubit): Starší metoda, pocházející ze Švédska založená na přidání granulátu zrnitosti 0/4 mm spolu s kamenivem přímo do míchačky obalovny. K dosažení potřebné homogenity je nutné prodloužit dobu míchání. Pro modifikaci silničního asfaltu pryžovým granulátem musí zůstat horká směs alespoň jednu hodinu v zásobníku asfaltové směsi.

2. Mokrý proces (Crumb Rubber modified Bitumen, CRmB): Je to nejrozšířenější způsob výroby asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. V zásadě lze technologii přidavku pryžového granulátu do asfaltu rozdělit na kontinuální výrobu neskladovatelného pojiva na obalovně (continuous blend) a výrobu pojiva v rafinerii s přísadami omezujícími usazování pryžového granulátu s omezenou dobou zpracovatelnosti (terminal blend). Podle platných TP 148 [12] se CRmB rozděluje do tří tříd skladovatelnosti.

- Při metodě „continuous blend“ se pojivo vyrábí ve speciálním mísicím zařízení, které je umístěno na obalovně. Modifikovaný asfalt je míchán po celou dobu reakce a pojivo vzniklé metodou „continuous blend“ je v TP 148 [12] označeno jako pojivo,

u něhož se skladovatelnost neposuzuje. Nejcitlivější vlastností pojiva a ukazatelem kvality je dynamická viskozita, která se během skladování za horka mění. Při výrobě CRmB v mobilním nebo stacionárním zařízení přímo na obalovně je do asfaltového pojiva vmícháván pryžový granulát v množství 15 % až 25 % při teplotě 170 °C až 185 °C. Poté se pojivo přivádí do reakční nádrže zařízení a stále se promíchává. Při míchání asfalt reaguje s pryží a pojivo se modifikuje. CRmB se čerpá zubovým čerpadlem k dávkovacímu zařízení obalovny. Viskozitu pojiva je nutné kontrolovat rotačním viskozimetrem. V literatuře je uváděna možnost dlouhodobého skladování CRmB za běžných teplot (nižší než 120 °C), přičemž CRmB je možno po jeho následném ohřátí a promíchání použít.

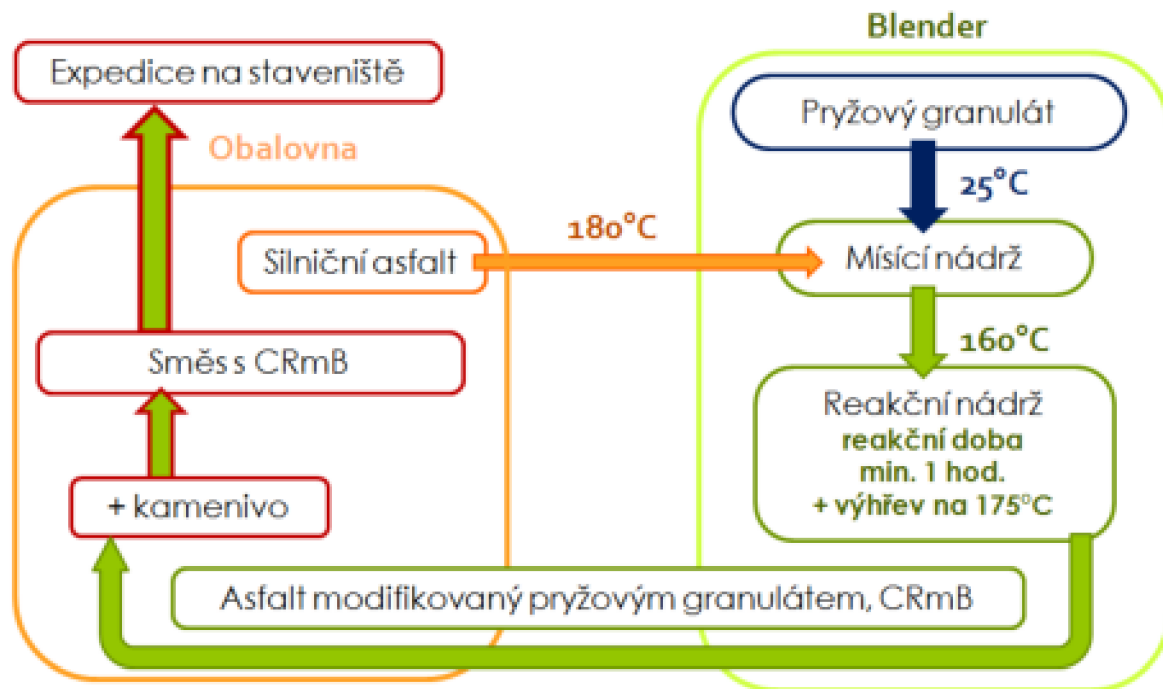
- Při metodě „terminal blend“ se většinou vyrábí modifikací asfaltu jemnozrnným pryžovým granulátem v rafinerii podobně jako modifikovaný asfalt. V TP 148 [12] je tento typ CRmB popsán jako pojivo, u kterého se skladovatelnost posuzuje upravenou metodikou zkoušení. Většinou se používá nižší množství jemného pryžového granulátu (5 % až 15 %) a chemické přísady dočasně udržující jemné částice pryže rozptýlené v celém objemu pojiva. U těchto pojiv lze předpokládat, že jsou skladovatelná, nebo alespoň omezeně skladovatelná. Proto je nutné dodržet předepsanou dobu trvání dopravy a následnou dobu skladování. Vhodné je na obalovně použít míchadlo.
- Posledním druhem CRmB podle TP 148 [12] je pojivo, u kterého se skladovatelnost posuzuje stejně jako u modifikovaných asfaltů.

3. Technologie sypkého koncentráту (obchodní označení TecRoad) je kombinací suchého procesu a metody „terminal blend“. Jedná se o granulovaný koncentrát (předsměs) dodávaný v plastových pytlích, který se vyrábí ve speciální výrobní lince v Rakousku. Jemný pryžový granulát se několik hodin míchá se silničním asfaltem, přečerpává se a na konci linky se přidáním pryžového granulátu a chemickou cestou upravuje do sypké hmoty, která je vlastně koncentrátem asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. Tato metoda spojuje výhody obou předešlých postupů, protože je možné tuto předsměs snadno dávkovat jako u technologie Rubit spolu s kamenivem do míchačky obalovny, ale větší část pryžového granulátu v asfaltu zreagovala již při výrobě koncentráту jako u technologie „terminal blend“.

Suchý proces se používal v letech 1998 – 2002 a byl zkoumán hlavně kvůli nižším nákladům oproti procesu mokrému. Směs vyrobena suchým procesem vykazovala horší vlastnosti hlavně díky tomu, že pryžový granulát nebyl dostatečně rozložen ve směsi a při této výrobě nedošlo ke spolupůsobení s asfaltem. Tím pádem nedošlo ani k požadované modifikaci. Došlo k popraskání a drolení směsi a následnému vytvoření výtluků a nerovností.

Z toho vyplývá, že za výhodnější z hlediska spolehlivosti materiálu a jeho funkce lze považovat mokrý proces. Proces, při kterém se CRmB vyrábí ve speciálním míchacím zařízení, v kterých dochází k přidávání pryžového granulátu do asfaltu. Dále k vzájemnému spolupůsobení a následně k přísunu pojiva k dávkovacímu zařízení obalovny s přímým

dávkováním do míchačky. Takto vyrobené směsi vykazují lepší funkční vlastnosti a zaručují větší spolehlivost. Schéma mísícího zařízení je zachyceno na obrázku [21].



Obr. 3: Schéma mísícího zařízení [22]

## 2.1. Doprava a pokládka CRmB

Přemístění asfaltové směsi s CRmB komplikuje lepivost tohoto materiálu. Tuto komplikaci lze alespoň částečně snížit ošetřením úložného prostoru nákladního auta separačním postřikem např. saponátem nebo roztokem mýdla, ne však rozpouštědlem jako je nafta, petrolej. Aby se zabránilo zchladnutí a znečištění směsi je nutno úložný prostor skrýt plachtou. Vzdálenost místa pokládky od místa mísení směsi by měla být co nejmenší, maximálně do 50 km. S větší vzdáleností nastávají komplikaci pro následné vyložení a zpracování. Doba přepravy CRmB směsi musí být nejvýše 1,5 hodiny.

Podklad pro pokládku vrstev směsí s CRmB musí splňovat požadavky předpisů na vrstvy, podle nichž byl proveden. Před pokládkou směsí s CRmB se provede spojovací postřik z modifikované kationaktivní emulze. Při pokládce na staré asfaltové vrstvy vozovky musí být opraveny výtluky vysprávkou z asfaltového betonu a utěsněny trhliny. Nerovnosti přesahující tolerance položené vrstvy musí být odstraněny frézováním nebo vyrovnávací vrstvou. U ložných vrstev je tolerance do 20 mm a u obrusných vrstev je to 10 mm. Povrch musí být dokonale očištěn od uvolněného materiálu, prachu a nečistot. Je-li mezerovitost obrusné vrstvy směsí CRmB vyšší než 10 % je nutno snížit mezerovitost u ložné vrstvy na maximálně 6 %. Při vyšší mezerovitosti ložné vrstvy je nutno provést postřik podle technických podmínek TP 147 [11].

Pokládka CRmB směsi se nijak neliší od pokládky jiných asfaltových směsí. Teplota by měla být 105°C . Musí být dodržena požadovaná tloušťka vrstvy a náležitě kontrolována. Násypka finišeru musí mít dostatečnou kapacitu, aby nedošlo k zastavení práce finišeru. Finišery by neměly stát na místě déle než 5 minut. Podélná pracovní spára musí být vytvořena v ose vozovky u dvoupruhových komunikací a na styku jízdnic pruhů v případě vícepruhových vozovek. Pracovní spára nesmí být nikdy v jízdni stopě. K hutnění se používají hladké ocelové válce se statickým účinkem, ty musejí najíždět hned po pokládce směsi finišerem. Hutnění vibračními válci se provádí pouze v první fázi a to nejvýše třemi pojezdy. Dohutňování se provádí do teploty 60°C. Kvalitně provedené zhutnění je zárukou dlouhé životnosti vrstvy.



Obr. 4: Pokládka CRmB vrstvy [23]



## 2.2. Příklady asfaltových směsí s CRmB

V následujícím textu je proveden výčet asfaltových směsí s CRmB nejčastěji používaných v České republice.

**BBTM 5 A** - (Béton bitumineux très mince) asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy

s CRmB maximální velikostí zrna použitého kameniva 5 mm třídy A

- snižuje hluk oproti SMA 11 s PmB o 2 – 3dB
- je odolný vůči trvalým deformacím, vzniku trhlin a vyznačuje se vysokou trvanlivostí povrchu
- má velmi dobré protismykové vlastnosti
- obrusná vrstva je v tloušťce 20 – 30 mm

**PA8** – asfaltový koberec drenážní s CRmB

- Vyznačuje se nižšími hlukovými emisemi oproti SMA 11 s PmB o 3 – 5 dB
- Má výborné protismykové vlastnosti
- Odvádí srážkovou vodu a tím zvyšuje bezpečnost silničního provozu zejména za deště
- Obrusná vrstva je v tloušťce 25 – 35 mm

**SMA 8 S** – asfaltový koberec mastixový s CRmB

- Vyznačuje se vysokou odolností vůči trvalým deformacím, vzniku a prokopírování trhlin a trvanlivostí, což je dáno kvalitními únavovými a nízkoteplotními charakteristikami
- Používá se zejména pro vozovky s vysokým dopravním zatížením

**SAL** – (stress absorbing layer) asfaltová vrstva se zvýšenou odolností proti šíření

trhlin s CRmB

- Vyznačuje se vysokou odolností vůči prokopírování a šíření trhlin, což je dáno vynikajícími únavovými a nízkoteplotními charakteristikami
- Umisťuje se pod ložní, podkladní nebo obrusnou vrstvu a slouží pro omezení šíření trhlin a při překrytí vozovek s cementobetonovým krytem
- Používá se v tloušťce 15 – 35 mm[24]

Pro představu na komunikacích, kde byla položena jedna z vrstev CRmB a došlo ke snížení hluchnosti o několik decibelů. Například na městské komunikaci Michelská v Praze vykazuje snížení hlukové zátěže o 2,2 dB [25]. Toto snížení hluku odpovídá účinku snížení intenzity dopravy o 40 % nebo omezení rychlosti jízdy o 10 km/h a blíží se účinku protihlukové opatření pomocí clonících stěn, které však v městských podmínkách nelze použít.

### 2.3. Kamenivo

Kamenivo použité pro výrobu směsi BBTM musí vyhovovat požadavkům uvedených v ČSN EN 13108-2 [1] a TP 148 [12]. Musí se použít pouze materiál prokazatelně vhodný. Pro úseky vozovek se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti obrusné vrstvy se doporučuje kamenivo splňující ohladitelnost PSV nejméně 56.

