



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VLIV VÝROBNÍCH TEPLOT NA OBALOVNĚ NA VLASTNOSTI KAMENIVA

INFLUENCE OF THE MIXING PLANT MANUFACTURING TEMPERATURES ON THE
PROPERTIES OF AGGREGATES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Brtníková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2018



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	Tereza Brtníková
Název	Vliv výrobních teplot na obalovně na vlastnosti kameniva
Vedoucí práce	Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Zkušební normy z oblasti kameniva pro stavební účely

ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení

ČSN EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování.

Zkušební normy pro asfaltové směsi řady EN 12697

Firemní materiály

Internetové zdroje

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je ověření vlivu působení různých teplot na vlastnosti kameniva. Kamenivo bude namáháno různými teplotami, kterými může být vystaveno při výrobě asfaltové směsi na obalovně. Vliv teplot bude ověřen zkouškou dle ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení a ČSN EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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).

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V bakalářské práci je popsán jak postup výroby kameniva tak postup výroby asfaltové směsi v šaržové obalovně. Je zde uveden postup zkoušek odolnosti kameniva proti drcení a odolnosti proti zmrazování a rozmrazování. Zkoušky byly provedeny na 3 typech kameniva, které byly teplotně zatěžovány na 110°C, 200°C a 300 °C. Výsledky byly následně porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kamenivo, teplota, vlastnosti, mechanické a fyzikální vlastnosti kameniva, odolnost proti drcení, odolnost proti zmrazování a rozmrazování, sušící buben, hořák, šaržová obalovna, kontinuální obalovna, součinitel LA, procentní úbytek hmotnosti, žula, moravská droba

ABSTRACT

The bachelor thesis describes the production process of aggregate and production process of asphalt mixing in batch asphalt mixing plant. There is also mentioned the test procedure of endurance against grind and against freezing and defrosting. The tests were did on 3 types of rocks, which have been burdened by temperature on 110 °C, 200 °C and 300 °C. Then were the results compared.

KEY WORDS

Rock, temperature, properities, mechanical and physical properities of rock, endurance against grind, endurance against freezing and defrosting, dryer drum, turner, batch asphalt mixing plant, continuous asphalt mixing plant, coefficient LA, percentage weight loss, granit, moravian greywacke

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Tereza Brtníková *Vliv výrobních teplot na obalovně na vlastnosti kameniva*. Brno, 2018. 57 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2018

Tereza Brtníková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 21. 5. 2018

Tereza Brtníková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D za cenné rady, trpělivost a příjemný přístup. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Ivě Coufalíkové za pomoc v laboratořích, jak v těch školních tak v TPA ČR s.r.o., bohaté konzultace, ochotu, trpělivost a příjemný přístup. Moje další věnování poputuje zaměstnancům TPA ČR s.r.o., jak těm v Brně tak těm v Olomouci. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svojí rodině, za podporu a zklidňování nervů během studia.

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	CÍLE PRÁCE.....	12
3	TEORETICKÁ ČÁST.....	13
3.1	Kamenivo	13
3.1.1	Dělení kameniva	13
3.2	Výroba kameniva	15
3.2.1	Výroba drceného kameniva	15
3.3	Výroba za horka zpracovávaných směsí.....	17
3.4	Druhy obaloven asfaltových směsí	17
3.4.1	Kontinuální obalovna.....	17
3.4.2	Šaržová obalova.....	18
3.5	Postup výroby.....	18
3.6	Jednotlivé komponenty šaržové obalovny	19
3.6.1	Skladování kameniva	19
3.6.2	Dávkování kameniva.....	19
3.6.3	Sušící buben	20
3.6.4	Zásobníky na vápencovou moučku a vratnou kamennou moučku.....	26
3.6.5	Horké třídění	26
3.6.6	Proces míchání	27
3.6.7	Skladování hotové směsi.....	28
3.6.8	Řídicí systém (velín).....	28
3.7	Výkon obaloven a zajištění kvality	29
3.8	Shrnutí postupu výroby asfaltové směsi	30
3.9	Přidávání R-materiálů.....	31
4	PRAKTICKÁ ČÁST	33
4.1	Použité materiály	33
4.1.1	Moravská droba - Luleč.....	33
4.1.2	Žula - Lhota Rapotína	34
4.1.3	Moravská droba - Bohučovice	35

4.2	Použité zkušební metody.....	37
4.2.1	Příprava vzorků.....	37
4.2.2	Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2.....	40
4.2.3	Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1	42
4.2.4	Shrnutí přípravy kameniva před zkouškami	44
4.3	Výsledky a vyhodnocení provedených zkoušek	45
4.3.1	Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2.....	45
4.3.2	Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1	47
5	Závěr	50
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	51
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
8	SEZNAM TABULEK	56
9	SEZNAM GRAFŮ	57

1 ÚVOD

Při výrobě asfaltové směsi jsou jednotlivé komponenty směsi namáhány různými způsoby. Jednak teplotně, a v případě kameniva může také dojít k drčení zrn větších frakcí vlivem otluku jak v míchačce, tak také při pokládce na stavbě vlivem pojezdu hutnicím válcem.

Teplota asfaltové směsi na výstupu obalovny se běžně pohybuje okolo 170 °C. Kamenivo se tedy dle potřeby předeřívá v sušícím bubnu, kdy je teplota regulována výkonem hořáku, nebo množstvím dávkovaného kameniva. Z důvodu posunu stavební sezóny ke konci roku, kdy bývá počasí již chladnější, může být žádoucí předeřít kameniva na vyšší teplotu pro zajištění dostatečné teploty asfaltové směsi při pokládce. Také v ranních hodinách, než se obalovna nahřeje, nebo dojde k ustálení teploty v sušícím bubnu, může docházet k nahřívání kameniva na vyšší teploty.

Dalším důvodem zvýšení teploty kameniva může být přidávání R-materiálu za studena do míchačky obalovny. Aktuálním trendem v rámci celé Evropy je recyklace, ne jinak je tomu ve stavebnictví v České republice. Z tohoto důvodu je vyvíjen tlak na nalezení způsobů přidávání R-materiálu při zachování stejné kvality asfaltových směsí, které jej neobsahují.

Normové požadavky na kamenivo jsou specifikovány po laboratorním vysušení při teplotě 110 °C. Jak ale bylo výše zmíněno, kamenivo v procesu výroby může být vystaveno vyšším teplotám. Z tohoto důvodu je práce zaměřena na ověření vlastností kameniva po ohřátí na teploty 110 °C, 200 °C a 300 °C.

Po teplotním zatížení je ověřena jejich odolnost proti drčení. Z hlediska dlouhodobějšího, jsou vzorky zkoumány na odolnost vůči zmrazování a rozmrazování.

Dřívější průzkum vlivu vysokých teplot na kamenivo, je především v oboru materiálového inženýrství a to spíše z hlediska tepelné roztažnosti. Kdy hraje úlohu plniva v betonu, který je zkoumán na ohnivzdornost. Co se týče oboru technologií v pozemních komunikacích, jsem nenarazila na řešení problematiky, kterou se zabývám v této práci.

2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je zkoumání, zda má působení vyšších teplot, kterými je kamenivo zatěžováno v některých fázích výroby asfaltové směsi, na jejich vlastnosti. Vzorky kameniva se nahřejí na teploty 110 °C, 200 °C a 300 °C. Následně provedu zkoušky na ověření odolnosti proti drčení a odolnosti vůči zmrazování a rozmrazování. Nakonec porovnáím výsledky jednotlivých vzorků vůči sobě a s normovými požadavky.

Zkoumaných vzorků bude celkem 9 na zkoušku odolnosti proti drčení dle ČSN EN 1097 - 2 a 9 na zkoušku odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1. Pro zkoušení jsem zvolila 2 druhy kameniva. Dvě moravské droby a jednu žulu.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Kamenivo

Jedná se o nejrozšířenější materiál v silničním stavitelství. Kamenivo je nedílnou součástí konstrukčních vrstev vozovek. Hmotnostní podíl v asfaltové směsi se pohybuje mezi 93 – 96%. Po ztuhnutí obsahuje směs objemově přibližně 80 – 85% kameniva. Jeho hlavním úkolem je vytvořit pevnou odolnou kostru určité vrstvy. Vyrábí se z něj stavební směsi, nebo jsou přímo z něj prováděné některé typy vrstev.

Jde o zrnitý materiál, který je přírodního, umělého nebo recyklovaného původu. Můžeme ho dělit hned z několika hledisek.

3.1.1 Dělení kameniva

3.1.1.1 Dle objemové hmotnosti:

- **pórovité** - objemová hmotnost nepřesahuje 2000 kg/m³. Jedná se například o vulkanické tuhy, pemzu či křemelinu, když je řeč o přírodních kamenivech. Co se týče umělých kameniv, jde o škváru, keramzit či perlit. Dále do této skupiny spadá z recyklovaných kameniv cihelný recyklát.
- **hutné kamenivo** - kamenivo anorganického původu s objemovou hmotností 2000 – 3000 kg/m³. Skupina, do které spadá většina přírodních kameniv. Z umělých kameniv sem spadá vysokopecní struska a z recyklátů, betonový recyklát.
- **těžké kamenivo** - objemová hmotnost je větší než 3000 kg/m³. V ČR je nejrozšířenějším přírodním kamenivem tohoto druhu pro pozemní komunikace čedič. Z umělých kameniv je zástupcem ocelářská struska.[1]

3.1.1.2 Dle původu:

- **přírodní** – anorganického původu těžené z přírodních ložisek nebo drcené z přírodního kamene
- **umělé** – především se jedná o vedlejší produkty hutní výroby (struska), nebo kamenivo uměle vyráběné (keramzit)
- **recyklované** – kamenivo, které bylo již dříve použito pro určitou stavební konstrukci a následně znovu získané [1]

3.1.1.3 Dle způsobu vzniku zrn:

- **těžené** – jedná se o přírodní kamenivo, vyznačuje se zaoblenými zrny a ohlazeným povrchem, nejčastěji říčního, ledovcového nebo eolického původu.
- **těžené předrcené** – vzniká drcením zrn těženého kameniva o velikosti větší než 2 mm.
- **drcené** – vyznačuje se ostrohranným tvarem zrn a drsným lomovým povrchem. Získává se drcením kusového lomového kamene. [1]

3.1.1.4 Dle velikosti zrn:

- **jemné částice** - materiál, který propadne sítem 0,063 (filer)
- **drobné kamenivo** - velikost zrna 0,063 – 4 mm
- **hrubé kamenivo** - velikost zrna 4 – 63 mm
- **směs kameniva** - kombinace hrubého a drobného kameniva
- **šterkopísek** - směs drobného a hrubého přírodního těženého kameniva, předepsaná zrnitost je omezena horním sítem
- **šterkodrt** - směs drobného a hrubého drceného přírodního kameniva, předepsaná zrnitost je omezena horním sítem
- **odval (lomová výsivka)** - odpad z výroby drceného kameniva [1]

Dále se dělí i například na kyselé, zásadité a neutrální.



Obrázek 1 - Těžené kamenivo X drcené kamenivo [18]

3.2 Výroba kameniva

Dalším faktorem, který může mít vliv na vlastnosti kameniva je jeho výroba. Při snaze dosáhnout určitých frakcí, které se používají do asfaltových směsí, musí lomový kámen projít několika fázemi drcení (v případě drceného přírodního kameniva).

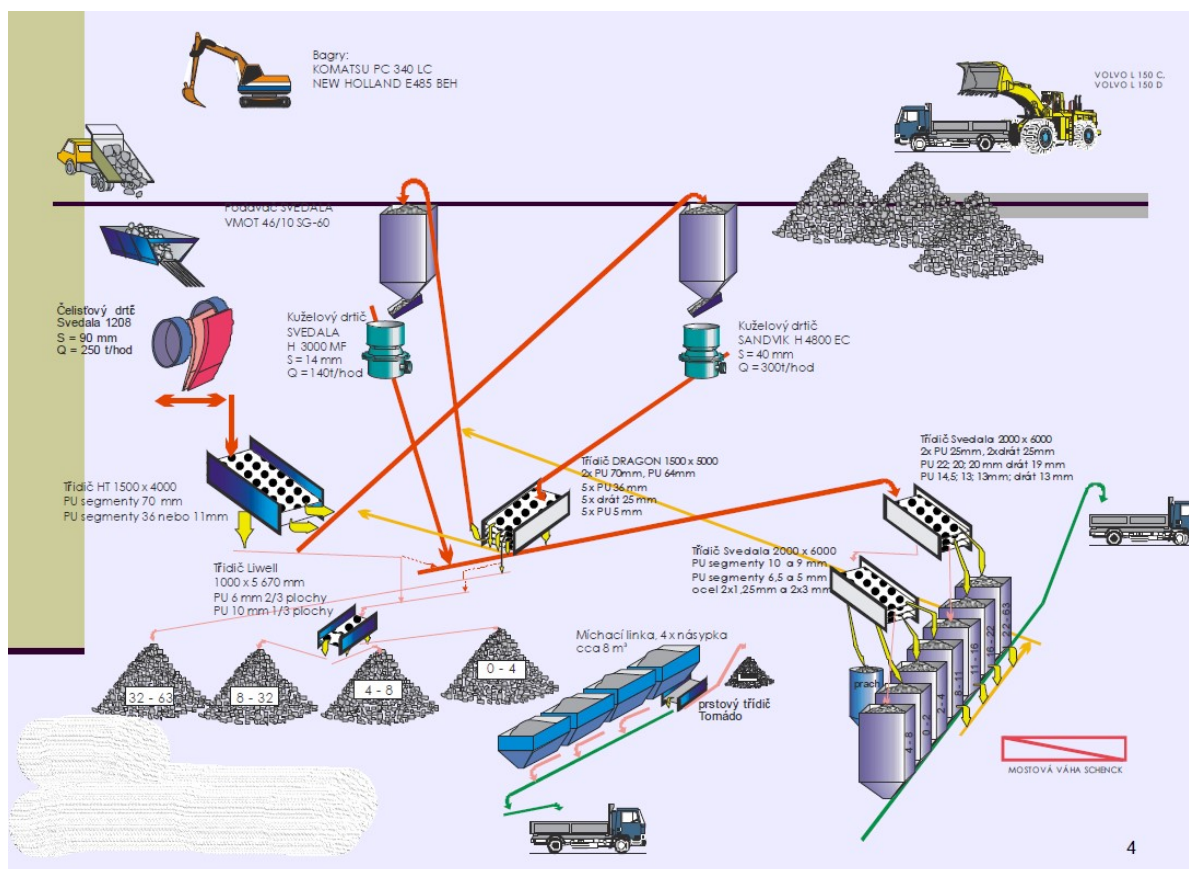
Převážně se používá drcené kamenivo, které je typické svými ostrými hranami zrn a jejich drsným povrchem. Nejčastěji se kamenivo drtí na frakce: 0/4, 4/8, 8/11, 11/16, 11/22 a 16/22.