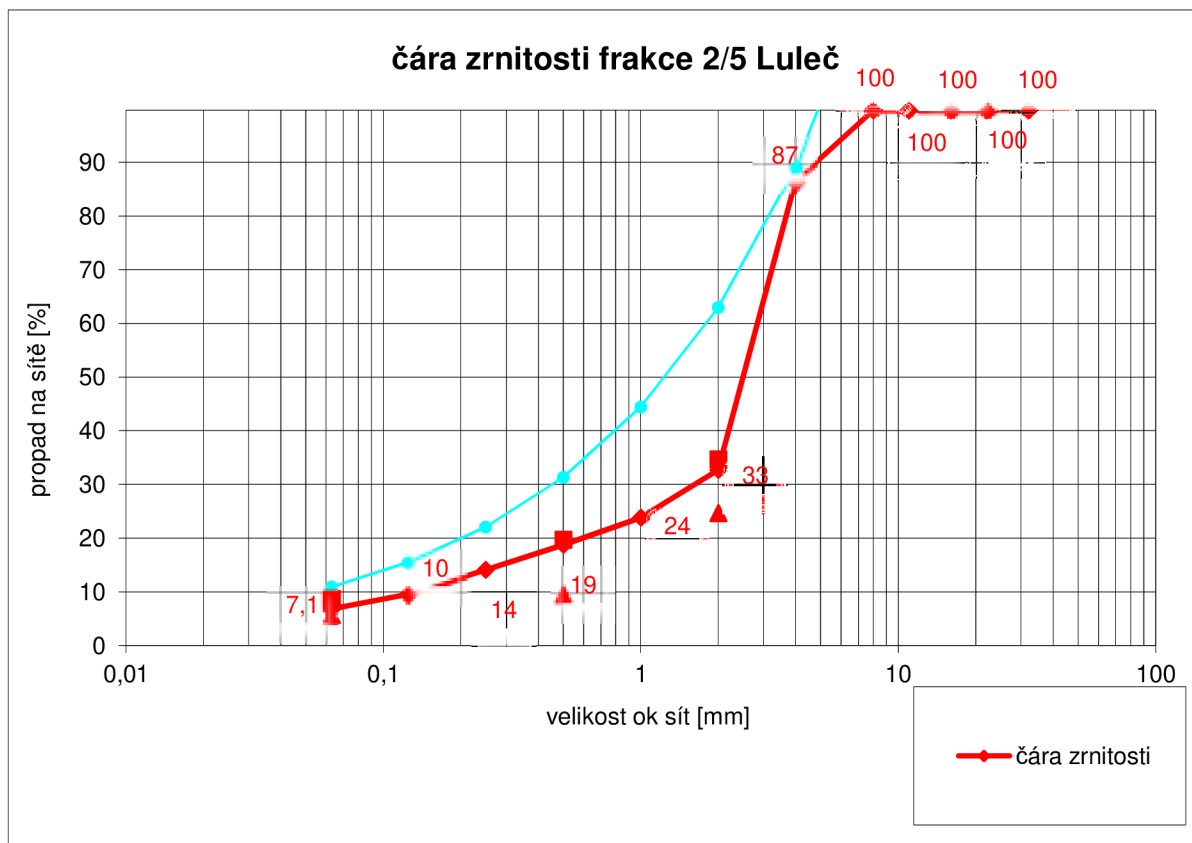
V této práci byla upravena čára zrnitosti podle nově schvalovaných TP 148 [12] podle tabulky P1 na 0/5 mm.

Velikost sít [mm]	Propad [%] hmot.
32	100
22	100
16	100
11	100
8	100
4	81,3
2	7,7
1	4,3
0,5	3,3
0,25	2,6
0,125	2,1
0,063	1,7

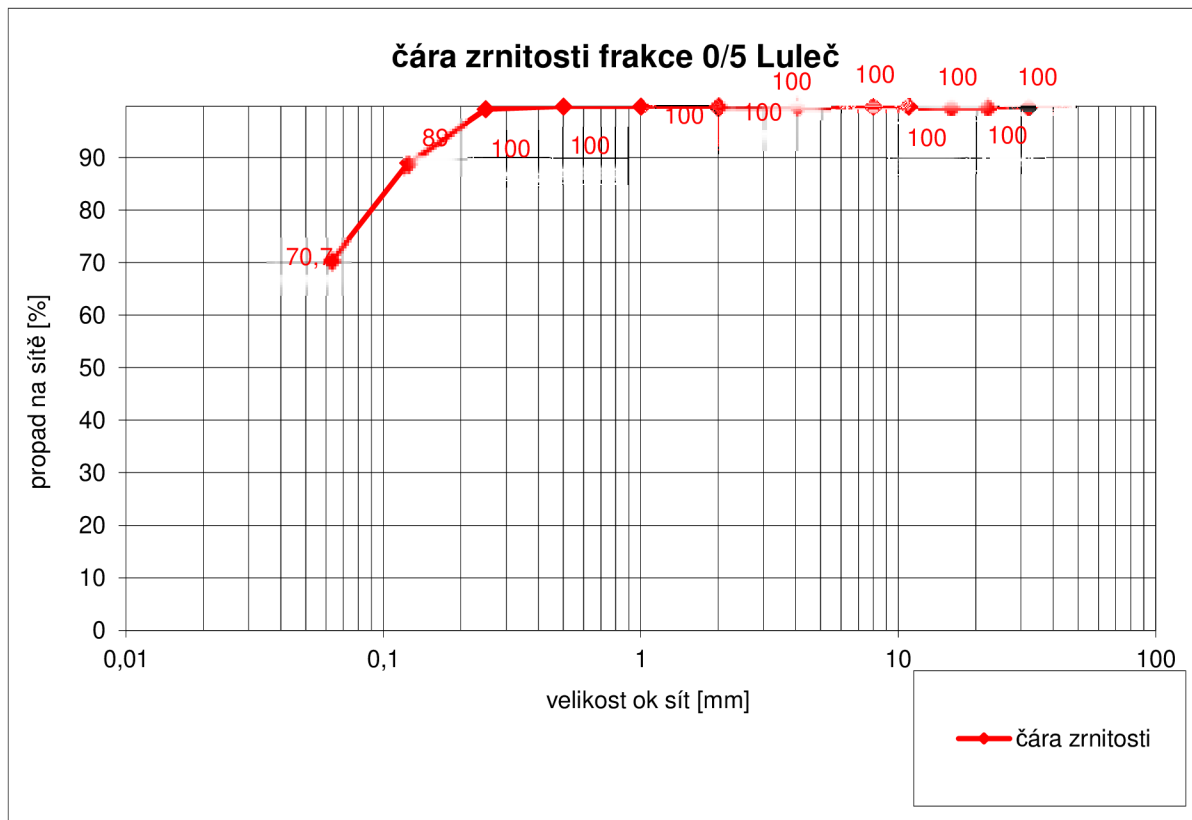
Tab. 1: síťový rozbor  
kameniva frakce 2/5

Velikost sít [mm]	Propad [%] hmot.
32	100
22	100
16	100
11	100
8	100
4	95,2
2	70,6
1	48,1
0,5	33,3
0,25	19,3
0,125	7,7
0,063	3,7

Tab. 2: síťový rozbor  
kameniva frakce 0/5



Graf č. 1: Sítový rozbor kameniva frakce 2/5 Luleč



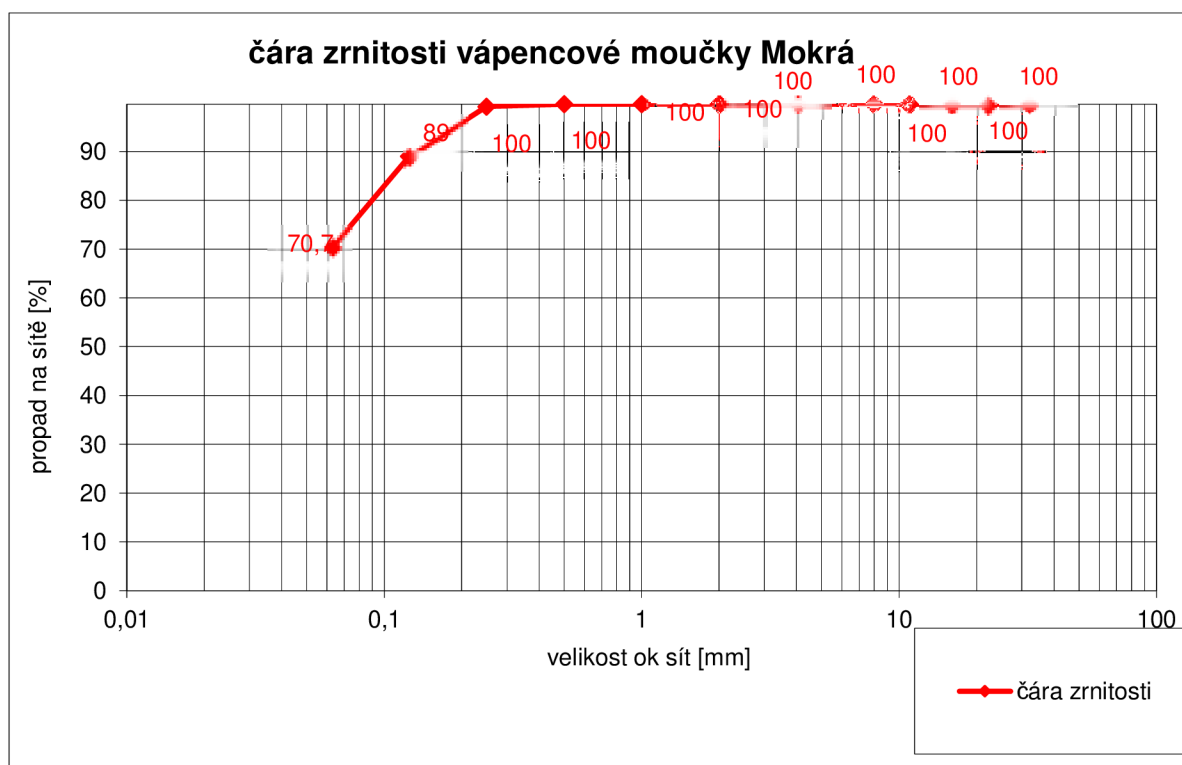
Graf č. 2: Sítový rozbor kameniva frakce 0/5 Luleč

## 2.4. Filer

Z drobného kameniva byl použit takzvaný filer. To je kamenivo, u kterého jeho podstatná část (minimálně 70 %) tvoří obsah jemných částic, které propadnou sítím 0,063 mm. Filer vzniká dvěma způsoby, jako odpadní produkt při úpravě (drcení a třídění) kameniva tj. filer směsný a filer přídatný vyráběný úmyslně například z vápence. Do tohoto specifického druhu kameniva zahrnujeme i materiály, jako jsou cement a vápenný hydrát. Stejně jako kamenivo musí filer vyhovovat ČSN EN 13043[9].

Velikost sít [mm]	Propad [%] hmot.
32	100
22	100
16	100
11	100
8	100
4	100
2	100
1	100
0,5	100
0,25	99,5
0,125	89,3
0,063	70,7

Tab. 3: Sítový rozbor vápencové moučky



Graf č. 3: Sítový rozbor vápencové moučky

## 2.5. Asfaltové pojivo

Na výrobu směsí BBTM 5 A je vhodné použít asfalt modifikovaný pryžovým granulátem před klasickými asfalty, které jsou při běžných nízkých teplotách křehké a při vysokých teplotách naopak ztrácejí tyto asfalty svoji tuhost. Tyto vlastnosti jsou u modifikovaných asfaltů podstatně sníženy. Dále také protože směsi na výrobu asfaltových betonů pro velmi tenké vrstvy BBTM A mají přerušenu čáru zrnitosti a vyšší mezerovitost (7 % až 10 %), navíc přísada pryžového granulátu omezí vznikající hluk od odvalující se pneumatiky. Pro výrobu asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem se použije silniční asfalt odpovídající normě ČSN EN 12591 [10]. Množství přidaného pojiva je vyšší než u běžných směsí ACO a to minimálně 7,0 %. Pro klimatické poměry v ČR odpovídají silniční asfalty 50/70, popřípadě 70/100.

Modifikované asfalty přispívají ke zvýšení únosnosti a životnosti asfaltových vozovek, umožňují snížit celkové tloušťky konstrukce vozovky, čímž splňují i podmínky pro další rozvoj dopravy.

### 3. Metodika řešení

Využívání gumoasfaltových povrchů pro tvorbu velmi tenkých povrchů si v České republice teprve získává svou pozornost a je tedy ve fázi pokusných úseků a hlavně zkušeností přejatých od zahraničních kolegů. V národní příloze ČSN EN 13108-2 [1] jsou v tabulce NA. 5.1 mimo jiné uvedeny požadavky na směsi BBTM 5 A a TP 148 [12] upřesňují a upravují požadavky této normy na BBTM 5 A, které obsahují nízko viskózní nebo vysoko viskózní asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (CRmB).

Při návrhu CRmB směsi v mé bakalářské práci bylo optimální množství asfaltového pojiva ve směsi zvoleno na hodnotu 9 % podle získaných zkušeností s předchozími návrhy podobných směsí. Jako pojivo byl vybrán silniční asfalt výrobce OMV gradace 50/70 s 11% a 17% pryžového granulátu výrobce Kovosteel se zrnitostí 0/1 mm z celkové hmotnosti asfaltového pojiva (CRmB). Čára zrnitosti kameniva byla pro všechny sady zkušebních těles stejná, byla navržena dle síťového rozboru jednotlivých frakcí kameniv tak, aby splňovala požadavky normy ČSN EN 13108-2 [1] a schválených TP 148 [12] z roku 2009, na základě navržené čáry zrnitosti bylo vypočteno výsledné dávkování směsi.