Přírodní těžené kamenivo se do asfaltových směsí spíše nepoužívá, kvůli svému zaoblenému tvaru a ohlazenému povrchu zrn. Je výrazně levnější než drcené kamenivo, ale technické parametry z něho vyrobených vrstev jsou nižší. Proto se dále zaměřím jen na kamenivo drcené.

3.2.1 Výroba drceného kameniva

Drcené kamenivo se získává nejčastěji povrchovou těžbou v lomech.

Postup těžby – nejprve se navrtají vrty vrtnou soupravou v hlavě stěny a při patě etáže. Poté se vrty nabijí a následně dojde k clonovému odstřelu. Rozval je poté odvážen k drcení.



Obrázek 2 - Postup výroby drceného kameniva [5]

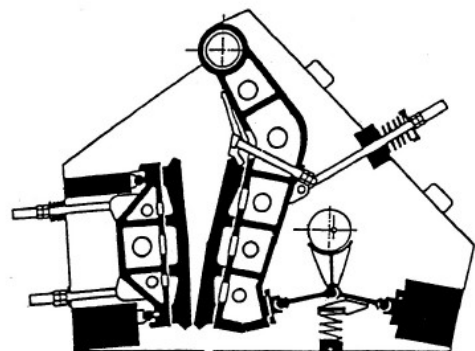
Kusové kamenivo se dále zpracovává drtiči, ty dělíme: [3]

- **Čelistové drtiče** – jedná se o primární drtiče pro hrubé a střední drcení tvrdšího kamene. Vstupním materiálem jsou balvany o velikosti do 1200 mm. Po průchodu drtičem je konečná velikost 300 mm.
- **Odrazové drtiče** – sekundární drtiče pro jemnější drcení. Vstupní materiál má velikost 300 mm a je podrcen na velikost přibližně 25 mm. Po průchodu tímto drtičem už mluvíme o jemnozrnném kamenivu.
- **Kuželové drtiče** – skládají se z pevného kuželového pláště s výstředně rotujícím kuželem.

Po drcení se kamenivo dále třídí pomocí sít na jednotlivé frakce. Někdy se kamenivo i tzv. „pere“. To znamená, že se zbavuje jílovitých částic, hlíny, drobných částic, apod., které zapříčiňují horší přilnavost asfaltových pojiv ke kamenivu.



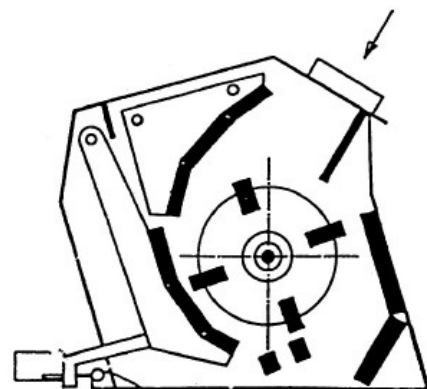
Obrázek 3 – Čelistový drtič [3]



Obrázek 4 - Řez čelistovým drtičem [3]



Obrázek 5 - Odrazový drtič [5]



Obrázek 6 - Řez odrazovým drtičem [3]

Po drcení kameniva v kamenolomech a roztřídění na jednotlivé frakce, je materiál přepraven k obalovně asfaltových směsí. Zde je skladován pod zastřešenými otevřenými objekty, aby se materiál nedostal do kontaktu s deštěm a aby k němu měli snadný přístup pracovní stroje. Poté se kamenivo jednotlivých frakcí přemístí do dávkovačů obalovny asfaltových směsí.

3.3 Výroba za horka zpracovávaných směsí

Asfaltová směs se skládá z kameniva, asfaltového pojiva a případně dalších příměsí. Jako asfaltové pojivo se používá asfalt, asfaltová emulze nebo ředěný asfalt. [2]

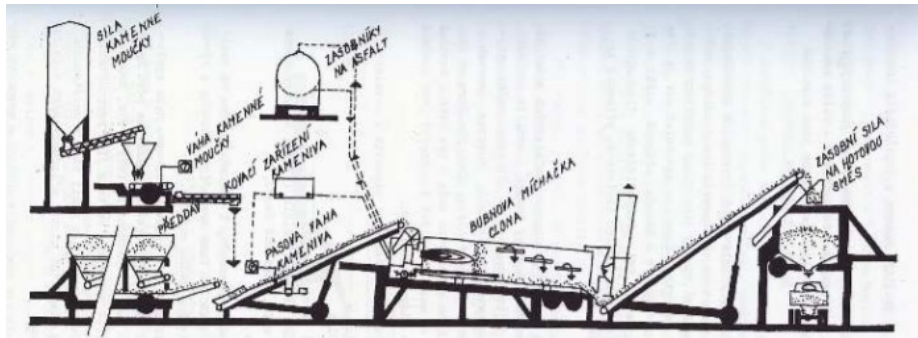
Kamenivo tvoří hlavní kostru směsi a to díky jeho vzájemnému dotýkání a zaklínění zrn, kterého je dosaženo správným dávkováním jednotlivých frakcí kameniva tak, aby byla zajištěna plynulá křivka zrnitosti. Tudíž používáme do směsí kamenivo nestejzorné.

Směsi se vyrábějí v obalovnách asfaltových směsí. Ty rozdělujeme na dva druhy.

3.4 Druhy obaloven asfaltových směsí

3.4.1 Kontinuální obalovna

Proces výroby probíhá nepřetržitě, bez přestávky. Jednotlivé komponenty jsou přidávány do mísícího procesu kontinuálně. Problémem je, že se nemůže měnit receptura.



Obrázek 7 - Schéma kontinuální obalovny [2]

Obalovny u nás musí být schopny rychle měnit recepturu, většinou jedna výrobní linka zásobuje okruh cca 50 km. Jedná se tedy o různé typy krytů vozovky, pro které je potřeba na staveništi dopravit určitý typ asfaltové směsi. I z ekonomického hlediska je to výhodné pro firmy, pod které obalovna spadá. Z toho důvodu jsou u nás používány šaržové obalovny. V České republice je snad jen jedna mobilní kontinuální obalovna.

3.4.2 Šaržová obalova

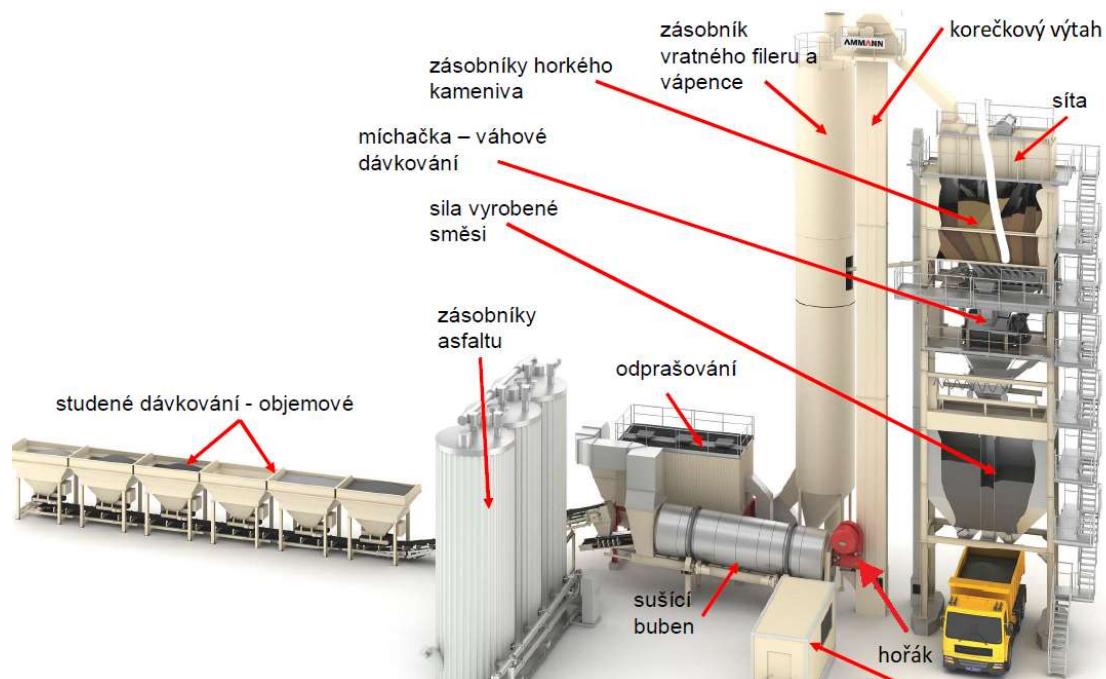
Jedná se o druh diskontinuální výroby. U těchto obaloven je míchána směs v míchačce šaržovým způsobem. Je zde tedy možnost změny receptu u každé šarže. Jedná se o pružnější metodu výroby asphaltové směsi. Lze dosáhnout i vyšší kvality míchání na základě přesnějšího dávkování a přizpůsobení mísících cyklů.

Tím, že se jedná o přerušovanou výrobu, se musí obalovna každé ráno uvádět zpět do chodu. Z toho důvodu, je možné, že se hořáky u sušícího bubnu spouští na vyšší výkon, než během zbytku dne, aby došlo k co nejrychlejšímu zahřátí a mohlo se pokračovat ve výrobě. To může zapříčinit větší teplotní namáhání kameniva a tím pádem i možné ovlivnění jeho vlastností.

3.5 Postup výroby

Výroba začíná u předdávkování kameniva jednotlivých frakcí. Kamenivo je pomocí dopravníku dovezeno do sušícího bubnu, kde je nahřáto a zároveň zde dochází k odtahu vratné moučky. Poté je pomocí korečkového výtahu kamenivo dopraveno do horkého třídění, kde je znovu rozsítováno.

Následně dochází ke smíchání horkého kameniva a vápenné moučky. V dalším kroku se dávkuje horký asphalt přes průtokoměr a smíchá se s kamenivem. Nakonec se skladuje směs v silách obalovny.



Obrázek 8 - Schéma šaržové obalovny + označení jednotlivých částí [5]

Veškerý provoz obalovny, včetně technologického postupu se řídí písemným dokumentem tzv. „Plán kvality“, který má každá obalovna.

Výroba se uskutečňuje pouze na základě zkoušek typu a výrobních předpisů. V případě odchylek v tolerancích zkoušek typu, na základě výsledků kontrolních zkoušek, jsou prováděny korektury a je o tomto veden záznam (změnový list). V případě výsledku, který se neshoduje, je výroba zastavena, příčiny odstraněny a je odebrán nový vzorek.

3.6 Jednotlivé komponenty šaržové obalovny

Obalovna se dělí na jednotlivé komponenty, jako jsou zásobníky, sušící buben s hořákem, míchačka atd. Tyto části spolu tvoří jeden produktivní celek. Musí do sebe perfektně zapadat, aby mohli hladce spolupracovat. Je tedy nejlepší, když jsou tyto části obalovny od jednoho dodavatele.

3.6.1 Skladování kameniva

Kamenivo je skladováno v prostorách (skládkách), které jsou odděleny dělicími stěnami. Ve většině případů jsou skládky nezastřešené. Výhodnější by bylo však tyto prostory zastřešit, aby nedocházelo ke kontaktu s deštěm a nedošlo tak k navlhčení materiálu. Čím menší frakce, tím větší by se měl klást důraz na ochranu před zvlhnutím. Zvlhnutí zapříčiňuje horší nahřívání v sušícím bubnu, jelikož by se muselo počítat i se zvýšenou vlhkostí navážky. Tudíž by mohlo dojít ke zvyšování teplot hořáku a většímu teplotnímu namáhání kameniva.

3.6.2 Dávkování kameniva

Materiál je navážen do dávkovačů kolovým nakladačem. Pro předdávkování jednotlivých frakcí slouží zásobníky. Navážka je následně dopravena do sušícího bubnu pomocí pásových dopravníků.

Volně oscilující vibrační třídící síta studeného dávkovače musí být správně nakalibrována tak, aby docházelo co k nejmenšímu zůstatku materiálu, který není potřebný. To vede ke snížení paliva a jeho použití pouze na to, co je potřeba do konkrétní směsi. Jinak řečeno, nahříváme jen to, co požadujeme. Dávkování jednotlivých zásobníků je automaticky řízeno z velínu obalovny.

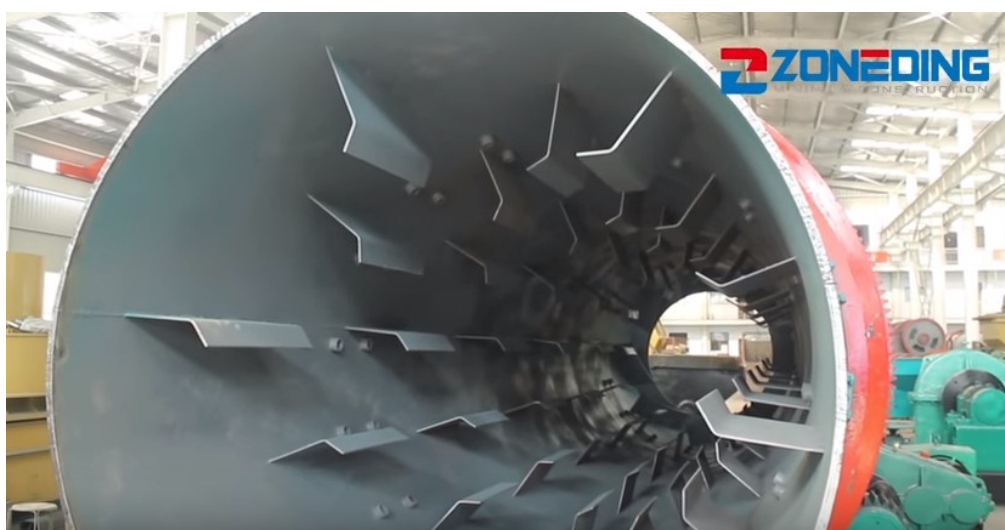


Obrázek 9 - Dávkování jednotlivých frakcí kameniva [6]

3.6.3 Sušící buben

Materiál je dopraven do sušícího bubnu pásovým dopravníkem. Kamenivo je předehřáto na požadovanou teplotu, aby následně v mísícím centru došlo ke správnému přilnutí asfaltového pojiva ke kamenivu. Nedílnou součástí je hořák, o kterém se budu zmiňovat jako o samostatném komponentu níže.

V sušícím bubnu je kamenivo namáháno jak teplotně, tak mechanicky. Mechanické namáhání probíhá vlivem rotačního pohybu sušícího bubnu, kdy kamenivo naráží na lopatky. Navážka je nahřívána nepřímo, tzn., že není v přímém kontaktu s plamenem hořáku. Teplota kameniva při procesu nahřívání roste směrem k výstupu ze sušícího bubnu.



Obrázek 10 - Vnitřek sušícího bubnu, detail na lopatky [17]

VLIV VÝROBNÍCH TEPLŮT NA OBALOVNĚ NA VLASTNOSTI KAMENIVA

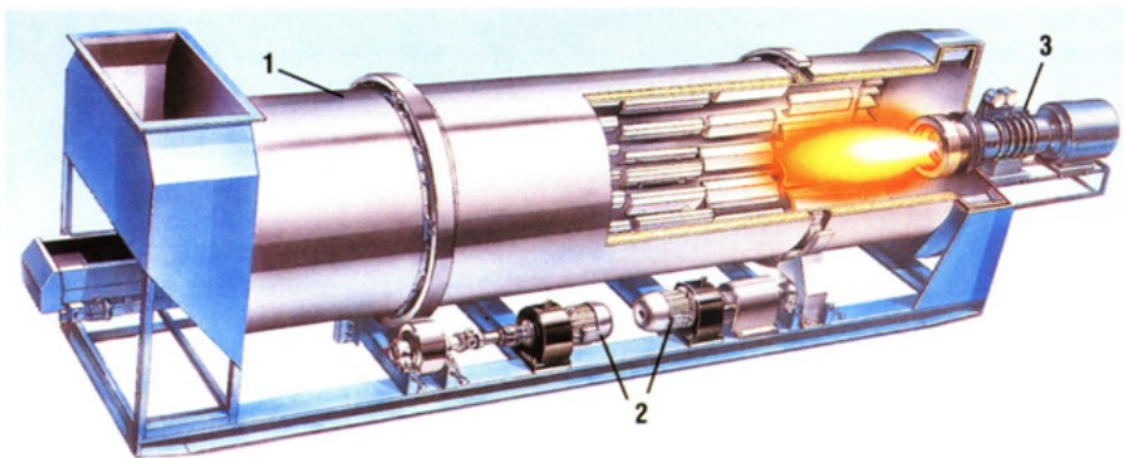
Tubus sušícího bubnu je vyroben z ocelového plechu. Jakost materiálu záleží na výrobcu. Uvnitř rotujícího bubnu jsou zabudovány průběžné podélné mísící lopatky, které jsou buď šroubované, nebo svařované.

Přihřnovací lopatky ve tvaru šnekovice posunují náplň k výstupnímu otvoru. Rychlost postupu sušeného materiálu lze měnit nastavením sklonu bubnu a změnou otáček. [8]

Na plášti bubnu, je přišroubované segmentové řetězové kolo, které obepíná článkový řetěz, díky kterému dochází k přenosu kroutícího momentu. Moment může být přenášen i pomocí hnaných odvalovacích kladek.

Ke snížení tepelných ztrát slouží tepelná izolace, která je připevněna na válcovou část sušícího bubnu. Izolaci tvoří vzduchová spára. Její opláštění se provádí pozinkovaným nebo nerezovým plechem případně některými izolačními materiály.

Rotační část sušícího bubnu je uložena v podstavné konstrukci, na kterou jsou dále připevněny stacionární díly vstupu a výstupu materiálu.



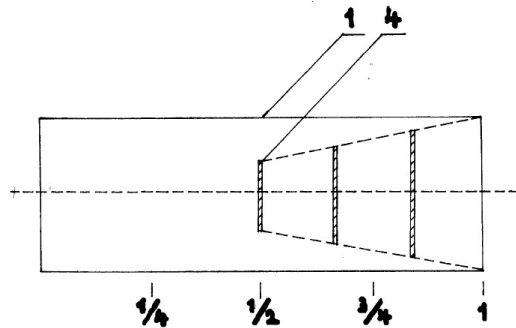
Obrázek 11 - Pohled na vnitřek sušícího bubnu [27]

Většinou se jedná o protiproudé rotační sušící bubny. Průměr bubnu je od 1 do 3 m a délka 5 – 10 m. Sušení a nahřívání kameniva probíhá při teplotách 160 – 200 °C, teplota kameniva nesmí přesáhnout 250 °C dle technických kvalitativních podmínek kapitoly 7.[16]

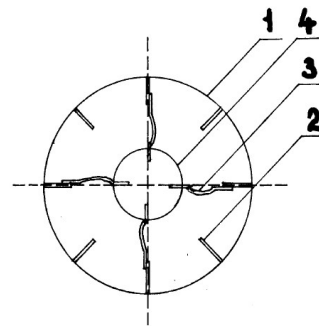
Při každodenním uvádění obalovny zpět do chodu může dojít i k překročení maximální teploty, proto jsem v praktické části kamenivo nahřívala i na teplotou 300 °C.

Doba sušení jedné navážky se pohybuje mezi 4 – 6 minutami. Kamenivo musí být řádně vysušené a ohřáté, aby byla výsledná směs co nejkvalitnější.

V případě návrhu sušícího bubnu, v roce 1985 obsahoval tubus ještě tři kruhové vložky, které byly upevněné pomocí držáků na mísící lopatky. První byla umístěná doprostřed bubnu a měla průměr 930 mm.



Obr. 1



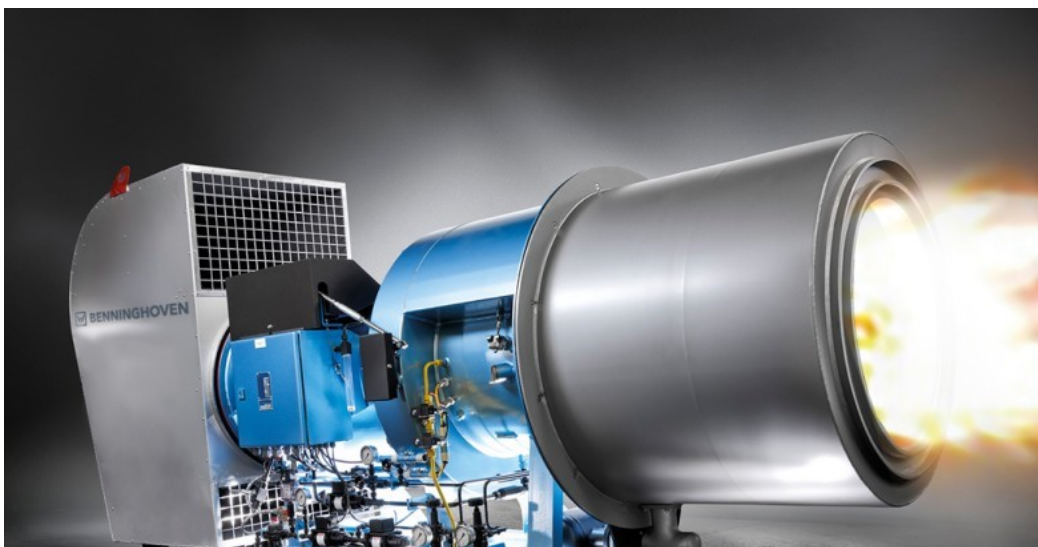
Obr. 2

Obrázek 12 - Podélný a příčný řez sušícím bubnem, rok 1985 [9]

1 – plášť, 2 – mísící lopatky, 3 – držáky, 4 – kruhová vložka (930 mm)

3.6.3.1 Hořáky sušícího bubnu

Velká pozornost musí být věnována i hořákům, jelikož jsou hlavní součástí sušícího bubnu. Musí být dodržena co největší úspora paliva, nízké emise a co nejnižší hladina hluku. Hořák je umístěný na výstupním konci sušícího bubnu a poháněn mechanismem pomocí paliva. Ve většině případů je jako palivo používán zemní plyn, ale v dnešní době se začínají používat i jiné pohonné hmoty. Hořák je opatřen regulačním systémem pro stálé udržování nastavené teploty kameniva tak, aby bylo zamezeno jeho přehřátí.

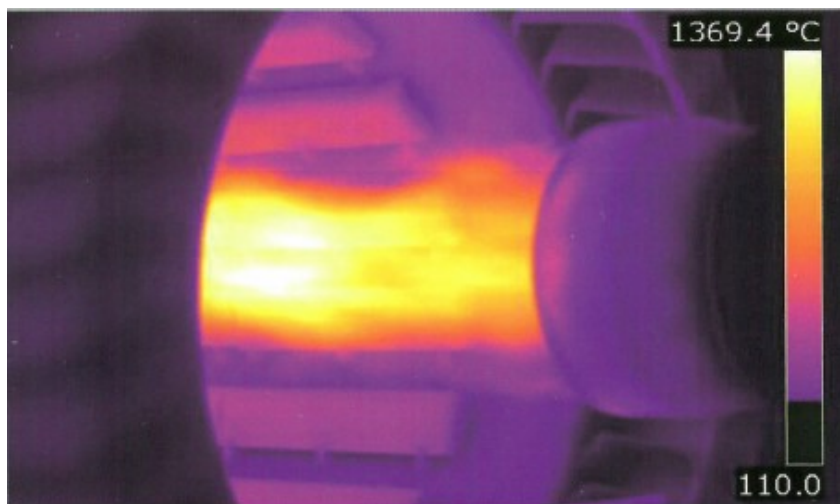


Obrázek 13 - Pohled na hořák sušícího bubnu [10]

Díky technologii, která mění frekvenci kmitočtu, ventilátor hořáku a olejové čerpadlo fungují dokonale koordinovaně. Tímto způsobem hořák poskytuje pouze množství energie, která je potřebná na proces sušení. [10]

Přestavbou přívodu vzduchu a využitím odběru tepla z vytápěné desky na konci sušičky, se využije předeřhřátý vzduch a přivede se do hořáku. Tím se sníží poptávka po energii pro předeřhev vzduchu a dojde ke snížení nákladů na palivo.[10]

Uvnitř sušícího bubnu okolo hořáku dosahuje teplota spalin až 1000 °C. Rychlost spalin v sušícím bubnu při stálém tlaku směrem ke vstupnímu otvoru materiálu klesá. Tím pádem se snižuje teplota i rychlost odevzdávání tepla k sušení a ohřívání. Tyto nedostatky eliminuje právě rotující pohyb sušícího bubnu s průběžnými podélnými lopatkami. [9]



Obrázek 14 - Termo snímek plamenu hořáku se znázorněním teplot [11]

3.6.3.1.1 Druhy hořáků dle používaných pohonných hmot

Hořáky jsou upravovány podle druhu paliva. Existují hořáky, které jsou vyrobeny, aby mohli spotřebovávat různé druhy pohonných hmot.