Z namíchané směsi byla vytvořena 3 Marshallova zkušební tělesa podle ČSN EN 12697-29 [5]. U nich byly stanoveny objemové hmotnosti podle ČSN EN 12697-6 [3] a následně maximální objemové hmotnosti (objemová hmotnost nezhuťné asfaltové směsi) podle ČSN EN 12697-5 [2]. Tyto objemové hmotnosti vedly ke stanovení mezerovitosti zhuťné asfaltové směsi. Mezerovitost společně s mezerovitostí směsi kameniva VMA a stupněm vyplnění mezer pojivem VFB byly stanoveny podle ČSN EN 12697-8 [4].

Pomocí lamelového zhuťovače desek byly vyrobeny 2 zkušební desky s 11% a 17% podílem pryžového granulátu podle ČSN EN 12697-33 [6], na kterých se určily objemové hmotnosti metodou vodou nasycený povrch SSD. To vedlo k určení míry zhuťnění desek.

Ze zkušebních desek dále byly nařezány trámečky velikosti 50 x 50 x 200 mm, na kterých se určovala odolnost vůči nízkoteplotním charakteristikám prováděné ve zkušebním zařízení cyklon -40 podle ČSN EN 12697-46[8].

V následujícím textu jsou uvedeny veškeré výsledky prováděných zkoušek.

### 4. Návrh a příprava asfaltové směsi

Pro výrobu asfaltových směsí byl jako pojivo zvolen asfalt modifikovaný pryžovým granulátem s obsahem pryžového granulátu 11 % a 17 %. Byly vytvořeny 3 vzorky Marshallových těles s obsahem pojiva 9%, na nichž se stanovila objemová hmotnost a mezerovitost. Z těchto směsí byly dále vytvořeny zkušební desky, na nichž se zjišťovala objemová hmotnost a mezerovitost a dále byly desky rozřezány na 5 zkušebních trámečků z každé směsi.

#### 4.1. Kamenivo

Kamenivo pro výrobu směsi bylo složeno ze dvou frakcí. Frakcí 2/5 Luleč, frakcí 0/4 Luleč a vápencovou moučkou z lomu Mokrá. Na těchto frakcích byl proveden síťový rozbor a vytvořeny čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-2[1].

#### 4.2. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem

Jako pojivo pro směs byl zvolen asfalt výrobce OMV gradace 50/70 s přídatkem granulátu výrobce Kovosteel frakce 0/1 mm. Dávkování pryžového granulátu bylo 11 % a 17 %. Asfalt byl rozehrát v sušárně na teplotu 175 °C, což je minimální teplota pro modifikaci asfaltu pryžovým granulátem. Dále se provedlo smíchání asfaltu a granulátu, to se provádělo v laboratorní míchače za stálé teploty 175 °C po dobu 60 minut. Pak bylo CRmB připraveno ke smísení s kamenivem. Optimální množství CRmB do směsi bylo stanoveno na 9 %.

#### 4.3. Návrh čáry zrnitosti asfaltové směsi BBTM 5 A

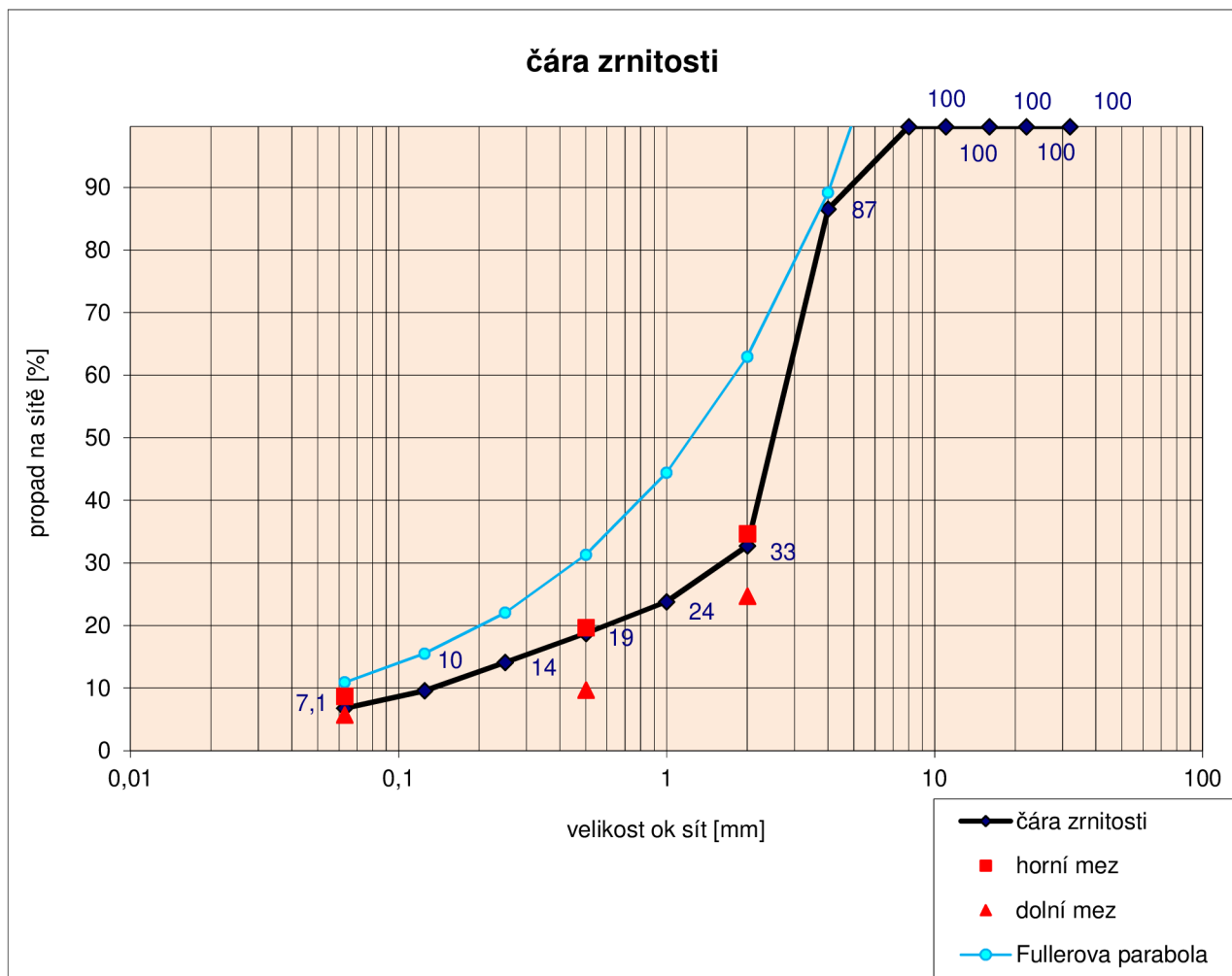
Na základě síťového rozboru kameniva Luleč frakce 2/5, Luleč 0/5 a vápencové moučky Mokrý byl zjištěn procentuální propad jednotlivých frakcí a následně navržena čára zrnitosti požadované směsi.

##### Skladba kameniva

- Kamenivo frakce 2/5            63%
- Kamenivo frakce 0/5        30%
- Vápencová moučka         7%

frakce	32	22	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	lokality
2/5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	81,3	7,7	4,3	3,3	2,6	2,1	1,7	Luleč
0/5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,2	70,6	48,1	33,3	19,3	7,7	3,7	Luleč
moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	89,3	70,7	mokrý
návrh	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	86,8	33,0	24,1	19,1	14,4	9,9	7,1	

Tab. 4: Procentuální propad jednotlivých frakcí



Graf č. 4: Čára zrnitosti a fullerova parabola výsledného návrhu směsi

Zrnitost a mezní čáry vyhovují požadavkům dle ČSN EN 13108-2 [1] Tab. 1. A TP 148 [12] Tab. P1.

#### 4.4. Výroba směsi

V první řadě muselo být kamenivo vysušeno v laboratorní sušárně při teplotě 110 °C. Po zchládnutí kameniva na laboratorní teplotu došlo k navážení dle navrženého dávkování jednotlivých frakcí (viz Tab. 4). Po navážení se kamenivo promíchalo a dalo nahřát do pece na teplotu 175 °C společně s předem připraveným CRmB. Po dosažení této teploty se směs CRmB a kameniva ručně míchali pomocí laboratorní míchačky po dobu 60-ti minut dokud nedošlo k dokonalému obalení kameniva vrstvou CRmB. Množství pojiva bylo už dříve stanoveno na 9% z hmotnosti pojiva, což vyhovuje TP 148 [12] Tab. 4 kde je minimální hodnota stanovena na 7 %. Po zamíchání směsi se směs opět vložila do pece



na teplotu 155 °C potřebnou pro hutnění. Z této směsi se vytvořila 3 zkušební Marshallova tělesa, kdy směs byla co nejrychleji přesypána do předem zahřátých forem a následně zhutněna 50-ti údery v Marshallově pěchu při teplotě 155 °C. Po zchládnutí byla zkušební tělesa vytlačena hydraulickým lisem a označena. Příslušné hodnoty musely být dodrženy podle ČSN EN 12697-35[7].



Obr. 5: Marshallova zkušební tělesa

#### 4.5. Stanovení fyzikálně mechanických vlastností

Fyzikálně mechanické vlastnosti byly zjišťovány celkem na 3 Marshallových tělesech vytvořených z asfaltové směsi BBTM 5 A.

##### 4.5.1. Objemová hmotnost jednotlivých směsí

Zkouška byla provedena dvěma postupy dle ČSN EN 12697-6 [3].

Prvním způsobem bylo získání objemové hmotnosti pomocí rozměrů, postup D. Rozměry zkušebních Marshallových těles byly určeny pomocí posuvných měřidel dle ČSN EN 12697-29 [5]. Výška i průměr byly stanoveny s přesností na 0,1 mm ze tří měření. Dále byly suché vzorky zváženy s přesností 0,1 g.

Druhý způsob stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa byl stanoven postupem B. To znamená nasycený suchý povrch (SSD). Stanovuje se na základě zjištěné hustoty vody, hmotnosti suchého, ponořeného, nasyceného a hmotnosti nasyceného tělesa. Hmotnosti byly určeny opět s přesností na 0,1 g. Objemová hmotnost těles vycházela s přesností na 1 kg/m<sup>3</sup>.

Vztah pro výpočet metodou D – objemová hmotnost dle rozměrů:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^6$$

$\rho_{b,dim}$  .....objemová hmotnost tělesa podle rozměrů [kg/m<sup>3</sup>]  
 $m_1$  .....hmotnost suchého tělesa [g]  
 $h$  .....výška zkušební tělesa [mm]  
 $d$  .....průměr tělesa [mm]

	<b>vzorek č. 1</b>	<b>vzorek č. 2</b>	<b>vzorek č. 3</b>
<b>výška h [mm]</b>	61,7	61,6	61,8
<b>průměr d [mm]</b>	102,2	101,8	102,0
<b>hmotnost <math>m_1</math> [g]</b>	1083,6	1076,7	1084,6
<b>objemová hmotnost <math>\rho_{b,dim}</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	2140,9	2147,5	2147,8

Tab. 5: Objemová hmotnost podle rozměrů

Vztah pro výpočet metodou B – nasycený suchý povrch

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

$\rho_{bssd}$  ..... objemová hmotnost SSD [kg/m<sup>3</sup>]  
 $m_1$  ..... hmotnost suchého tělesa [g]  
 $m_2$ ..... hmotnost tělesa ve vodě [g]  
 $m_3$ ..... hmotnost tělesa nasyceného a osušeného [g]  
 $\rho_w$ ..... hustota vody při zkušební teplotě [kg/m<sup>3</sup>]

	<b>vzorek č. 1</b>	<b>vzorek č. 2</b>	<b>vzorek č. 3</b>
<b>hmotnost <math>m_1</math> [g]</b>	1083,6	1076,7	1084,6
<b>hmotnost <math>m_2</math> [g]</b>	589,9	589,8	591
<b>hmotnost <math>m_3</math> [g]</b>	1086,7	1077,9	1085,9
<b>objemová hmotnost <math>\rho_{\text{bssd}}</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	2181,2	2206,4	2191,6

Tab. 6: Objemová hmotnost podle nasyceného povrchu

#### 4.5.2. Stanovení maximální objemové hmotnosti

Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 12697-5 [2].

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhuštěném vzorku. Zkušební vzorek byl rozdroben na hrubé částice a shluky. Největší rozměr shluku nesměl být větší než 6 mm. Pokud materiál není dostatečně měkký, aby mohl být rozdroben ručně, zahřívá se na misce v sušárně při teplotě, která není vyšší než 110°C, avšak jen do doby, kdy je rozdělení možné.

Nejdříve se stanovila hmotnost prázdného pyknometru ( $m_1$ ) s nástavcem o známém objemu ( $V_p$ ). Pak byl do pyknometru vložen vysušený zkušební vzorek a nechal se vytemperovat na okolní teplotu a pak byla znovu stanovena jeho hmotnost s nástavcem ( $m_2$ ), tentokrát naplněný směsí. Pyknometr se naplní rozpouštědlem, tak aby celý vzorek byl pod hladinou rozpouštědla. Jako rozpouštědlo byl použit trichloretylen. Během temperování se zkoušený vzorek promíchával intenzivním krouživým pohybem, aby se redukovaly vzduchové bubliny. Vzorek byl v rozpouštědle ponechán na dobu 2 hodin. Po jejich uplynutí se naplněný pyknometr vytemperoval na teplotu 25,04 °C, společně s pyknometrem se temperovalo i rozpouštědlo potřebné k dolití. Rozpouštědlo bylo dolito po značku na nástavci. Následně byl pyknometr vyjmut z vodní lázně, z vnější strany osušen a ihned se stanovila jeho hmotnost ( $m_3$ ).