3.6.3.1.1.1 Olejový hořák

Palivový olej se přivádí do sestavy trysek pod tlakem, zatอมizuje se do turbulentního proudění vzduchu z ventilátoru a zapálí se pomocí propanového plynu. Řídicí systém pracuje synchronně s vícenásobným řízením vzduchu a regulačním ventilem paliva, aby byl zajištěn poměr vzduchu a pohonné hmoty během provozu.

3.6.3.1.1.2 Hořák na plynná paliva

Jedná se například o zemní plyn. Jsou to nejrozšířenější paliva pro tyto komponenty. Plyn je přiváděn do hořáku při tlaku přibližně 300 mbar. Spalování těchto paliv je dosaženo čistým a efektivním způsobem, bez výsledných emisních problémů. To je zajištěno způsobem zavádění paliva přes plynový kroužek s více tryskami do hlavy hořáku, kde je důkladně promícháno se spalovacím vzduchem.

3.6.3.1.1.3 Hořák na LPG

V tomto případě jsou jako palivo používány kapalné ropné plyny (Liquid Petroleum Gases), jako například propan nebo butan. Tyto plyny se uchovávají ve speciálně navržených zásobnících a do hořáku jsou dodávány pomocí vysokotlakého čerpadla. Hořák má konstrukci podobnou jako olejový, protože kapalný plyn může být stříkán pomocí trysek a podobně zapálen.

3.6.3.1.1.4 Hořák na uhelný prach

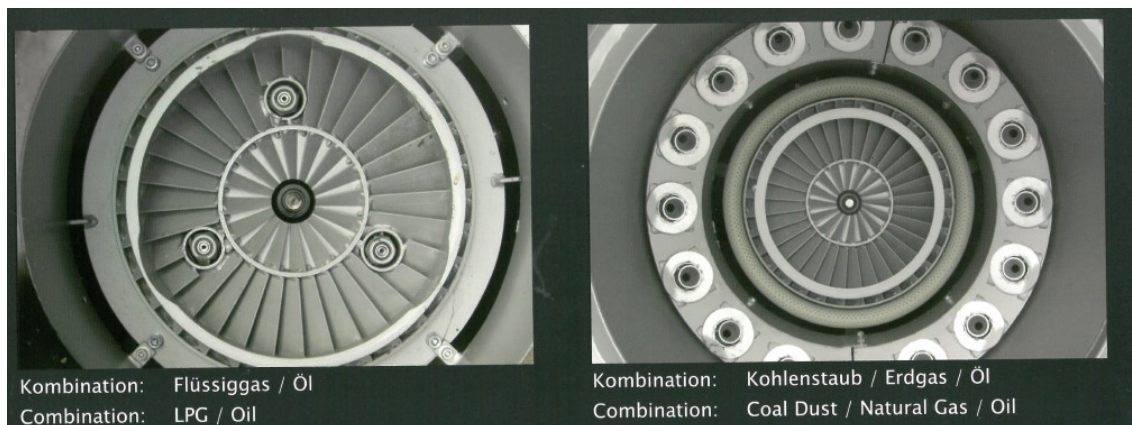
Tuhá paliva, uhlí apod., jsou dopravovány na místo v práškové formě a skladovány ve speciálně navržených skladovacích silech. Systém cyklonu a vakuového filtru shromažďuje jemné vzdušné částice uhlí a ukládá je do speciálního dávkovacího systému, který pneumaticky dodává potřebné množství hořáku. Kvalitní paliva s vysokým podílem těkavých složek mohou být dodávána do hlavy hořáku a přímo zapálena zapalovacím plamenem. Paliva s nízkou kvalitou vyžadují podporu spalování kontinuálním plamenem ropy nebo plynu.

Tento typ hořáku již nevyžaduje sekundární pomocný plamen. Ve srovnání s topným olejem či zemním plynem lze tímto způsobem uspořit až 60 % nákladů na palivo.

3.6.3.1.1.5 Kombinovaný hořák

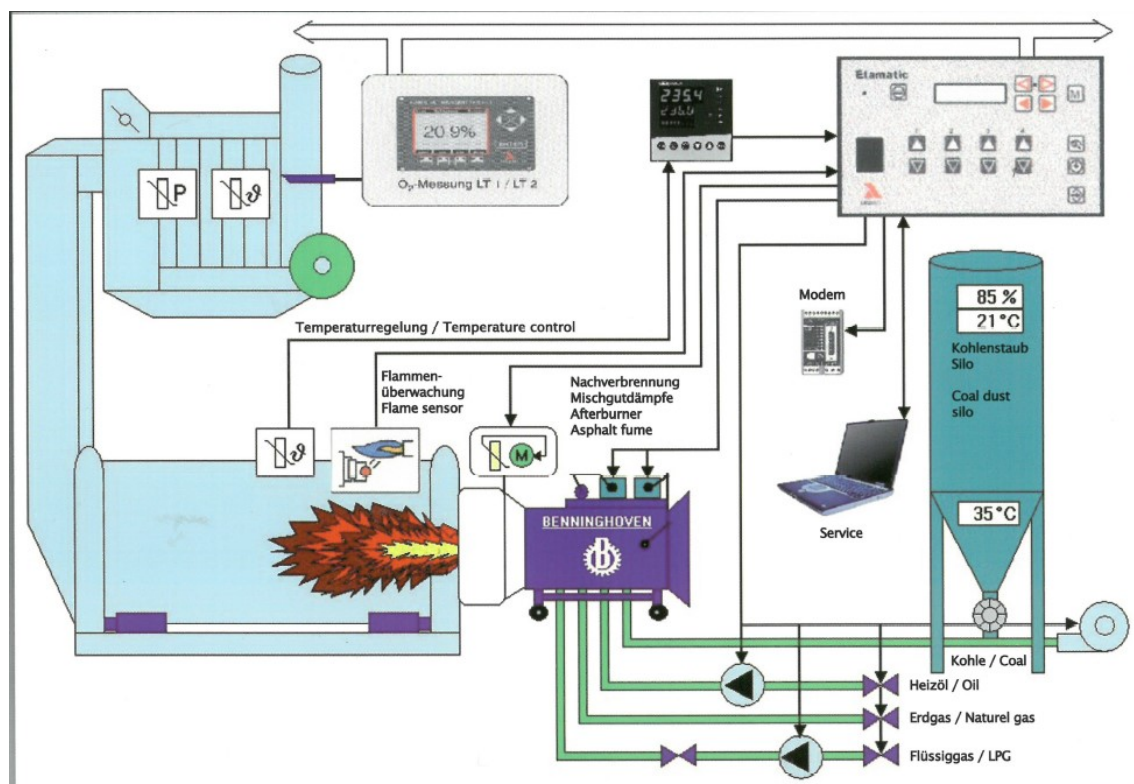
Typ hořáku, který podporuje použití více paliv. Systém umožňuje obsluhu přepínat z jednoho paliva na jiné pouze na ovládacím panelu. Mikroprocesorové zařízení slouží i pro regulaci a nastavení různých poměrů vzduchu a paliva potřebných pro různou výhřevnost paliv.

V dnešní době se začínají pomalu vyvíjet i systémy, které jsou energeticky úsporné. Jedná se o postupnou instalaci elektromotorů v souladu s očekávaným standardem IE 2. [10]



Obrázek 15 - Pohled na typy hořáku pro různá paliva (uvedená na obrázku) [11]

3.6.3.1.2 Schéma dávkování paliva



Obrázek 16 - Schéma dávkování paliva do hořáku sušícího bubnu [11]

3.6.3.2 Namáhání kameniva v sušícím bubnu

Kamenivo v sušícím bubnu není v přímém kontaktu s plamenem hořáku. Navážka je z části mechanicky namáhána lopatkami sušícího bubnu a je za nimi shromažďována a postupně vedena k výstupu ze sušícího bubnu.

Dle normy, jsou mechanické a fyzikální vlastnosti kameniva zkoušeny po jeho vysušení na 110 °C. Výsledky zkoušek podle normy, se tedy mohou lišit od skutečnosti, jelikož při výrobě dochází k většímu teplotnímu namáhání kameniva. Konkrétně v sušícím bubnu se jedná o teploty od 160 do 200 °C, někdy i více.

K většímu mechanickému poškození v této fázi výroby nedochází. Kamenivo dosahuje vyšší teploty, až během přesouvání k oblasti výstupu. Výstup se nachází u hořáku, kde jsou teploty v sušícím bubnu nejvyšší.

3.6.4 Zásobníky na vápencovou moučku a vratnou kamennou moučku

Během vysoušení a nahřívání kameniva v bubnu dochází vzájemně i k odtahu prachu (vratné moučky), stejně tak i v korečkovém výtahu a horkém třídění. Odtah probíhá přes filtry. Filtrační vložky jsou odolné proti vysokým teplotám a eliminují potřebu klapky čerstvého vzduchu. Vápencová kamenná moučka i vratná kamenná moučka jsou skladovány v samostatných silech. [5]

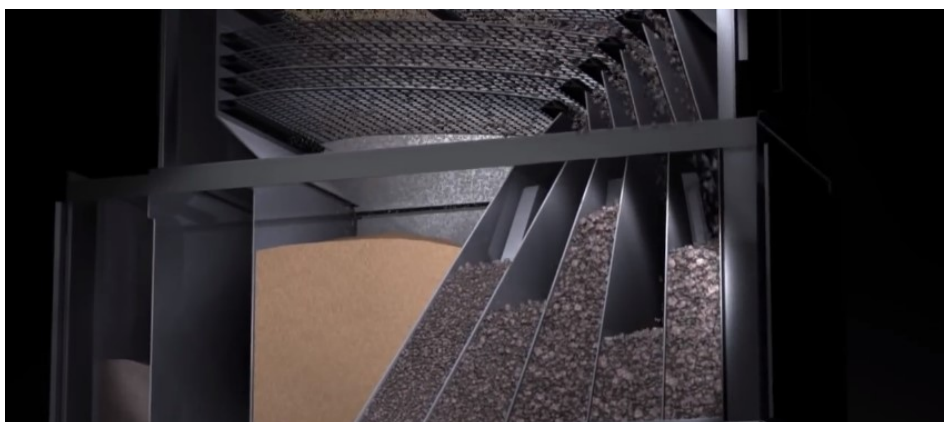
Poté se opět v určitém dávkování smíchá s kamenivem, těsně předtím než dojde k promíchání s asfaltovým pojivem.

3.6.5 Horké třídění

Po vysušení a ohřátí kameniva se dále přesouvá pomocí korečkového výtahu do horkého třídění. Zde se přes síta opět přeseje, již horké kamenivo a umístí se do dávkovačů jednotlivých frakcí.

Zaplnění horkých zásobníků jednotlivých frakcí pod síty a teplota kameniva je automaticky sledována řídicím systémem obalovny.

Při horkém třídění kamenivo není dále teplotně namáháno. V této fázi si udržuje teplotu, na kterou bylo předeštěné v sušícím bubnu.



Obrázek 17 - Detail na horké třídění, v horní části síta [6]

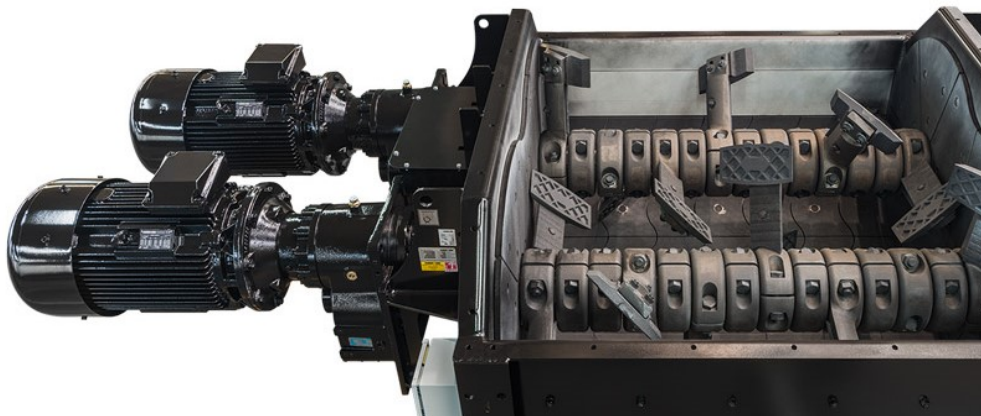
3.6.6 Proces míchání

Kamenivo se ze zásobníků dávkuje postupně ve stanoveném pořadí po jednotlivých frakcích do násypky váhy. Tam zůstává, dokud není míchačka připravena na další záměs. Kamenivo se dávkuje plně otevřeným výstupním otvorem násypky, zbytek se pomalu dovažuje, aby nedošlo k překročení požadovaného množství. Poté dochází k přidávání vratné kamenné moučky. Dávkování asfaltu je váhové. Přesnost dávkování všech složek je zaručena elektronickými systémy.