Vzorec pro výpočet maximální objemové hmotnosti volumetrickým postupem.

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

$\rho_{mv}$  .....maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v [kg/m<sup>3</sup> ]  
 $m_1$ .....hmotnost pyknometru a nástavce v [g]  
 $m_2$  .....hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku v [g]  
 $m_3$ .....hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a rozpouštědla v [g]  
 $V_p$  .....objem pyknometru ke značce nástavce v [m<sup>3</sup>]  
 $\rho_w$  .....hustota rozpouštědla při zkušební teplotě v [kg/m<sup>3</sup> ]

označení pyknometru	IV
$m_1$ [g]	691,04
$m_2$ [g]	1506,6
$m_3$ [g]	2924,2
$V_p$ [m <sup>3</sup> ]	1,323
$\rho_w$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1448
$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2370,8

Tab. 7: Maximální objemová hmotnost



Obr. 6: Prázdný pyknometr

### 4.5.3. Mezerovitost zhutněné asfaltové směsi

Mezerovitost zhutněné asfaltové směsi byla stanovena podle ČSN EN 12697-8 [4]. Mezerovitost je objem mezer ve zkušebním tělese asfaltové směsi vyjádřený v %, celkového objemu zkušebního tělesa. Mezerovitost se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zkušebního tělesa.

Vzorec pro výpočet mezerovitosti směsi

$$V_m = \frac{(\rho_{mv} - \rho_b)}{\rho_{mv}} \times 100$$

$V_m$  ..... mezerovitost směsi s přesností 0,1 % (v/v)

$\rho_{mv}$  ..... maximální objemová hmotnost směsi v [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_b$  .....objemová hmotnost zkušebního tělesa v [kg/m<sup>3</sup>]

BBTM A5	vzorek č. 1	vzorek č. 2	vzorek č. 3	průměr
$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2370,8	2370,8	2370,8	
$\rho_{b,dim}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2140,9	2147,5	2147,8	
$\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2181,2	2206,4	2191,6	
$V_{b,dim}$ [%]	9,7	9,4	9,4	9,5
$V_{bssd}$ [%]	8,0	6,9	7,6	7,5

Tab. 7: Mezerovitosti asfaltových směsí

Mezerovitost obou směsí odpovídá požadovaným hodnotám dle ČSN EN 13108-2 [1] Tab. NA. 5.1, kde  $V_{min} = 7\%$  a  $V_{max} = 10\%$

#### 4.5.4. Mezerovitost směsi kameniva (VMA) a stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB)

Tyto dvě hodnoty byly stanoveny podle ČSN EN 12697-8 [4]. Mezerovitost směsi kameniva (VMA) je objem mezer mezi zrny kameniva zhutněné asfaltové směsi, který zahrnuje mezery vyplněné vzduchem a objem asfaltového pojiva ve zkušebním tělese, vyjádřený jako procento celkového objemu zkušebního tělesa.

$$VMA = V_m + B \times \rho_b / \rho_B$$

VMA .....mezerovitost směsi kameniva v [% ]  
V<sub>m</sub> ..... mezerovitost zkušebního tělesa s přesností 0,1 %  
B ..... obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi) v % s přesností 0,1 %  
ρ<sub>b</sub> .....objemová hmotnost zkušebního tělesa v [kg/m<sup>3</sup>]  
ρ<sub>B</sub> ..... hustota pojiva v [kg/m<sup>3</sup>]

Stupeň vyplnění mezer (VFB) ve směsi kameniva v asfaltovém zkušebním tělese v % se vypočítá z obsahu pojiva, mezerovitosti směsi kameniva, objemové hmotnosti zkušebního tělesa a objemové hmotnosti pojiva.

$$VFB = \left( \frac{\left( B \times \frac{\rho_b}{\rho_B} \right)}{VMA} \right) \times 100$$

VFB.....stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem s přesností 0,1 %  
B .....obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi) v % s přesností 0,1 %  
ρ<sub>b</sub>..... objemová hmotnost zkušebního tělesa v [kg/m<sup>3</sup>]  
ρ<sub>B</sub> .....hustota pojiva v [kg/m<sup>3</sup>]  
VMA .....mezerovitost směsi kameniva s přesností 0,1 %

BBTM 5A	$V_{m,b,dim}$ [%]	$V_{m,b,ssd}$ [%]	$\rho_{b,dim}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{b,ssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_B$ [kg/m <sup>3</sup> ]	B [%]
vzorek č. 1	9,7	8,0	2140,9	2181,2	1020	9,0
vzorek č. 2	9,4	6,9	2147,5	2206,4	1020	9,0
vzorek č. 3	9,4	7,6	2147,8	2191,6	1020	9,0

	$VMA_{b,dim}$ [%]	$VFB_{b,dim}$ [%]	$VMA_{b,ssd}$ [%]	$VFB_{b,ssd}$ [%]
	28,6	66,1	27,2	70,6
	28,3	66,8	26,4	73,8
	28,4	66,8	26,9	71,8
<b>průměry</b>	<b>28,4</b>	<b>66,6</b>	<b>26,9</b>	<b>72,1</b>

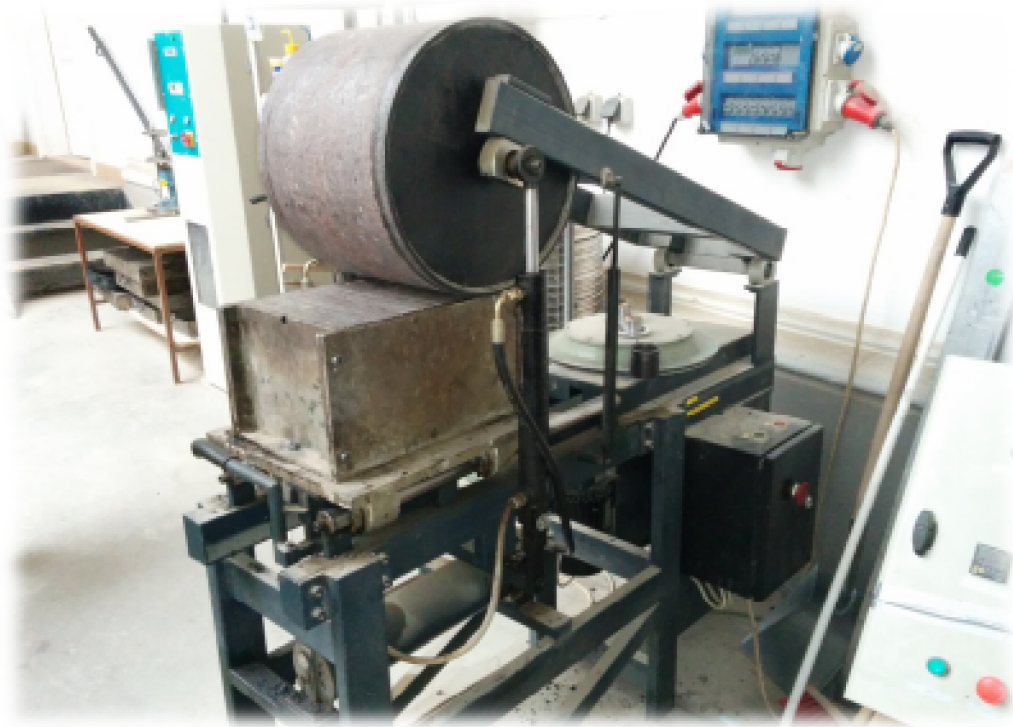
Tab. 8: Výsledné VMA a VFB

Dle TP 148 [12] je splněna podmínka na  $VMA_{min} = 24 \%$ , pro VFB nejsou dány minimální hodnoty.

#### 4.5.5. Míra zhutnění desek

K této zkoušce bylo potřeba vyrobit zkušební tělesa ve tvaru desek podle ČSN EN 12697-33 [6]. Desky byly vytvořeny 2, jak s 11% tak se 17% podílem pryžového granulátu v CRmB. Rozměry desek jsou 320 x 260 x 50 mm s tolerancí 1 mm.

Směs byla míchána při teplotě 170 °C a teplota hutnění byla 155 °C. Zhutnění se provedlo metodou užívající lamely zatlačované válcem. Lamelový zhutňovač desek se skládá z ocelového stolu, na který je přišroubována rozebíratelná ocelová forma do které se nasype směs. Pod ocelovou podkladní deskou jsou vloženy nastavovací rámečky pro stanovení výšky desky na 50mm. Do formy se na plech položený na povrch asfaltové směsi vertikálně za sebe vkládají ocelové lamely, po kterých se ve vodorovném směru pohybuje dostatečně velký ocelový válec tam a zpět. Po ukončení procesu hutnění se desky před rozebráním formy nechaly vychladnout na laboratorní teplotu.



Obr. 7: Lamelový zhutňovač desek

Po vychladnutí byly na deskách zjištěny hmotnosti podle ČSN EN 12697-6 [3] jako u Marshallových těles. Následně pomocí uvedeného vztahu pro výpočet hmotnosti pomocí suchého povrchu (SSD) byla určena objemová hmotnost  $\rho_{\text{bssd}}$ .

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

$\rho_{\text{bssd}}$  ..... objemová hmotnost SSD [ $\text{kg/m}^3$ ]  
 $m_1$  ..... hmotnost suchého tělesa [g]  
 $m_2$  ..... hmotnost tělesa ve vodě [g]  
 $m_3$  ..... hmotnost tělesa nasyceného a osušeného [g]  
 $\rho_w$  ..... hustota vody při zkušební teplotě [ $\text{kg/m}^3$ ]

	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$\rho_{\text{bssd,vz}}$ [ $\text{kg/m}^3$ ]
11%	9009,0	4982,0	9056,0	2211,3
17%	9017,0	4998,0	9043,0	2229,2

Tab. 9: Objemové hmotnosti desek



A následně vypočítána míra zhutnění podle vzorce:

$$MZ = \frac{\rho_{\text{bssd,vz}}}{\rho_{\text{bssd}}} \times 100$$

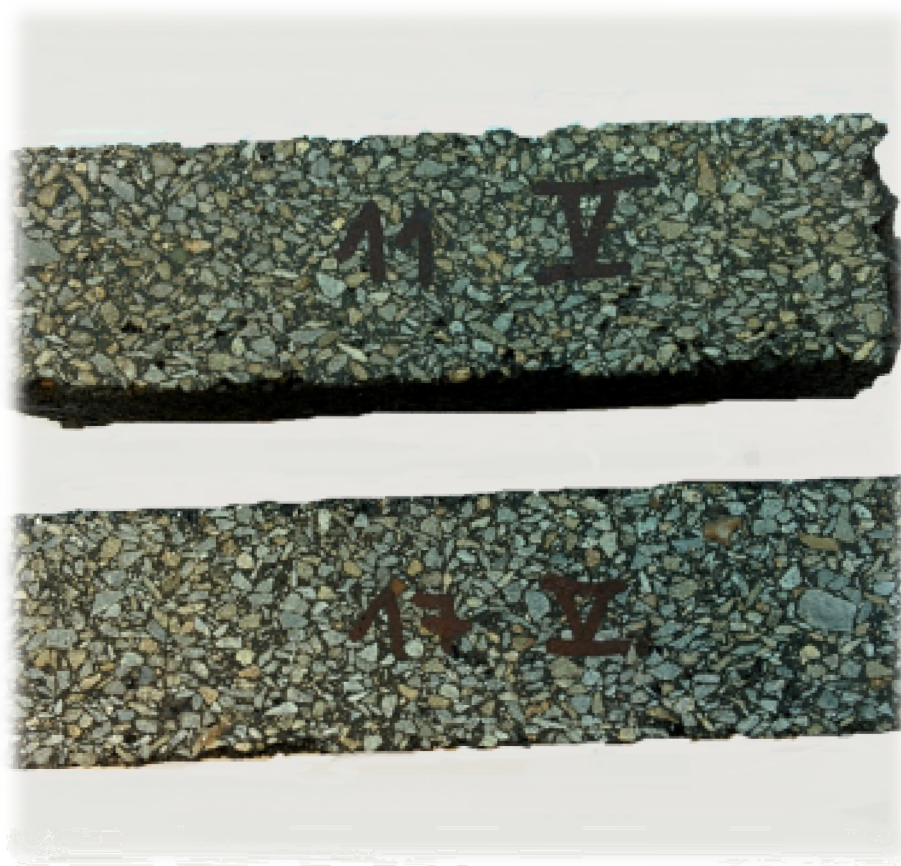
MZ .....míra zhutnění [%]

$\rho_{\text{bssd,vz}}$ .....objemová hmotnost desky [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\rho_{\text{bssd}}$  .....průměrná objemová hmotnost z Marshallových těles [ $\text{kg/m}^3$ ]

	$\rho_{\text{bssd}}$ [ $\text{kg/m}^3$ ]	MZ [%]
11%	2193,1	100,8
17%	2193,1	101,6

Tab. 10: Míra zhutnění desek



Obr. 8: Porovnání zkušebních těles na míru zhutnění

#### 4.5.6. Nízkoteplotní charakteristiky – zařízení cyklon -40

Účelem zkoušky je zjistit kritickou teplotu a maximální velikost tahové síly (napětí) zkušební tělesa z asfaltové směsi při porušení trhlinou, které vzniká při jeho ochlazování konstantní rychlostí z výchozí teploty za podmínky zamezení zkracování tělesa.