Míchačka je dvouhřídelová. Každá hřídel je poháněna vlastním motorem. Na hřídelích jsou osazena ramena, ukončená míchacími lopatkami. Stěny míchačky jsou vyloženy plechy z ořezuvzdorného materiálu. Plášť a vypouštěcí uzávěr jsou vyhřívány.

Míchací zařízení je schopno dokončit jeden produkt a rychle a hladce přejít na další. Zařízení přenáší na směs maximum možného pohybu a lopatky zrychlují částice ve směsi a mění systematicky intenzitu a směr působící síly. [6]

Při dávkování kameniva do míchačky a mícháním je kamenivo nejvíce namáháno otlukem. Požadované hodnoty na otluk kameniva jsou v normě specifikovány po vysušení kameniva při teplotě 110 °C. Kamenivo, je ale v sušícím bubnu předeštěné na vyšší teploty, a proto je možné, že při procesu míchání bude materiál méně snášet nárazy o stěny a rotující lopatky. Z tohoto důvodu se v praktické části zabývá zkouškou otlukovosti.



Obrázek 18 - Míchací zařízení na smíchání kameniva a asfaltového pojiva [6]

Dalším obecně sledovaným parametrem je správné přilnutí asfaltového pojiva ke kamenivu. V případě, že by ve směsi bylo obsaženo více drobného materiálu, docházelo by ke špatnému uchycení pojiva na zrna. Stejný případ může nastat i v případě nižší teploty kameniva.

3.6.7 Skladování hotové směsi

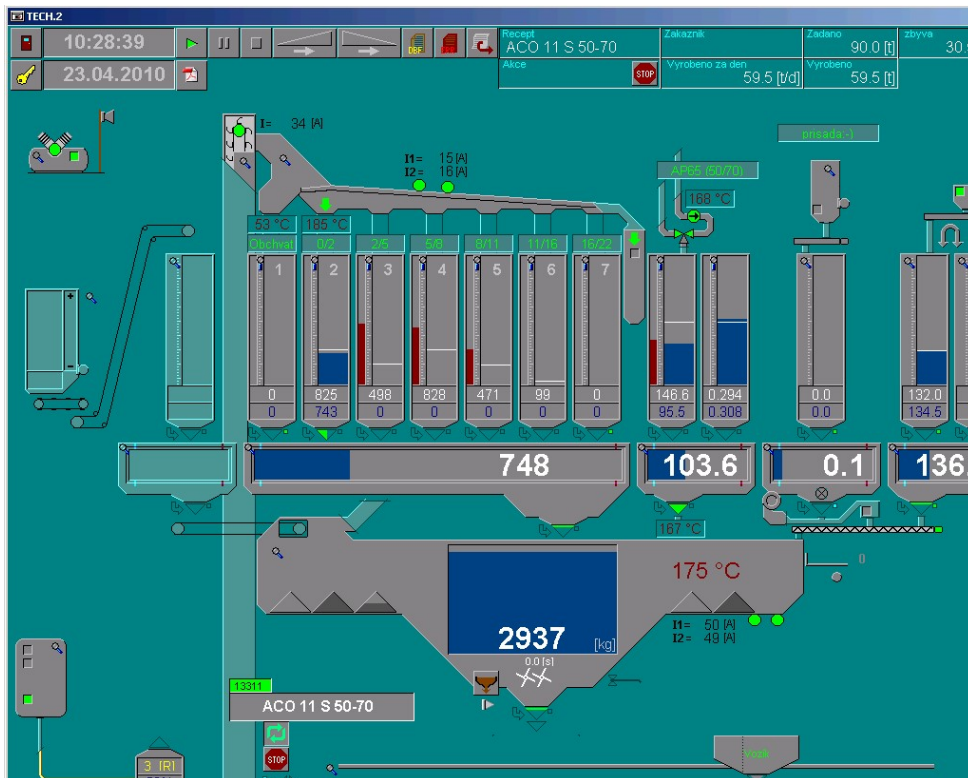
Dle technických kvalitativních podmínek kapitoly 7, nesmí doba skladování překročit 2 hodiny a celková doba od výroby do pokládky nesmí překročit 3,5 hodiny. Tato doba je specifikována z důvodu dodržení požadované teploty pro zhutnění na stavbě.

Expediční sila jsou tepelně izolována a opatřena tak, aby nedocházelo k rozměšování směsi. Sila musí být správně označena. Svoji konstrukcí a vnitřním uspořádáním zabraňují segregaci hotové směsi. Směs se vypouští do vozů, které jsou přistavovány podle pokynů obsluhy. Korby vozů musí být čisté a vystříkané mýdlovou vodou nebo separačním olejem. Nesmí se používat nafta, olej, benzin, petrolej a jiná organická rozpouštědla. Nakonec musí být směs na korbě zakryta plachtou kvůli ochraně před povětrnostními vlivy a ztrátou teploty. Expedovaná asfaltová směs musí projít kontrolou na mostní váze.

3.6.8 Řídicí systém (velín)

Základem řízení obalovny je systém, který koordinuje celý proces výroby. Tato technologie řídí vše počínaje studeným dávkováním, přes sušení a vážení/míchání až po nakládání dávky, servis a podporu.

Existuje hned několik řídicích systémů, jak pro šaržové tak i kontinuální obalovny a kontinuální mobilní výrobny. Nejčastěji se jedná o řídicí systém AS1.



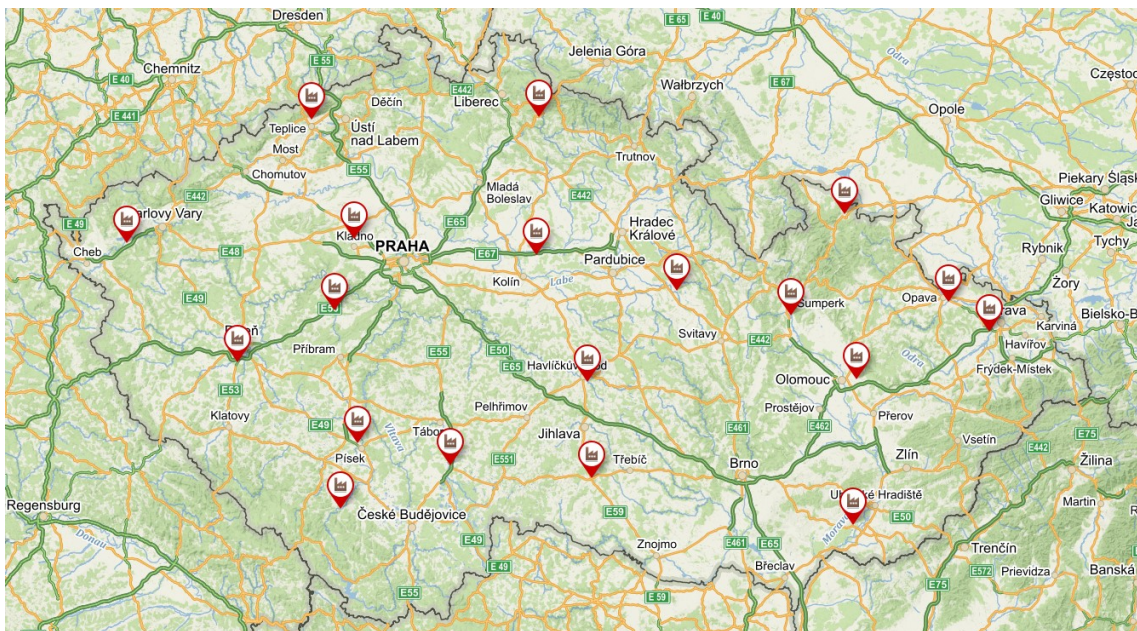
Obrázek 19 - Fotka obrazovky z počítače řídicího systému obalovny, zde konkrétně horkého třídění a míchání [14]

System je stavebnicový a otevřený, od základní varianty pro řízení míchacího procesu až po řízení celé obalovny. Přehledné grafické zobrazení míchacího procesu umožňuje obsluhu jeho pohodlné sledování, včetně zadávání požadovaných množství, editace receptů atd. Kompletní záznam z provozu obalovny se ukládá na pevný disk a slouží jako zdroj dat pro další zpracování.

3.7 Výkon obaloven a zajištění kvality

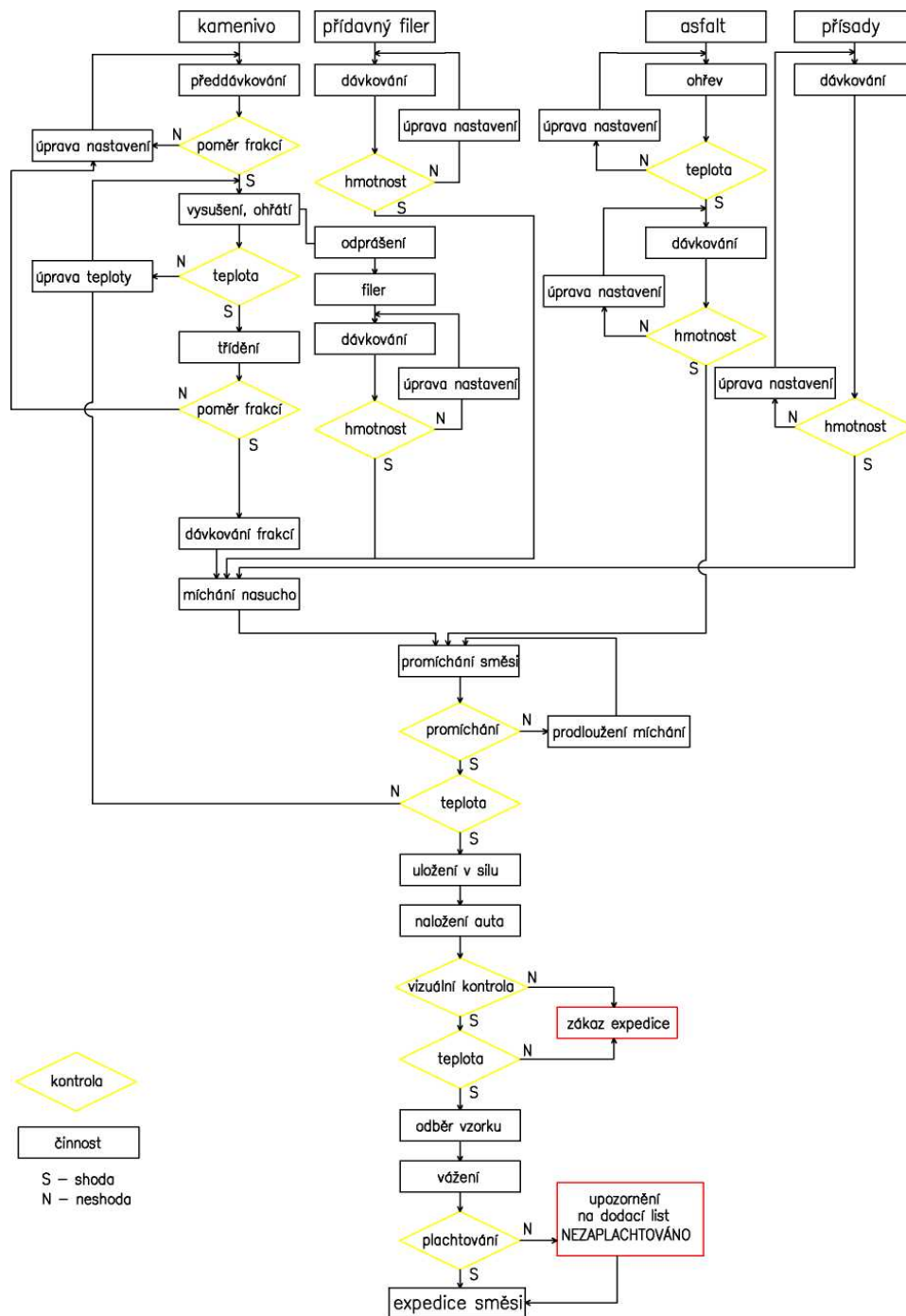
Výrobní kapacita obaloven se pohybuje kolem 160 t/hod., hmotnost jedné záměsi je až 3000 kg. Běžně se ovšem využívá hmotnost záměsi 2000 kg. Minimální výrobní kapacita obaloven je 120 t/hod. Obalovny slouží pro zajištění dodávky asfaltových směsí pro staveniště do vzdálenosti několika km od výroby.

Směsi se smějí vyrábět pouze na základně platných zkoušek typu. Směsi mohou být vyráběny jen z materiálu, který je ověřený při zkouškách typu, a u nichž byla předepsaným způsobem osvědčena jejich jakost. Důležité je během výroby provádět potřebné kontrolní zkoušky. Zkoušky jsou prováděné v externích laboratořích. Při výrobě směsi pro významné akce (například dálnice) jsou zkoušky prováděny přednostně.