Tato zkouška byla provedena podle ČSN EN 12697-46 [8]. Z vyrobených desek byla pomocí kotoučové pily s diamantovým kotoučem nařezána zkušební tělesa tvaru trámečku rozměru 50 x 50 x 200 mm. Z každé desky bylo nařezáno 5 trámečků.

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, nanasla se do vymezené části vrstva rozmíchaného dvousložkového epoxidového lepidla a umístily se i s trámečkem do rámu. Vápencová moučka byla při zahušťování lepidla 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 zkušební tělesa k podložkám a následně vytržení v průběhu zkoušení. Lepidlo bylo nutné nechat tvrdnout minimálně 48 hodin.



Obr. 9: Zkušební trámeček nalepen v podložkách

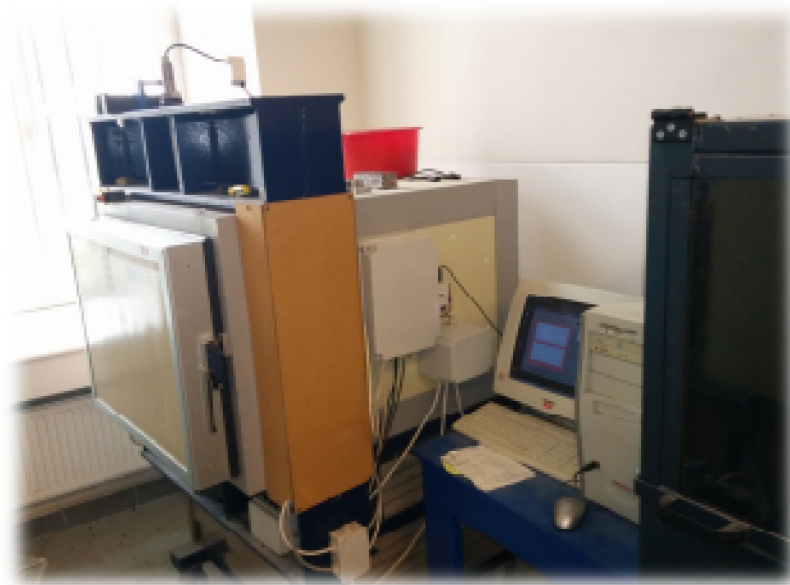
Po zatvrdnutí lepidla byl trámeček vytažen z kovového rámu a ve svislé poloze připevněn do zkušebního zařízení cyklon -40. Zařízení Cyklon -40, vyvinuté pro zjišťování nízkoteplotních charakteristik se skládá ze zkušební komory, která je tvořena zkušebním prostorem, strojním prostorem a elektrickým rozvaděčem s řídicí 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 a na něm se nachází upínací zařízení – spojovací tyče o průměru 32 mm, ke kterým se připojuje zkušební těleso prostřednictvím podložek, na nichž je zkušební těleso nalepeno. Na dolním nosníku rámu se nachází snímač síly. Měřicí a řídicí 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. Teplota zkušebního tělesa se v průběhu zkoušky zjišťuje pomocí snímače teploty, vloženého do vyvrtaného otvoru „slepého“ tělesa. Deformace tělesa se měří třemi snímači posunu, které se osazují na podložky zkušebního tělesa po 120°.

Pomocí obslužného programu je ovládáno řízení ohřevu prvků upínacího zařízení tak, aby bylo dosaženo nulové podélné deformace zkušebních těles, dále snímání dat v průběhu zkoušky a regulace průběhu teploty v komoře.



Obr. 10: Upevnění trámečku na spojovací tyč a napojení snímačů



Obr. 11: Zkušební zařízení cyklon -40 a počítač pro vyhodnocení výsledků

Samotná zkouška jednoho trámečku v zařízení cyklon -40 trvá přibližně 6 hodin. Po upevnění trámečku na spojovací tyč se prostředí uvnitř cyklonu -40 temperuje na teplotu 10°C, které trvá 15 minut. Rychlost ochlazování je 10°C za hodinu. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v tabulkovém formátu společně s nejdůležitějšími údaji, jako jsou teplota v komoře a vzorku při porušení a maximální síla a napětí při porušení.



Obr. 12: Porušení vzorku tahovou trhlinou

V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny hodnoty kritické teploty a maximálního napětí, které vedly k porušení vzorku tahovou trhlinou a tím k ukončení zkoušky.

11%		
	kritická teplota [°C ]	maximální napětí [MPa]
I	-20,50	3,23
II	-21,70	3,20
III	-20,10	3,68
IV	-21,20	3,62
V	-19,90	3,12
průměr	-20,68	3,37

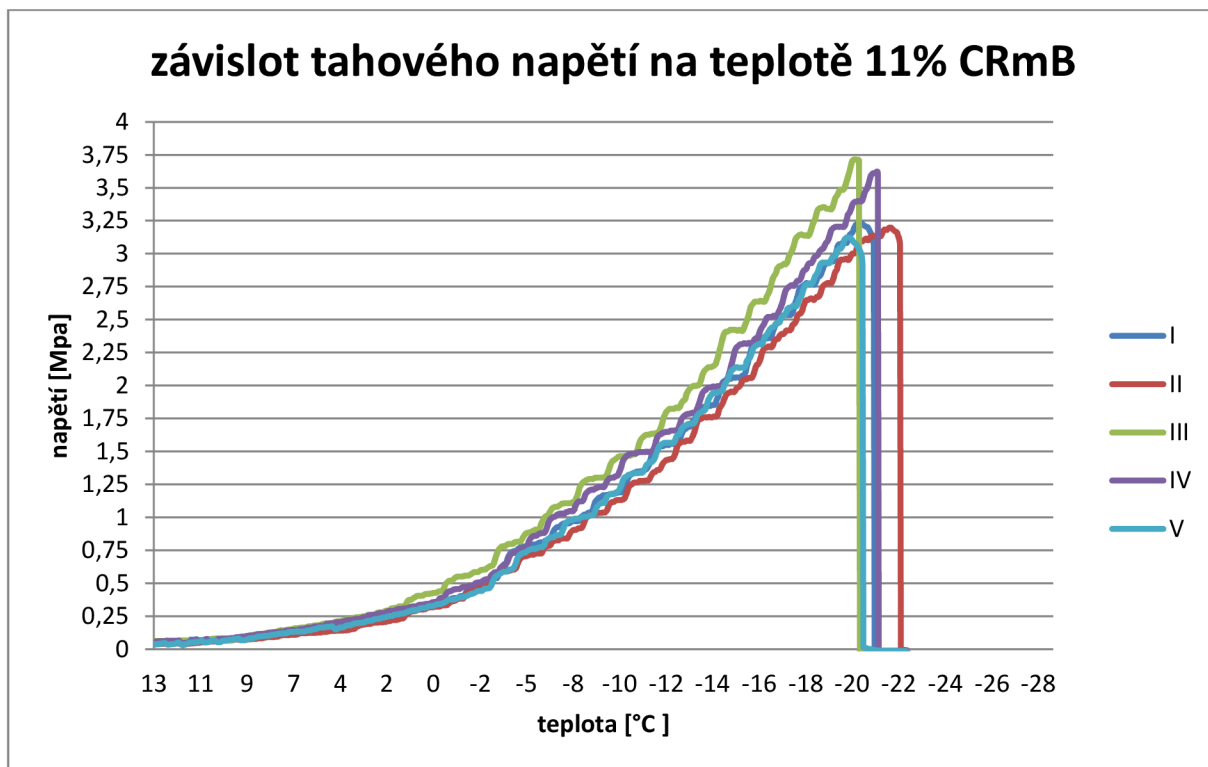
rozptyl	0,46	0,05
směr. odch.	0,68	0,23

Tab. 11: nízkoteplotní vlastnosti směsi s CRmB obsahující 11% granulátu

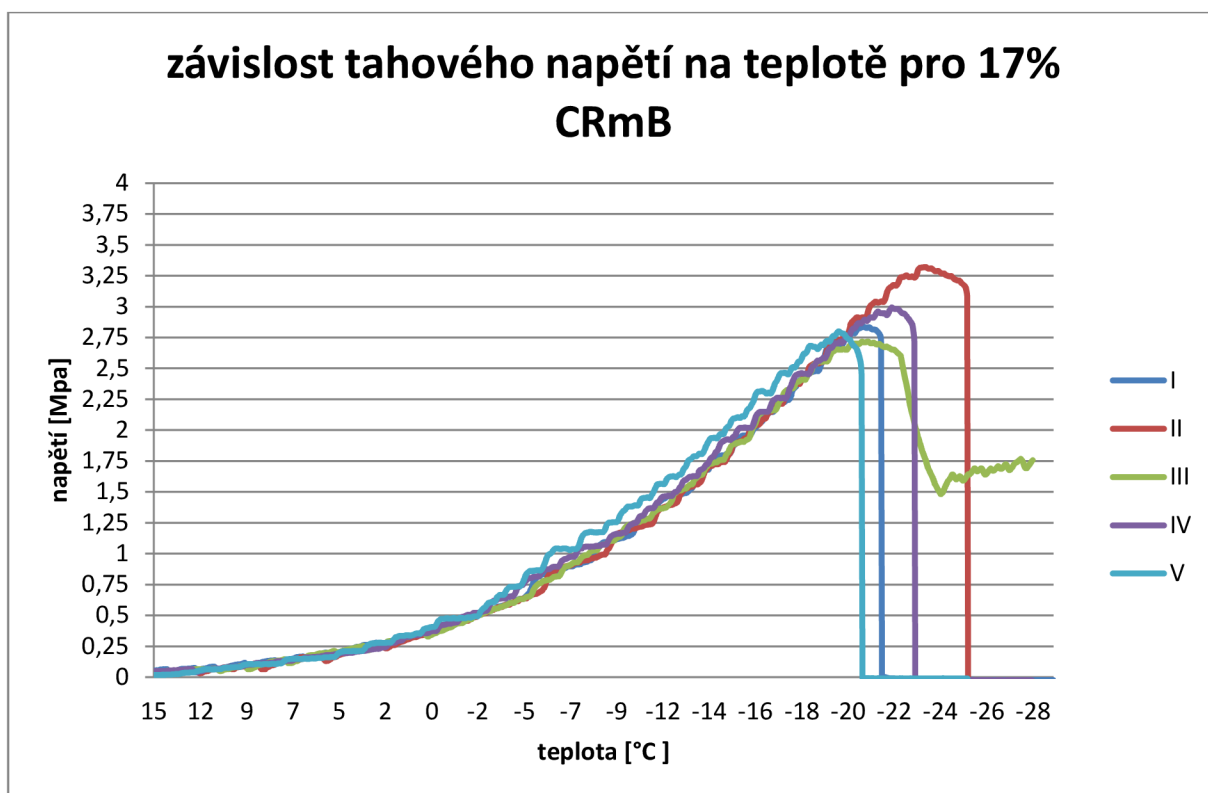
17%		
	kritická teplota [°C ]	maximální napětí [MPa]
I	-20,70	2,84
II	-23,60	3,32
III	-21,30	2,66
IV	-21,60	2,92
V	-19,60	2,72
průměr	-21,36	2,89

rozptyl	1,72	0,05
směr. odch.	1,31	0,23

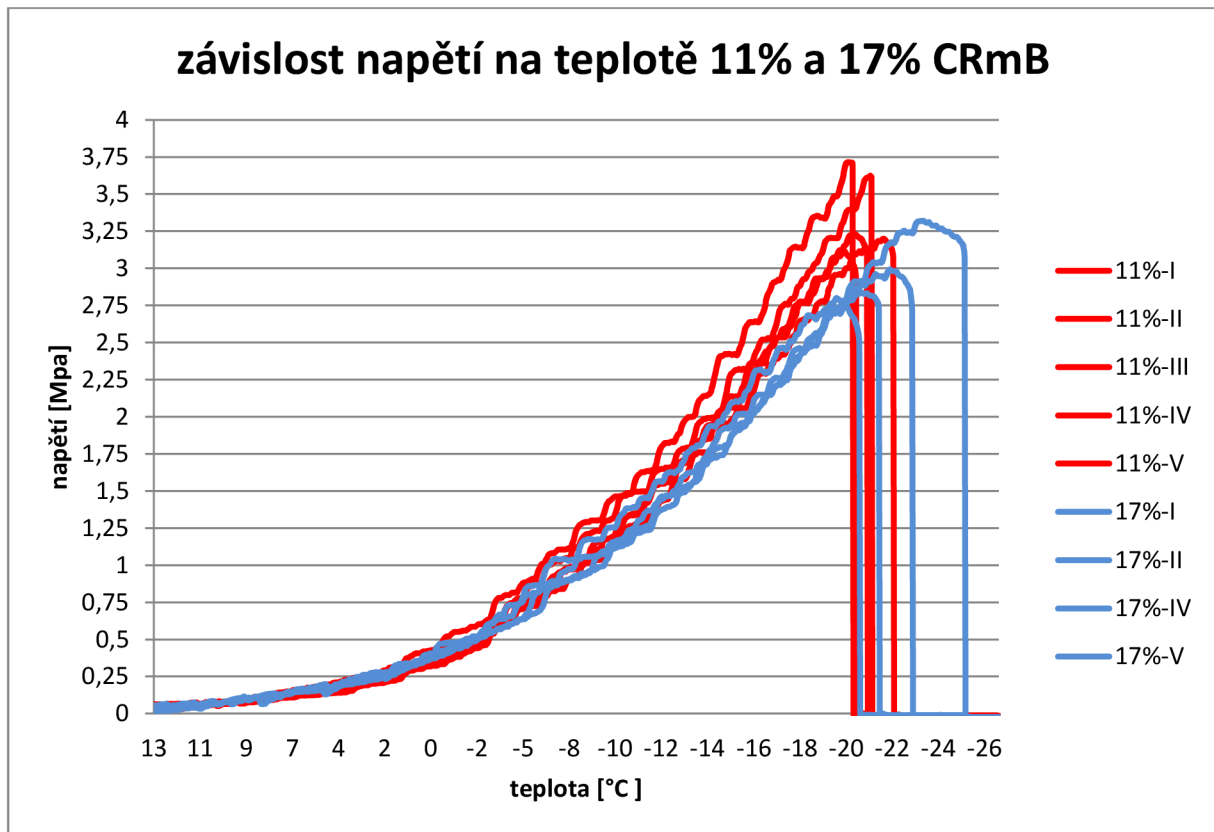
Tab. 12: nízkoteplotní vlastnosti směsi s CRmB obsahující 17% granulátu



Graf č. 5: Závislost napětí na teplotě směsi s CRmB obsahujícím 11% granulátu



Graf č. 6: Závislost napětí na teplotě směsi s CRmB obsahujícím 17% CRmB



Graf č. 7: Závislost napětí na teplotě 11% a 17% CRmB

Pozn.: vzorek č. 3 u 17% CRmB nebyl přidán do celkového grafu č. 7, protože nedošlo k požadovanému porušení z důvodu nekvalitního přilepení vzorku k podložkám.

## 5. Závěr

Z grafu je patrné, že obě směsi dosáhly kvalitních nízkoteplotních vlastností. Asfaltové směsi s konvenčním silničním asfaltem se totiž porušují tahovou trhlinou při teplotách  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dalším závěrem je, že dávkování pryžového granulátu do pojiva nemá ani tak vliv na teplotu porušení těles ale spíše na maximální napětí, při kterém dochází k porušení těles tahovou trhlinou. Směs obsahující CRmB se 17 % obsahem pryžového granulátu dosahovala vyššího rozptylu hodnot směrodatné odchylky, než je tomu v případě směsi obsahující CRmB s 11 % obsahem pryžového granulátu. Lze to vysvětlit vyšší nehomogenitou směsi. Rovněž u směsi s vyšším množstvím pryžového granulátu docházelo k většímu rozcházení snímačů přetvoření, což svědčí o kroucení tělesa v průběhu zkoušky. Zkušební těleso III skupiny těles obsahujících CRmB se 17 % obsahem pryžového granulátu se z důvodu kroucení tělesa dokonce tahovou trhlinou neporušilo vůbec, pouze pokleslo tahové napětí a došlo k jeho přerozdělení.



Obr. 13: Porušená zkušební tělesa

V obrázku 13 jsou zachyceny lomové plochy zkušebních těles. V horní řadě jsou zachycena zkušební tělesa, která obsahují CRmB s 11 % pryžového granulátu a ve spodní řadě jsou zachycena zkušební tělesa, která obsahují CRmB se 17 % pryžového granulátu.



## 6. Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 13108-2 Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
- [2] ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti
- [3] ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- [4] ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
- [5] ČSN EN 12697-29 Stanovení rozměrů asfaltových zkušebních těles
- [6] ČSN EN 12697-33 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek
- [7] ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsí
- [8] ČSN EN 12697-46 Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem
- [9] ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch
- [10] ČSN EN 12591 Asfalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční asfalty
- [11] TP 147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky
- [12] TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik 2011
- [13] Ing. Jan Vysloužil *Proč máme zničené silnice* dostupné z: [http://www.tenzovahy.cz/files/file/clanky/2002-06\\_proc\\_mame\\_znicene\\_silnice.pdf](http://www.tenzovahy.cz/files/file/clanky/2002-06_proc_mame_znicene_silnice.pdf)
- [14] *ČR ve srovnání s EU i světem zaostává v infrastruktuře.* dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/cr-ve-srovnani-s-eu-i-svetem-zaostava-v-infrastrukture/>
- [15] *Švédský expert seznámil české odborníky s využitím gumoasfaltu.* dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/svedsky-expert-seznamil-ceske-odborniky-s-vyuzitim-gumoasfaltu/>
- [16] Svatopluk Stoklásek *Technologický vývoj v silničním stavitelství netuhých vozovek.* dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/6.cdf/prednasky/svatopluk%20stoklasek.pdf>
- [17] Jaroslav Doležal, Markéta Synková *Využití opotřebovaných pneumatik a jejich využití.* dostupné z: [http://envi.upce.cz/pisprace/prezenci/28\\_02\\_3.doc](http://envi.upce.cz/pisprace/prezenci/28_02_3.doc)
- [18] *Recyklace pneumatik - nová drtící linka s drtičem ST 1 300/950 110 kiW.* Dostupné z: <http://www.terier.cz/cz/6/recyklace-pneumatik-nova-drtici-linka-s-drticem-st-1-300-950-110-kiw/aktualita.htm?strana=1>
- [19] prof. Ing. Jan Kudrna, CSc. *Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem z pneumatik*, Brno 2012, VUT v Brně
- [20] *Pryžový granulát.* dostupné z: <http://www.rpgrecycling.cz/produkty/pryzovy-granulat/>
- [21] prof. Ing. Jan Kudrna, Ing. Ondřej Dašek, *Možnosti uplatnění odpadní pryže z ojetých pneumatik při modifikaci asfaltů*, Brno 2010, VUT v Brně
- [22] Ing. Jiří Kachtík, prof. Ing. Jan Kudrna CSc., Ing. Ondřej Dašek, *Zkušenosti s výrobou asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem v ČR*, Brno 2010, VUT v Brně
- [23] *Tišíší provoz na Vsetínsku zajistí speciální gumoasfalt*, dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/zpravodajstvi-brno/zpravy/248112-tissi-provoz-na-vsetinsku-zajisti-specialni-gumoasfalt/>
- [24] Ing. Jiří Kachtík, prof. Ing. Jan Kudrna CSc., Ing. Ondřej Dašek, *Zkušenosti s výrobou asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem v ČR*, Brno 2010, VUT v Brně
- [25] *Drenážní koberec PA 8*, dostupné z: [http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db\\_binary\\_file/plans/1470.pdf](http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/plans/1470.pdf)

## 7. Seznam použitých zkratk a symbolů

ACO – Asfaltový beton pro ohrusné vrstvy

BBTM – Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy

BP – Bakalářská práce

CRmB – Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem

ČSN – Česká technická norma

ČSN EN – Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou normou

PSV – Ohladitelnost (polished stone values)

SMA – Asfaltový koberec mastixový

TP – Technické podmínky

## 8. Seznam grafů

Graf č. 1: Sítový rozbor kameniva frakce 2/5 Luleč

Graf č. 2: Sítový rozbor kameniva frakce 0/5 Luleč

Graf č. 3: Sítový rozbor vápencové moučky

Graf č. 4: Čára zrnitosti a fullerova parabola výsledného návrhu směsi

Graf č. 5: Závislost napětí na teplotě směsi s CRmB obsahujícím 11% granulátu

Graf č. 6: Závislost napětí na teplotě směsi s CRmB obsahujícím 17% CRmB

Graf č. 7: Závislost napětí na teplotě 11% a 17% CRmB

## 9. Seznam tabulek

Tab. 1: Sítový rozbor kameniva frakce 2/5

Tab. 2: Sítový rozbor kameniva frakce 0/5

Tab. 3: Sítový rozbor vápencové moučky

Tab. 4: Procentuální propad jednotlivých frakcí

Tab. 5: Objemová hmotnost podle rozměrů

Tab. 6: Objemová hmotnost podle nasyceného povrchu

Tab. 7: Maximální objemová hmotnost

Tab. 8: Mezerovitosti asfaltových směsí

Tab. 9: Výsledné VMA a VFB

Tab. 10: Objemové hmotnosti desek

Tab. 11: Míra zhutnění desek

Tab. 12: nízkoteplotní vlastnosti směsi s CRmB obsahující 11% granulátu

Tab. 13: nízkoteplotní vlastnosti směsi s CRmB obsahující 17% granulátu

## 10. Seznam obrázků

Obr. 1: Skladování a drcení pneumatik

Obr. 2: Příklady frakcí pryžového granulátu

Obr. 3: Schéma mísícího zařízení

Obr. 4: Pokládka CRmB vrstvy

Obr. 5: Marshallova zkušební tělesa

Obr. 6: Prázdňý pyknometr

Obr. 7: Lamelový zhutňovač desek

Obr. 8: Porovnání zkušebních těles na míru zhutnění

Obr. 9: Zkušební trámeček nalepen v podložkách

Obr. 10: Upevnění trámečku na spojovací tyč a napojení snímačů

Obr. 11: Zkušební zařízení cyklon -40 a počítač pro vyhodnocení výsledků

Obr. 12: Porušení vzorku tahovou trhlinou

Obr. 13: Porušená zkušební tělesa

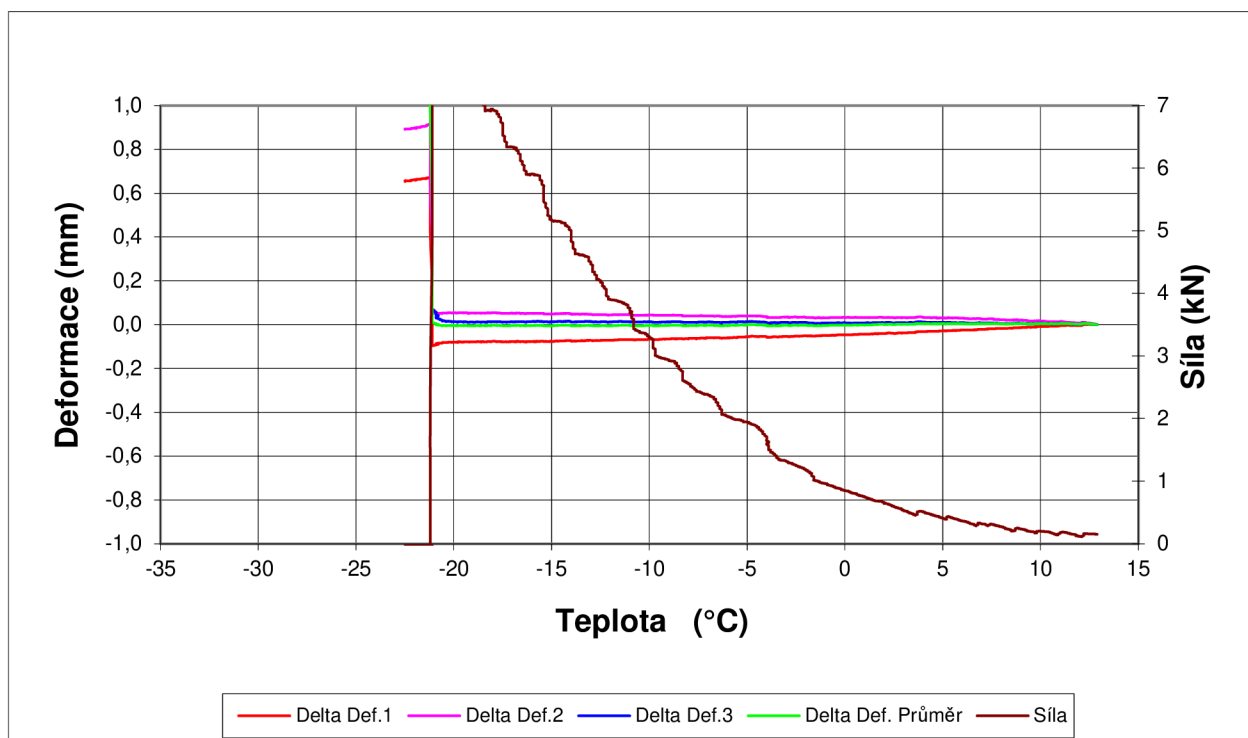
## 11. Seznam příloh

1. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 11% I
2. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 11% II
3. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 11% III
4. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 11% IV
5. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 11% V
6. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 17% I
7. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 17% II
8. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 17% III
9. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 17% IV
10. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin: 17% V