Obrázek 20 - Přehledem umístění obaloven asfaltových směsí v ČR, zde konkrétně jen firmy BOHEMIA ASFALT s.r.o. [29]

3.8 Shrnutí postupu výroby asfaltové směsi



Obrázek 21 - Schéma výroby asfaltové směsi [5]

Výše uvedený diagram znázorňuje postup výroby asfaltové směsi, včetně potřebných kontrol a opatření, v případě, že se kontroly neshodují.

3.9 Přidávání R-materiálů

V poslední době dochází k rozšíření trendu používání R-materiálu. Využití těchto zdrojů je vhodné z hlediska životního prostředí, šetření přírodních zdrojů a šetření úspory energií. [13]

R – materiál se skládá z asfaltové směsi, která je znovuzískána frézováním vrstev asfaltových vozovek, drcením vybouraných asfaltových vozovek, velkých kusů z desek a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby.

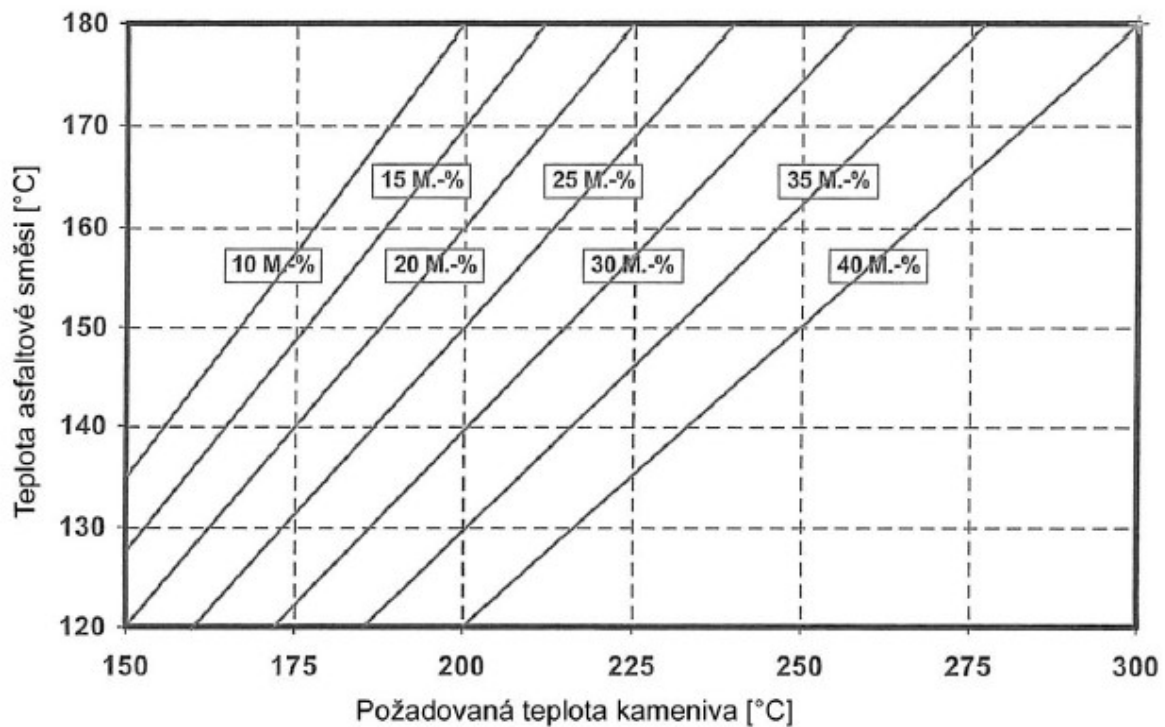
Recyklace může probíhat buď na místě za studena, nebo za horka a stejně tak na obalovně za studena či za horka.

Při dávkování R-materiálu za studena na obalovně se R-materiál nepředehřívá, tedy je nutné předehřát kamenivo na vyšší teplotu, tak, aby výsledná teplota asfaltové směsi byla zachována. Při tomto procesu dochází ke kontaktu ohřátého kameniva a vlhkého R-materiálu. Vodní pára, vzniklá při kontaktu těchto navážek musí být odváděna účinným odvětrávacím zařízením.

Čím větší procento recyklátu obsahuje výsledná směs, tím vyšší musí být teplota nahřívání kameniva. Záleží i na vlhkosti R-materiálu, kterou lze ovlivnit zastřešením skládky. Požadovaná korektura teploty je uvedena v tabulce č. 1 a na grafu č. 1.

Tabulka č. 1 a graf č. 1 uvažují možnost použití až 40 % R-materiálu pomocí studeného dávkování. V rámci ČR se touto cestou běžně přidává 20 %. Při metodě, kdy je materiál skladován v zásobnících a dávkován přes váhu stejně jako kamenivo, výrobce udává, že lze přidat i 25 % R-materiálu. Z důvodu zahřátí R-materiálu vlivem tepla od kameniva, ale může docházet k znečištění od obsaženého asfaltového pojiva v R-materiálu. Při dávkování R-materiálu studenou cestou musíme vzít v potaz tzv. double rating, kdy může dojít k nedokonalému spolupůsobení nového a zestárlého asfaltového pojiva obsaženého v R-

VLIV VÝROBNÍCH TEPLŮ NA OBALOVNĚ NA VLASTNOSTI KAMENIVA



Graf 1 - Znázorňující závislost požadované teploty nahřívání kameniva na obsah R- materiálu ve směsi [28]

Tabulka 1 - Požadovaná korektura teploty v závislosti na množství a vlhkosti R- materiálu [°C]

Podíl R- materiálu v % hm.	Vlhkost R-materiálu [%]					
	1	2	3	4	5	6
	Korektura teploty [°C]					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	-	-	-	-
35	14	28	-	-	-	-
40	16	32	-	-	-	-

4 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části porovnávám 3 vzorky kameniva, které jsem namáhala na teploty 110 °C, 200 °C a 300 °C. Na zkušebních navážkách jsem prováděla dvě zkoušky. Zkoušku odolnosti proti drcení a odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětvávání.

Mým úkolem bylo zjistit, jaký vliv mají určité teploty, se kterými se setkáváme při výrobě asfaltové směsi, na vlastnosti kameniva. Zda dojde k jejich zhoršení, či nikoliv.

4.1 Použité materiály

Pro zkoumání problematiky jsem zvolila 2 petrografické druhy kameniva, které se často používají na obalovnách asfaltových směsí.

4.1.1 Moravská droba - Luleč

Jako první vzorek jsem zvolila moravskou drobu z lokality Luleč. Tento druh horniny spadá pod sedimentární.

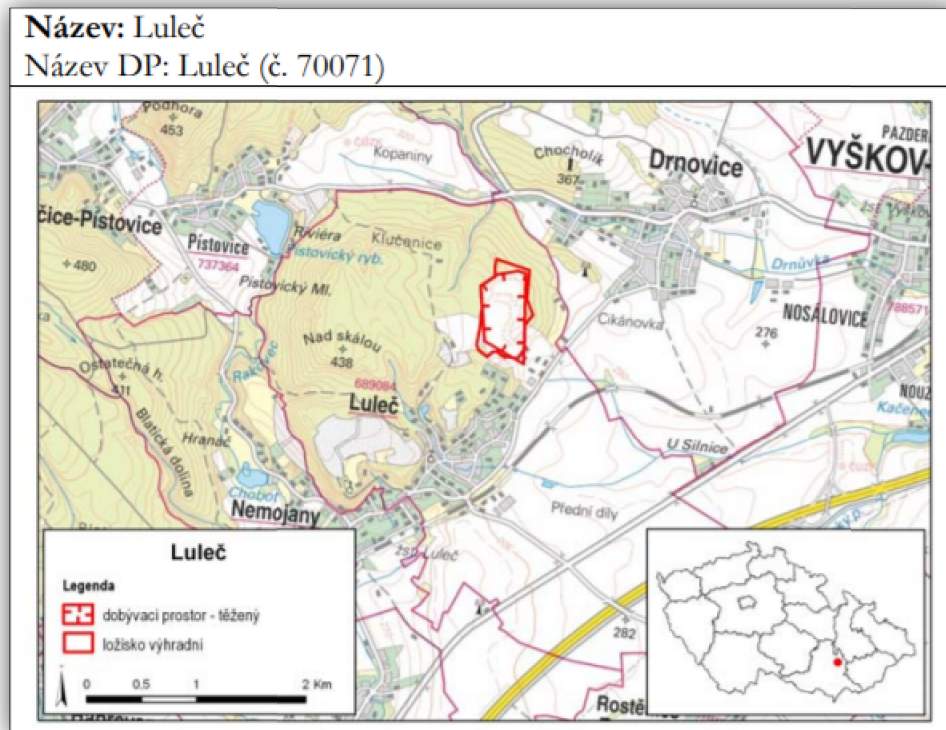
Hornina je stejnoměrně, středně zrnitá. Plochy odlučnosti jsou rovné, jemně drsné, hrany jsou ostré. Struktura horniny je psemitická. [19] Obsahuje kromě zrn minerálů i úlomky hornin – převážně jílovitých kulmských břidlic. Jílová hmota drob je slabě bizonálně metamorfovaná, což způsobuje poměrně vysokou pevnost a houževnatost těchto hornin, které se tak mohou využívat i jako drcené kamenivo.[20] Jedná se o horninu s relativně nízkou pórovitostí a nasákavostí.[21]

Konkrétně tento vzorek použitý ke zkouškám má hnědošedou barvu. Navážka na první pohled obsahuje i živec, který se zde vyznačuje hnědým zabarvením.



Obrázek 22 - Moravská droba Luleč před zatížením teplotou (vlevo) a po zatížení teplotou 300 °C (vpravo), vlastní foto

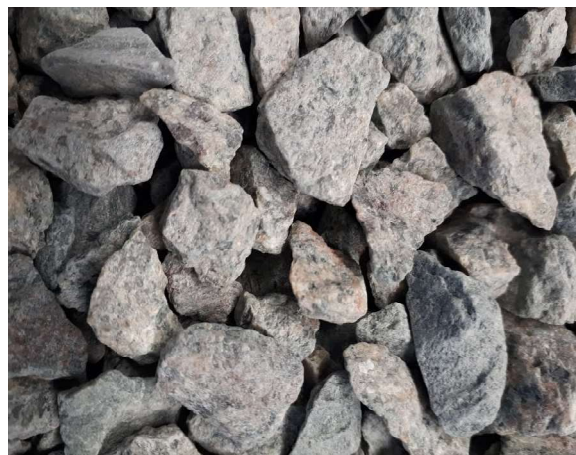
Hlavním zdrojem drceného kameniva na Moravě a ve Slezsku jsou kulmské droby Nížkého Jeseníku a Dražanské vrchoviny. Těžební lokalita tohoto vzorku se nachází v Jihomoravském kraji v oblasti Luleč.



Obrázek 23 - Mapa se zvýrazněním lomu Luleč [22]

4.1.2 Žula – Lhota Rapotína

Jako další vzorek jsem vybrala žulu neboli granit. Hornina spadá pod magmatické. Z velké části tvoří pevné části zemské kůry. Její tvrdost je mezi 6 a 7 stupněm v Mohsově stupnici tvrdosti.[23] Skládá se z několika minerálních látek, křemene a živce, kdy právě živce rozhoduje o zbarvení žuly. Nejčastěji však bývá žulový kámen šedý s modrým odstínem.



Obrázek 24 - Detail žuly, vlastní foto

Dle definice, je žula tzv. „věčný kámen“. Je vysoce rezistentní vůči teplotě, špíně a téměř nevstřebává vodu. Je pevný a trvanlivý. Z těchto důvodů je velice rozšířený v oboru stavebnictví. Jedinou nevýhodou je jeho velká váha.

Vzorek pochází z oblasti Lhoty Rapotína. Kamenivo má šedomodrou barvu s mírným nádechem do růžova.

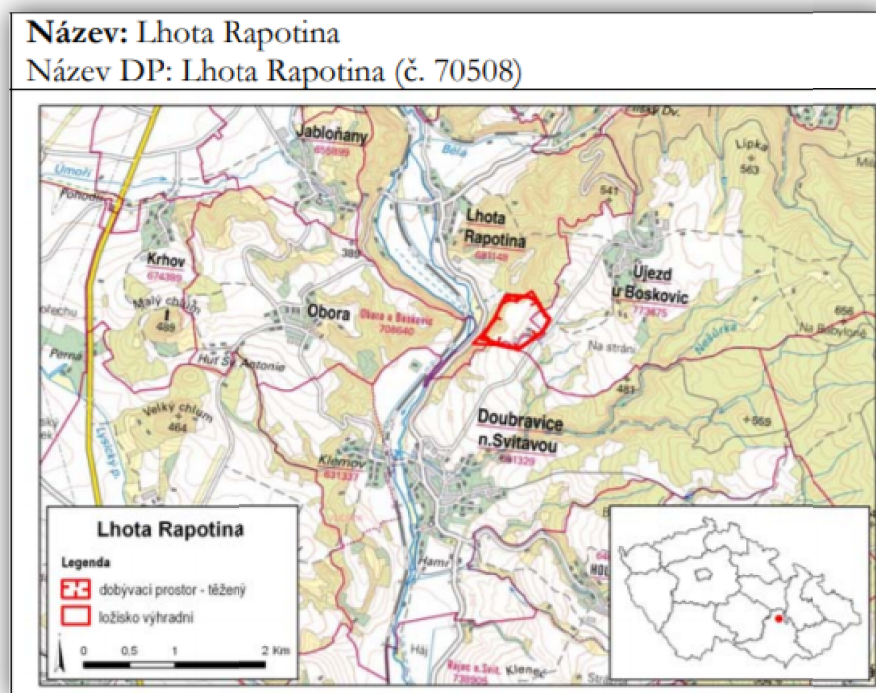
Mezi další ložiska žuly patří například Bílý Kámen, Olbramovice, Ořechov u Křižanova, Rácov, a další.