## 12. přílohy

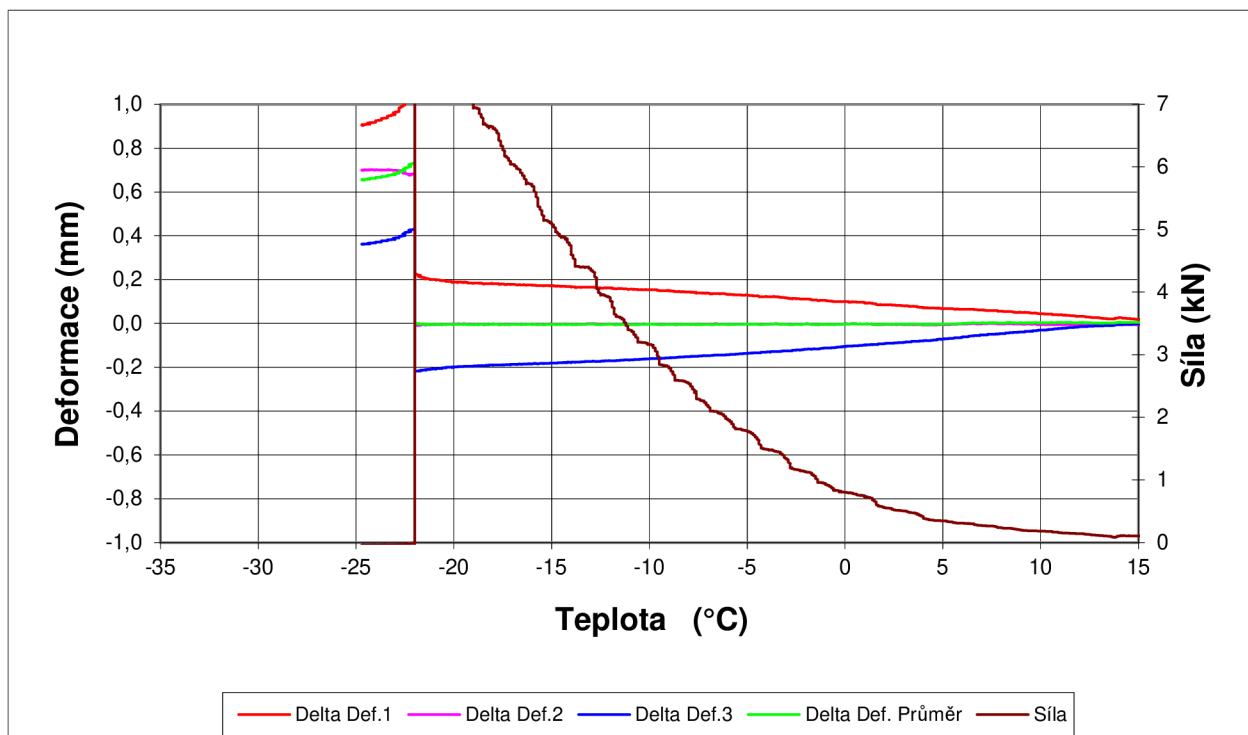
## *Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin*

Akce :	Bakalářská práce
Asfaltová směs :	11% I
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	27.1.2014
Zkoušku provedl :	Václav Doležel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,08
Max. napětí při porušení - MPa :	3,23
Teplota v komoře při porušení - °C :	-24,3
Teplota vzorku při porušení - °C :	-20,5



## *Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin*

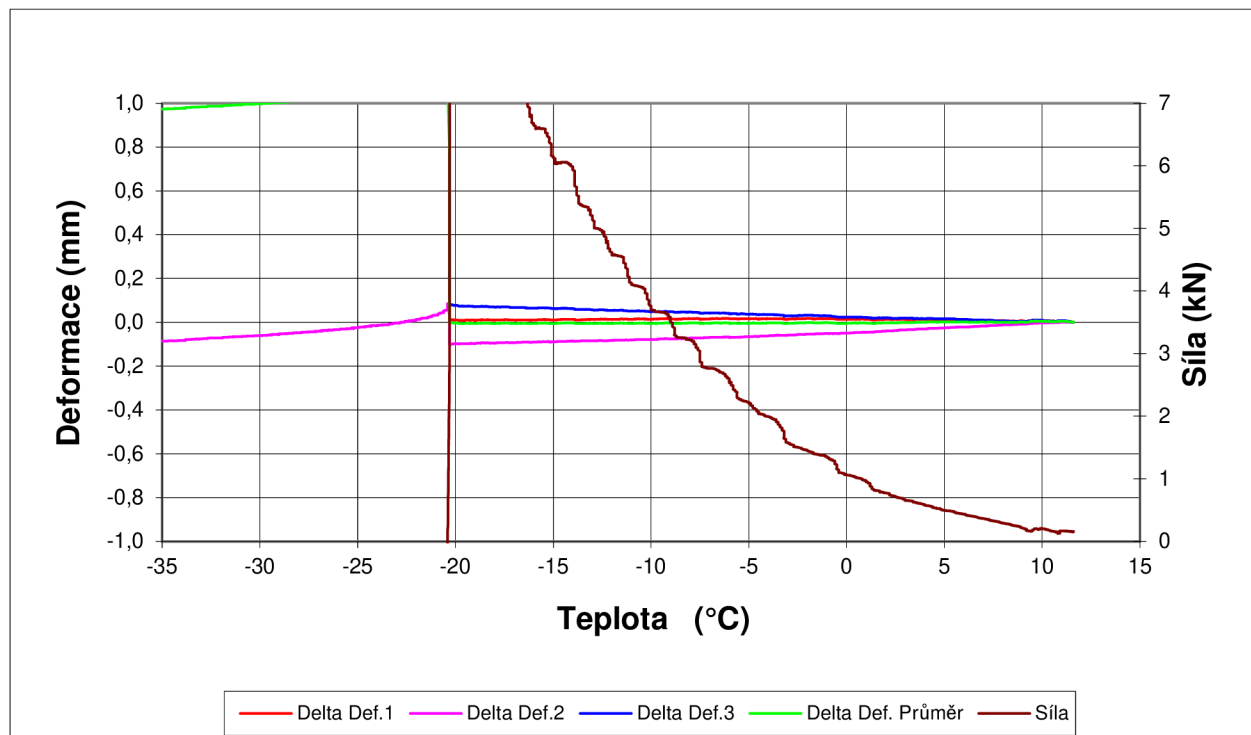
Akce :	Bakalářská práce
Asfaltová směs :	11% II
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	26.2.2014
Zkoušku provedl :	Václav Doležel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,00
Max. napětí při porušení - MPa :	3,20
Teplota v komoře při porušení - °C :	-25,6
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,7





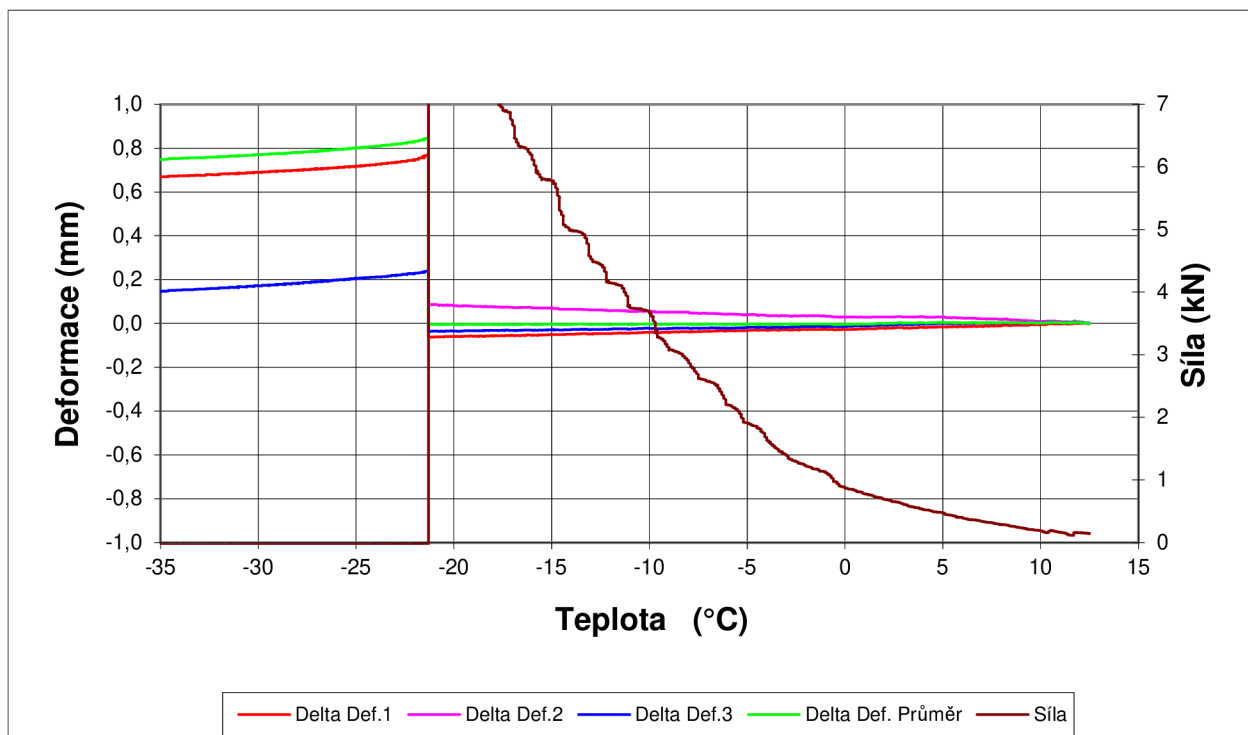
## **Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

Akce :	Bakalářská práce
<b>Asfaltová směs :</b>	11% III
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	49.5 x 51 x 250
<b>Datum zkoušky :</b>	12.12.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Václav Doležel
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	9,29
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,68
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-22,6
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-20,1



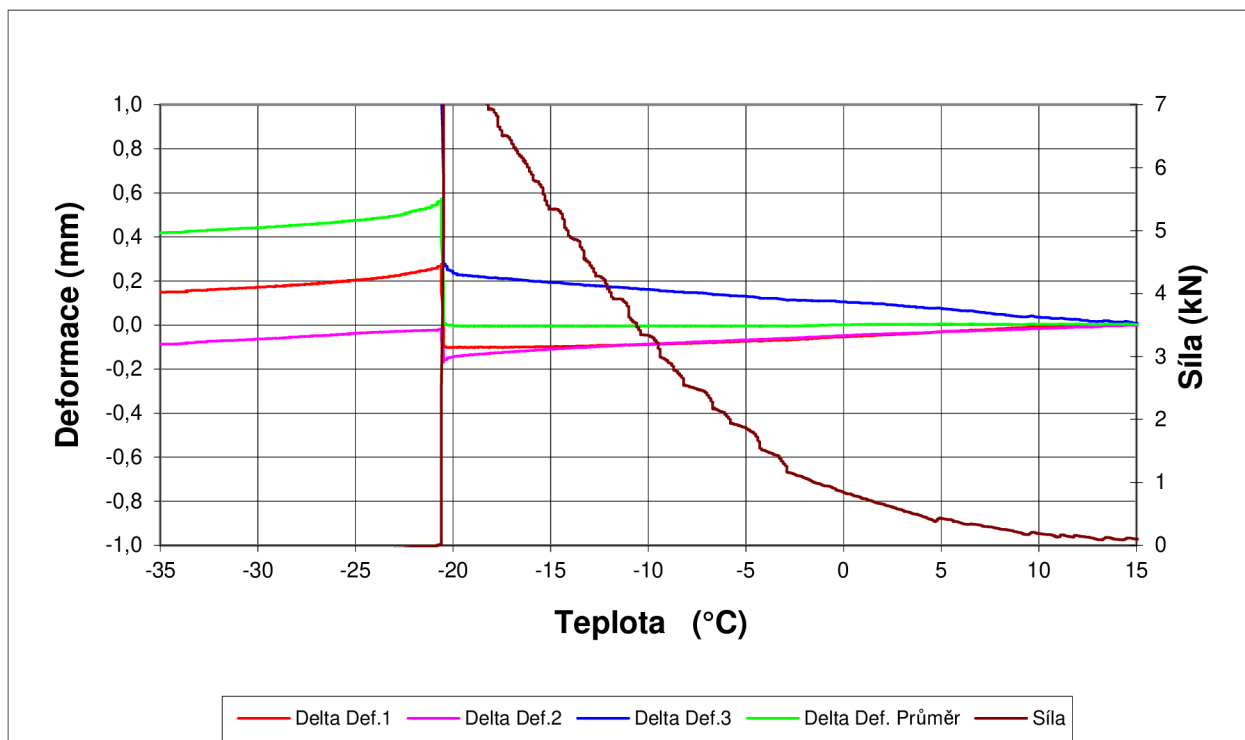
## *Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin*

Akce :	Bakalářská práce
Asfaltová směs :	11 IV
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	13.1.2014
Zkoušku provedl :	Václav Doležel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,06
Max. napětí při porušení - MPa :	3,62
Teplota v komoře při porušení - °C :	-25,3
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,2



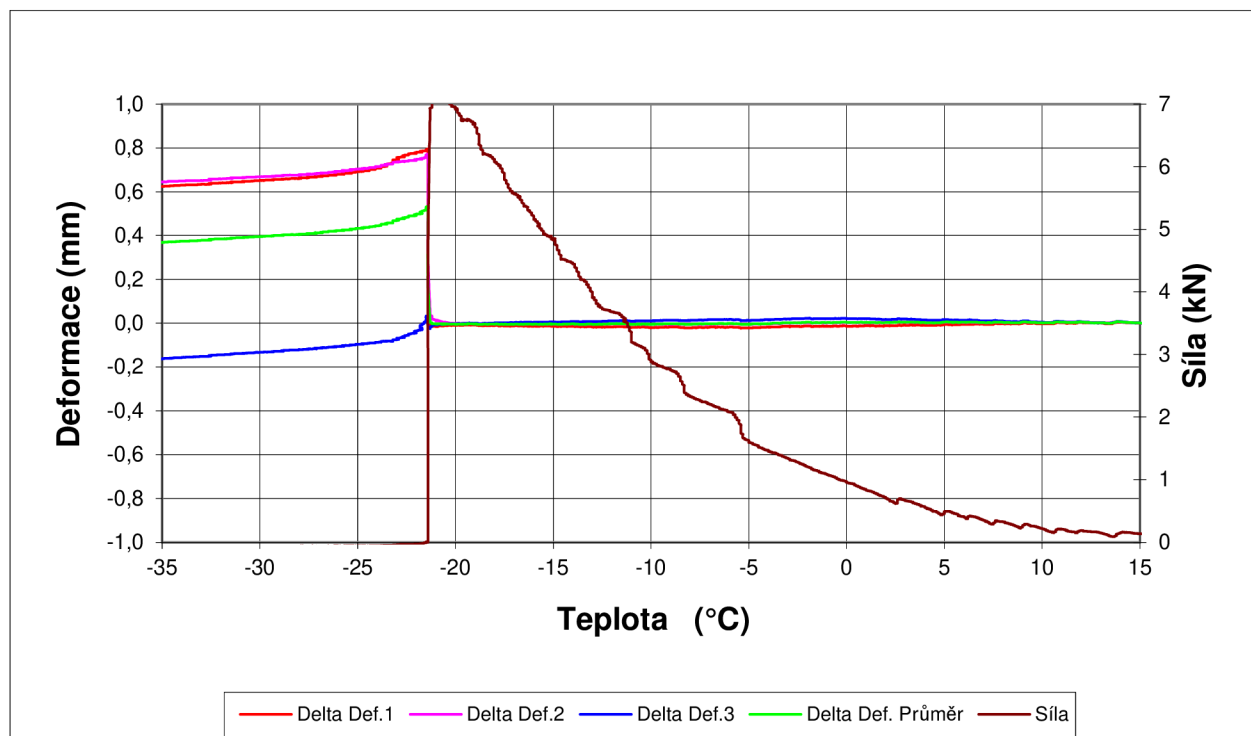
## **Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

Akce :	Bakalářská práce
Asfaltová směs :	11% V
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	20.12.2013
Zkoušku provedl :	Václav Doležel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	7,81
Max. napětí při porušení - MPa :	3,12
Teplota v komoře při porušení - °C :	-23,8
Teplota vzorku při porušení - °C :	-19,9



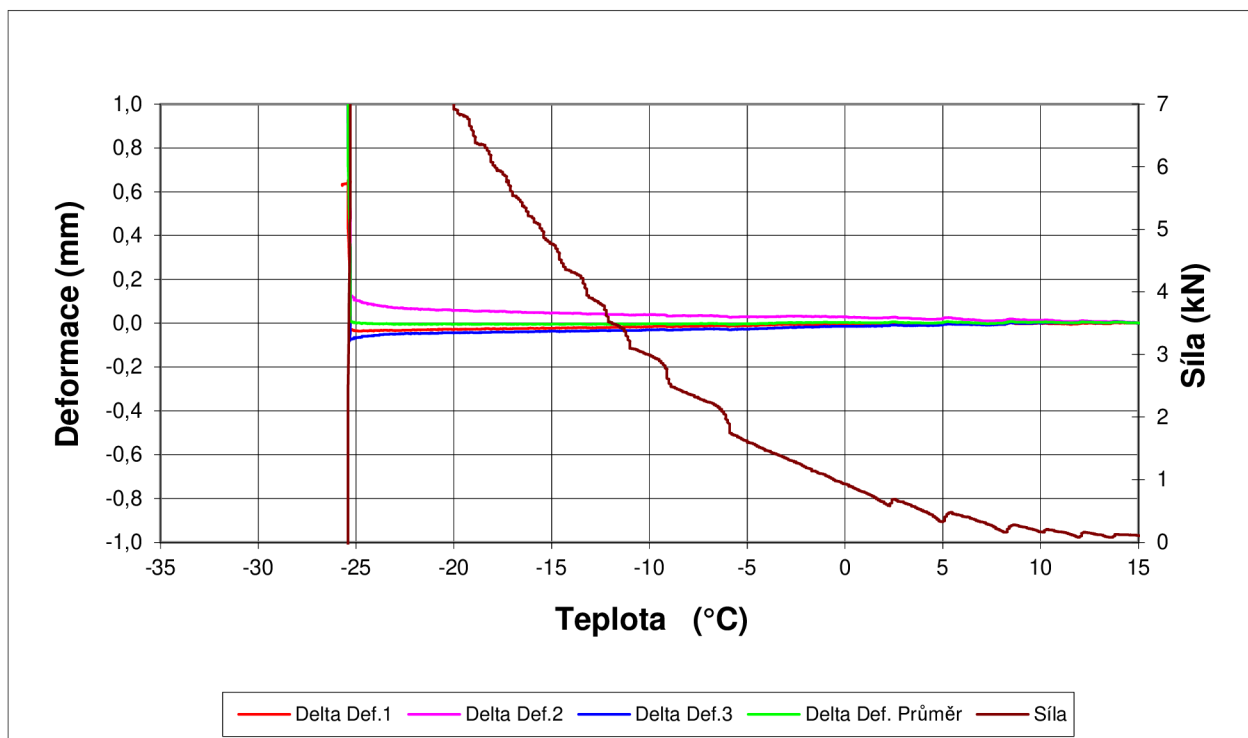
## **Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

<b>Akce :</b>	Bakalářská práce
<b>Asfaltová směs :</b>	17% I
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	28.1.2014
<b>Zkoušku provedl :</b>	Václav Doležel
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	7,10
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	2,84
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-24,5
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-20,7



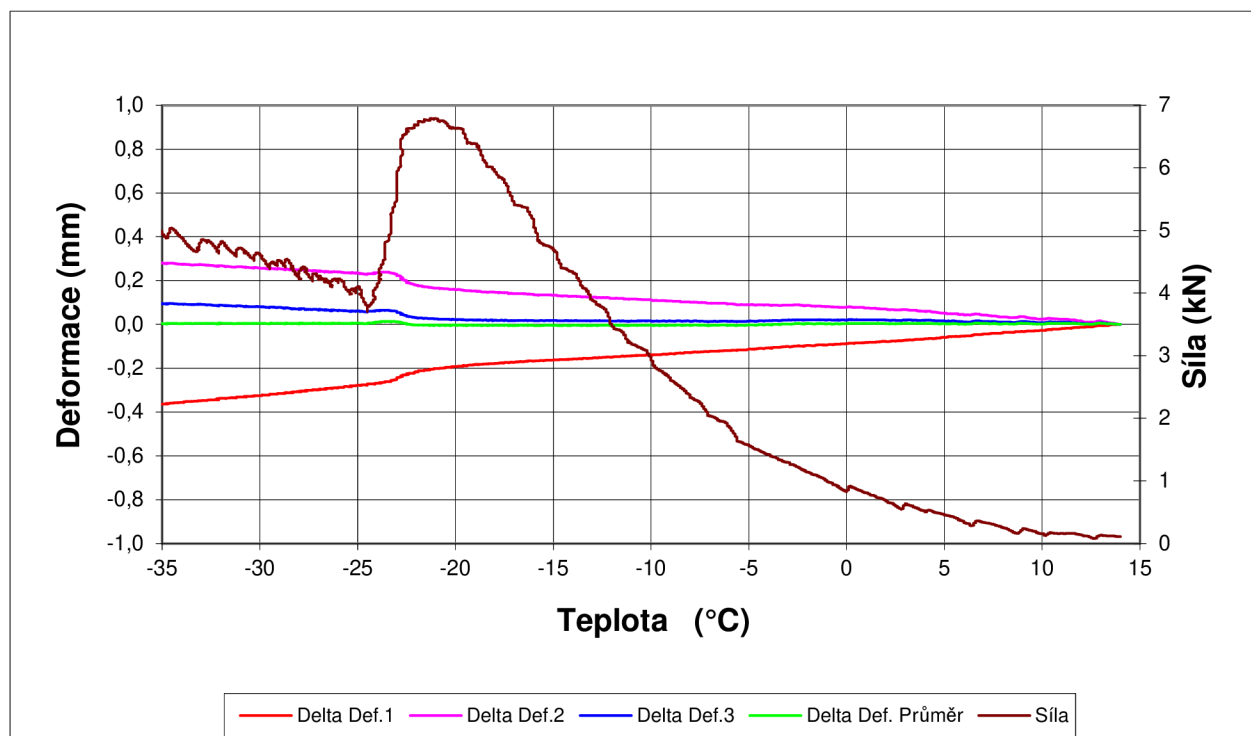
## *Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin*

<b>Akce :</b>	Bakalářská práce
<b>Asfaltová směs :</b>	17% II
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 50 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	16.12.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Václav Doležel
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	8,30
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	3,32
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-27,6
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-23,6



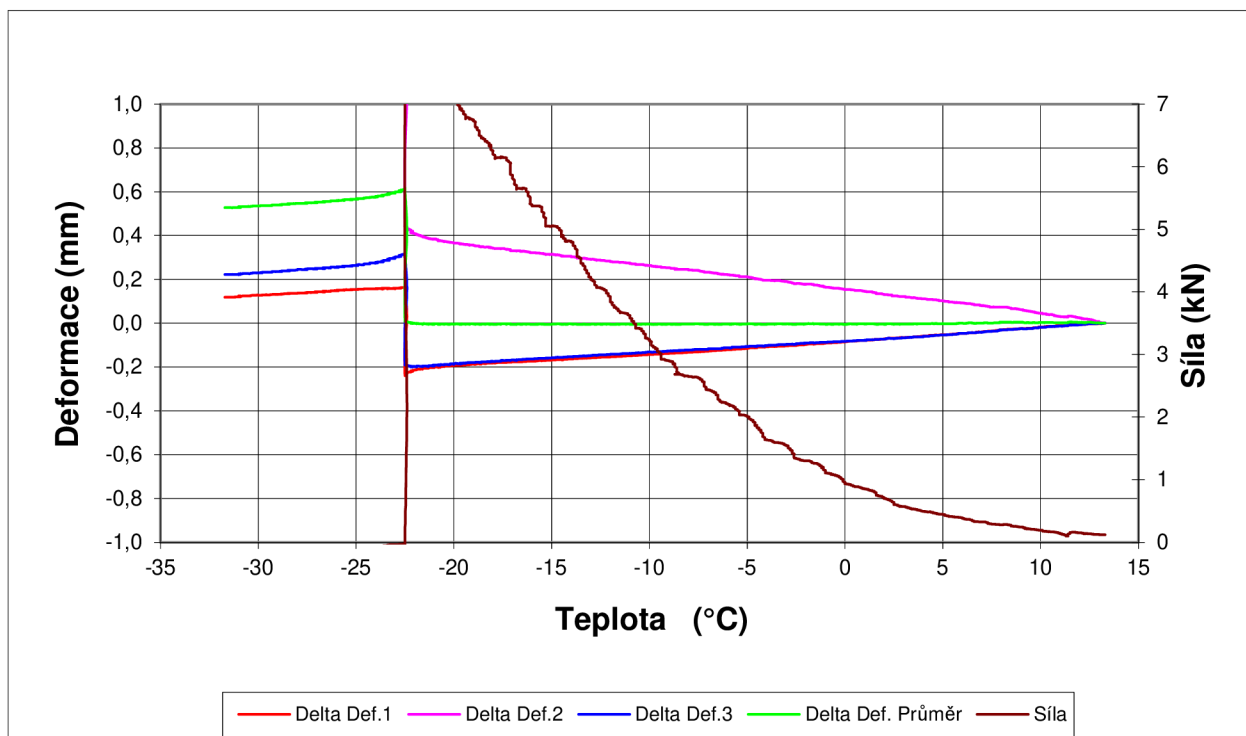
## **Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

<b>Akce :</b>	Bakalářská práce
<b>Asfaltová směs :</b>	17% III
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	49.5 x 51.6 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	11.12.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Václav Doležel
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	6,79
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	2,66
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-25,0
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-21,3



## **Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

<b>Akce :</b>	Bakalářská práce
<b>Asfaltová směs :</b>	17% IV
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	49.7 x 51.5 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	20.1.2014
<b>Zkoušku provedl :</b>	Václav Doležel
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazování - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	7,48
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	2,92
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-25,4
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-21,6



## **Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

<b>Akce :</b>	Bakalářská práce
<b>Asfaltová směs :</b>	17% V
<b>Rozměry zkušebního tělesa - mm :</b>	50 x 51.5 x 200
<b>Datum zkoušky :</b>	17.12.2013
<b>Zkoušku provedl :</b>	Václav Doležel
<b>Teplota temperování - °C :</b>	10
<b>Doba temperování - min. :</b>	15
<b>Rychlost ochlazení - °C/hod :</b>	10
<b>Max. síla při porušení - kN :</b>	7,00
<b>Max. napětí při porušení - MPa :</b>	2,72
<b>Teplota v komoře při porušení - °C :</b>	-23,3
<b>Teplota vzorku při porušení - °C :</b>	-19,6