Vzhledem k vlastnostem žuly, jsem očekávala, že výsledky po zatěžování teplotou budou na tomto vzorku kameniva nejpříznivější.

4.1.3 Moravská droba – Bohučovice

Vlastnosti moravské droby jsou popsány v kapitole 3.1.1. Tento vzorek se liší pouze lokalitou těžby a zbarvením. Má typický odstín droby, což je šedomodrá barva.

Mým předpokladem před prováděním zkoušek, bylo, že se bude tento vzorek chovat po zatěžování teplotou podobně, jako moravská droba z Lulče.



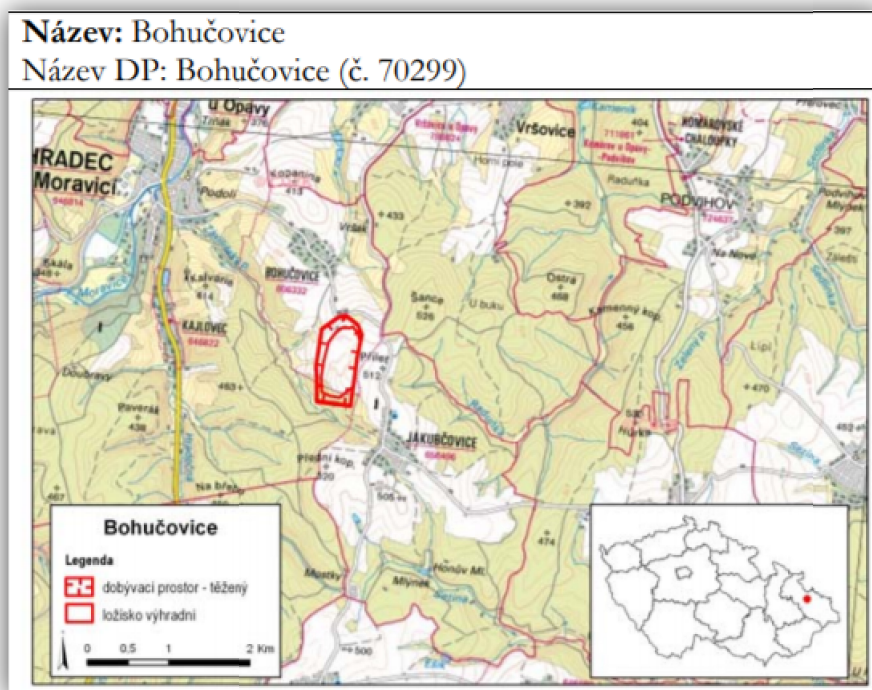
Obrázek 25 - Mapa se zvýrazněním lomu Lhota Rapotína [22]

VLIV VÝROBNÍCH TEPLŮ NA OBALOVNĚ NA VLASTNOSTI KAMENIVA



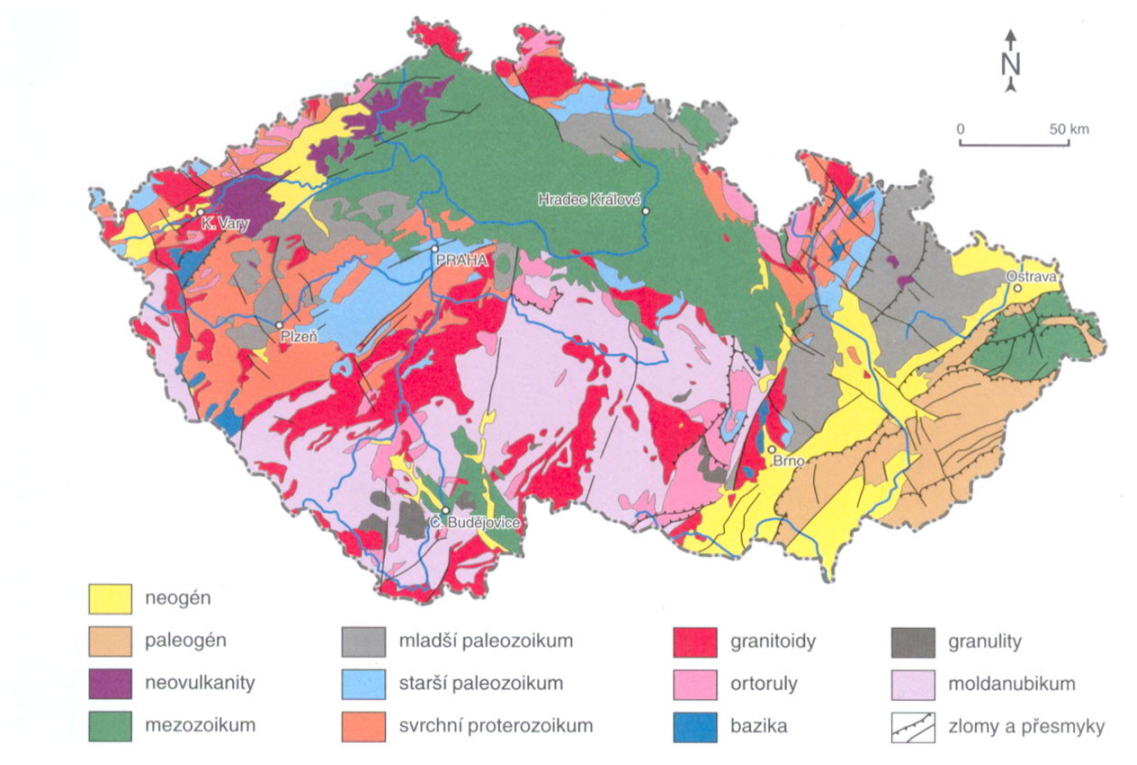
Obrázek 26 - Detail moravské droby z Bohučovic, vlastní foto

Oblast těžby se nachází u Bohučovic, v Moravskoslezském kraji. Mezi další oblasti výskytu droby patří například Jívová – Bělkovice, Bělkovice – Jívová, Jakubčovice nad Odrou, Kobeřice – Brodek, Opatovice, Podhůra – Lipník nad Bečvou, apod.



Obrázek 27 - Mapa se zvýrazněním lomu Bohučovice [22]

Jak je vidět na příkladech lokalit těžby, moravská droba má v ČR více ložisek než žula. Proto jsem v praktické části zkoušela hned dva zástupce tohoto petrografického druhu. Výsledky zkoušek, tedy vlastnosti kameniva po zatěžování teplotou, mohou být ovlivněny i lokalitou těžby z hlediska geologického uspořádání ČR.



Obrázek 28 - Zjednodušená geologická mapa ČR [24]

4.2 Použité zkušební metody

4.2.1 Příprava vzorků

Nedílnou součástí před provedením zkoušek je příprava jednotlivých vzorků. V případě zkoušek prováděných na navážkách kameniva je důležité rozsítování na jednotlivé frakce, které daná zkouška požaduje. Následné propláchnutí, vysušení a zatěžování požadovanou teplotou.

Od každého vzorku kameniva bylo potřeba získat pro zkoušku stanovení odolnosti kameniva proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1 12 kg a pro stanovení odolnosti proti drcení (Los Angeles) dle ČSN EN 1097 - 2 15 kg.

4.2.1.1 Rozsítování vzorků

Rozsítování vzorků na požadované frakce dle norem je velice důležitý. Je potřeba, pro určité typy zkoušek, dosáhnout požadovaného hmotnostního podílu jednotlivých frakcí v navážce. Většinou se jedná o úzké frakce, tzn. poměr ok síť je maximálně 1:2 (např. 8/16).

Všeobecně, u sítování vzorků záleží na hmotnostním zůstatku na sítu určité velikosti ok a výsledném procentuálním propadu. Po dokončení určitých zkoušek pak záleží na zůstatku na sítu velikosti ok, které požaduje norma.

Rozsítování vzorku na požadované frakce jsem prováděla v laboratoři TPA ČR s.r.o. Používala jsem nakalibrovaná síta průměru 200 mm a průměru 400 mm. Síta požadované velikosti ok jsem rozmístila mezi síta ostatních velikostí ok, tak aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího roztřídění. Prosévání na jednotlivé frakce jsem prováděla ve vibrační třídícíce. Přístroj se většinou nachází v odhlučněném prostoru. Jelikož se jednalo o kamenivo větší velikosti zrn (8 mm a více), nebyla potřeba, z časového hlediska, delšího sítování. Doba jednoho procesu byla 10 minut. Následně jsem odebrala požadovanou frakce kameniva. Celkem jsem prosela 6 pytlů po 26 kg.



Obrázek 30 - Detail na popisování jednotlivých navážek po rozsítování kameniva, vlastní foto



Obrázek 29 - Pohled na vibrační třídící v odhlučněném uzavíratelném prostoru, vlastní foto

4.2.1.2 Praní kameniva

Dalším krokem pro zajištění správnosti výsledků, je promytí jednotlivých navážek. Důvodem je zbavení se jemných částic, které ulpívají na povrchu zrn. Tyto jemné částice mohou zapříčinit horší přilnavost asfaltového pojiva ke kamenivu, jak jsem se již zmiňovala výše, což ale pro zvolené zkoušky není zásadní.



Obrázek 31 - Pohled na proces promývání, vlastní foto

K praní kameniva v laboratořích jsem použila síta menšího průměru (400 mm) a to síta velikosti ok 2 mm a pod něj umístěné síto velikosti 0,063 mm. Odvod vody byl zajištěn plechovou mísou s výstupem (viz obrázek 30). Praní kameniva probíhalo, dokud nebylo dosaženo odtékání čiré vody.

4.2.1.3 Sušení a teplotní zatěžování kameniva

Po zbavení navážky jemných částic jsem kamenivo vysušila. Teplota vysoušení kameniva je 110 °C. Probíhá v sušárně až do ustálení hmotnosti.

Teplotní zatěžování jsem provedla na vypraném a vysušeném kamenivu. Nejdříve jsem kamenivo nahřála na ustálenou teplotu kameniva 110 °C, což nastalo po 60 minutách. Po nahřátí kameniva na 200 °C jsem čas prodloužila o dalších 60 minut, kdy jsem pomocí teplotního čidla umístěného v kamenivu sledovala nárůst teploty. Po 50 minutách kamenivo dosáhlo teplotu 200 °C, tedy jsem tuto teplotu nechala působit ještě dalších 10 minut. V případě nahřátí kameniva na 300 °C jsem postupovala stejně jako v předešlém kroku, ale pro teplotu na 300 °C trvalo déle ustálení teploty, z tohoto důvodu jsem čas expozice prodloužila na 110 minut. Shrnutí teplotního zatěžování je uvedeno v tabulce níže.

Tabulka 2 - Tabulka s přehledem doby teplotního zatěžování kameniva

	Teplota zatěžování		
	110°C	200°C	300°C
Doba zatěžování	60 min	60 min na 110 °C + 60 min na 200 °C	60 min na 110°C + 60 min na 200 °C + 110 min na 300°C

pozn.: v dobách zatěžování jsou započítané i temperace sušičky vlivem otevření, teplotní zatěžování probíhá již na vysušeném kamenivu

Teploty byly zvoleny z hlediska výrobního procesu asfaltové směsi. Především ve fázi, kdy je kamenivo vysušeno a nahříváno v sušícím bubnu.

4.2.2 Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2

Zkoušku jsem provedla v silniční laboratoři Ústavu pozemních komunikací na Fakultě stavební VUT v Brně. Ke zkoušce jsem použila dutý buben, který je zhotovený z plátů z konstrukční oceli odpovídající třídě S275. Buben musí mít vnitřní průměr (711 ± 5) mm a vnitřní délku (508 ± 5) mm.

Náplní bubnu jsou kromě navážky i ocelové koule, celkem 11, kde každá má váhu mezi 400 – 445 g a průměr 48 mm.



Obrázek 32 - Pohled na dutý buben a detail olověných koulí, vlastní foto

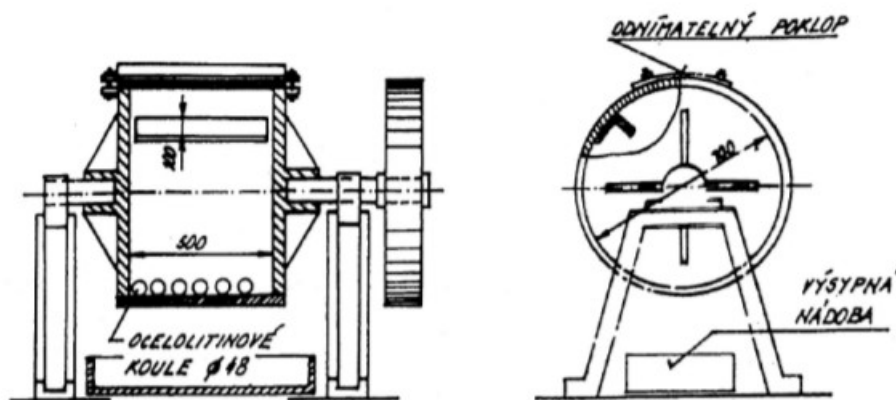
Pro zkoušku LA je dle normy potřeba 3 vzorků, které se následně zprůměrují. Vzhledem k časové náročnosti jsem použila pouze jeden vzorek pro každý druh kameniva a určitou zatěžovací teplotu. Tedy 15 kg jednoho druhu kameniva, kde na jednu zatěžovací teplotu spadá dle normy (5000 ± 5) g navážky. Na zkoušku je požadovaná velikost zrn od 10 mm do 14 mm.

4.2.2.1 Postup zkoušky

Kamenivo jsem prosela použitím zkušebních sít 8 mm, 10 mm, 11,2 mm, 14 mm a 16 mm k získání samostatných podílů v rozsahu 10 mm až 11,2 a 11,2 až 14 mm. každý podíl jsem samostatně promyla a vysušila do ustálené hmotnosti.

Následně jsem navážila vzorek, který měl podíl 70 % zrn zachycených na sítu 11,2 mm a 30 % zachycených zrn na sítu 10 mm. Celkem to činilo 3,5 kg zůstatku na sítu 11,2 mm a 1,5 kg zůstatku na sítu 10 mm. Poté jsem kamenivo teplotně zatěžovala (viz kapitola 3.2.1.3.).

Po dokončení přípravy vzorku, se mohlo přejít ke zkoušce samotné. Nejprve jsem zkontrolovala, zda je buben čistý a jestli neobsahuje jemné částice. Poté jsem do něj opatrně vložila 11 ocelových koulí. Nakonec jsem do bubnu vložila zkušební navážku. Buben jsem uzavřela víkem a pečlivě upevnila, nakonec jsem spustila mechanismus, který bubnem 500x otočil. Doba jedné zkoušky trvala přibližně 15 minut.



Obrázek 33 - Podélný a příčný řez dutým bubnem s olověnými koulemi [30]

Po dokončení zkoušky jsme navážku opatrně vyjmula ven, aby nedošlo ke zbytečné ztrátě materiálu. Výsledný vzorek jsem prosela přes sítu 1,6 mm a zůstatek na něm promyla od jemných částic a opět vysušila (110°C) do ustálené hmotnosti.

Vysušené kamenivo jsem po vychladnutí zvážila a hmotnost zaznamenala. Zkoušku jsem prováděla celkem 9x, jelikož se jedná o tři vzorky kameniva a tři různé zatěžovací teploty.

4.2.2.2 Cíl zkoušky

Cílem této zkoušky bylo zjistit součinitel LA, který vyjadřuje právě míru podrcení kameniva při zkoušce stanovení odolnosti proti drčení. Jedná se o procentuální vyjádření hmotnosti navážky, která propadne sítím 1,6 mm. Tedy čím menší hodnota součinitele LA, tím je kamenivo méně náchylné na otluk. V normách jsou uvedeny různé mezní hodnoty součinitele LA dle požadavku na asfaltovou směs. Například pro asfaltovou směs typu ACO, je mezní hodnota LA25 dle ČSN EN 13108 - 1, kdy v tomto případě by hodnota neměla klesnout pod 25%, aby dané kamenivo bylo vhodné pro použití do dané směsi.

$$LA = \frac{5000 - m}{50} [\%][25]$$

LA – součinitel Los Angeles

m – hmotnost zachycená na síti 1,6 mm, v g.

Výsledek se zaokrouhluje na nejbližší celé číslo. [25]

4.2.3 Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1

Zkušební metoda sestává z nasáknutí při atmosférickém tlaku a uložení ve vodě za účelem nasycení vodou a vystavení účinku mrazu pod vodou.[26]

Zkoušku jsem prováděla v laboratoři TPA ČR s.r.o. v Olomouci. Pro zkoušku jsem používala mrazicí box s cirkulací vzduchu za automatického cyklování. Pro dílčí navážky jsem použila kovové nádoby o tloušťce stěn 0,6 mm a obsahu 2000 ml s vnitřním průměrem do 140 mm a výšky do 170 mm.



Obrázek 34 - Pohled na vnitřek mrazicího boxu s ocelovými nádobami, vlastní foto

Na obrázku č. 34 jsou viditelná čidla, která kontrolují teplotu v mrazicím boxu. Jedno čidlo, uprostřed boxu, je umístěno přímo do nádoby se vzorkem, tzv. referenční měřící bod, který má sledovat teplotní křivku v tolerančních mezích.



Obrázek 35 - Detailní pohled na vnitřek nádob s viditelnou hladinou 1 cm nad navážkou, vlastní foto

Dle normy je pro zkoušku potřeba tří dílčích navážek. V případě zkoušky v rámci mé práce, jsem použila dvě dílčí navážky o hmotnosti 4000 ± 5 g pro každý vzorek kameniva a každou teplotu. Celkem tedy 12 kg pro každé kamenivo. Zvolila jsem dvě navážky pro každou teplotu z důvodu maximálního možného měření 12 těles najednou. Díky jednoho celkového měření mohu zaručit stejné podmínky zatížení zmrazovacími a rozmrazovacími cykly všech vzorků kameniva, což je důležité v případě ověření vlivu tepelného zatížení. A výsledné hodnoty dílčích vzorků jsem po jejich hodnocení zprůměrovala.

4.2.3.1 Postup zkoušky

V první řadě jsem prosela kamenivo pomocí vibrační třídičky, do které jsem umístila síta od velikosti ok 5 mm až po síta velikosti ok 20 mm. Nejdůležitější síta pro tuto zkoušku jsou síta s velikostí ok 8 mm a 16 mm. Pro vzorek na zkoušku jsem brala kamenivo, které propadlo sítem 16 mm a zůstalo zachyceno na sítu 8 mm. Poté jsem opět vzorky promyla, vysušila do ustálení hmotnosti a zatěžovala na určené teploty.

Po vychladnutí jsem dílčí navážky rozdělila na dvě po 2000 ± 5 g a umístila do kovových nádob a jeden den nechala v destilované vodě při (20 ± 5) °C, přičemž hladina vody byla 10 mm nad povrchem dílčí navážky.

Nádoby se přikryly poklicemi, rozmístily se do mrazicího boxu, při dodržení vzdálenosti 50 mm od stěn a nádob navzájem. Navážky v boxu byly vystaveny 10 zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům. Jeden cyklus představoval snížení teplot až na $-17,5$ °C pod vodou a následné rozmrazování ve vodní lázni okolo teploty 20 °C.

Po dokončení cyklů jsem navážku vložila na síto velikosti otvorů poloviny velikosti spodního síta frakce. V mém případě, kdy jsem používala navážky frakce 8/16 se použilo síto s velikostí ok 4 mm. Na tomto síti jsem navážku promyla, prosela a následně vysušila (110 °C) až do ustálení hmotnosti.

4.2.3.2 Cíl zkoušky

Cílem zkoušky je zjistit procentní úbytek hmotnosti navážky. Jedná se vlastně o procentuální vyjádření hmotnosti té části navážky, která propadla přes síto velikosti ok 4 mm. Tedy opět čím menší hodnota, tím je kamenivo méně náchylné na zmrazování a rozmrazování.

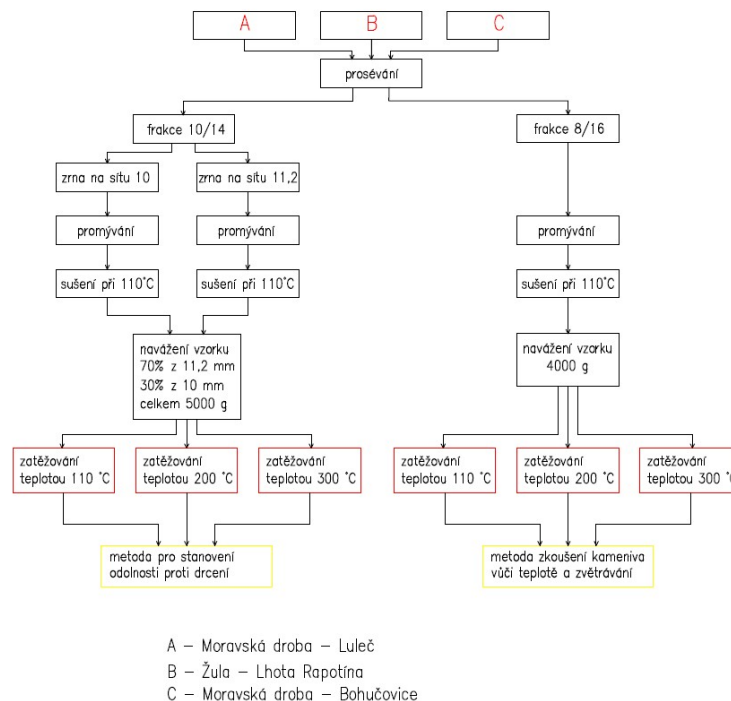
$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 [\%] \quad [26]$$

M1 – počáteční vysušená celková hmotnost dílčí navážky v g.

M2 – konečná vysušená celková hmotnost navážky, která zůstala na specifikovaném síti, v g.

F – procentní úbytek hmotnosti dílčí navážky při střídavém zmrazování a rozmrazování. [26]

4.2.4 Shrnutí přípravy kameniva před zkouškami



Obrázek 36 - Schéma přípravy kameniva před zkouškami, vlastní schéma vytvořené v programu AutoCAD 2016

Schéma znázorňuje stručný popis přípravy kameniva před zahájením zkoušek.

4.3 Výsledky a vyhodnocení provedených zkoušek

V následující kapitole jsou uvedené výsledky všech zkoušek, které jsem prováděla v rámci mé bakalářské práce. Postup zkoušek je popsán v kapitole 3.2.

4.3.1 Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2

Zkouška byla prováděna v laboratořích Fakulty stavební, VUT Brno. Použité materiály jsou uvedeny v kapitole 3.1.

Tabulka 3 - Hmotnosti jednotlivých vzorků před a po zkoušce

Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2

	110 °C	200 °C	300 °C
LULEČ - Moravská droba			
	A1	A2	A3
Před	5028,3	5037,8	5092,8
Po	4096,0	4141,3	4196,9
LHOTA RAPOTÍNA - žula			
	B1	B2	B3
Před	5043,7	5023,7	4997,7
Po	4292,2	4297,1	4243,6
BOHUČOVICE - Moravská droba			
	C1	C2	C3
Před	5052,2	5031,8	5041,5
Po	4269,9	4275,7	4349,8

Tabulka 4 - Tabulka hodnot LA

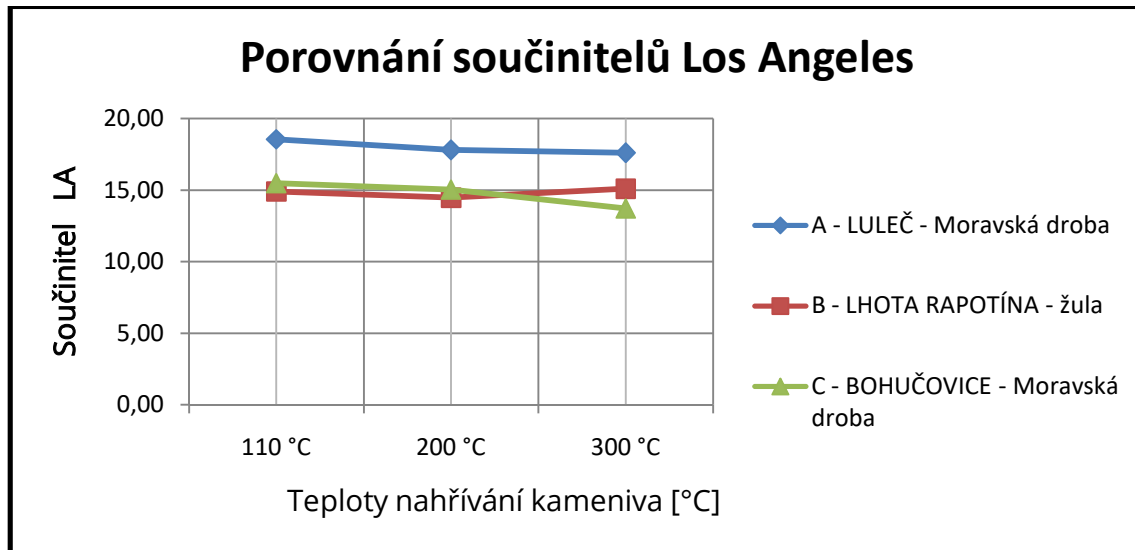
Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2

A1	A2	A3
18,54	17,80	17,59
B1	B2	B3
14,90	14,46	15,09
C1	C2	C3
15,48	15,03	13,72

Tabulka 5 - Zaokrouhlené hodnoty LA

Metoda pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2

A1	A2	A3
19	18	18
B1	B2	B3
15	14	15
C1	C2	C3
15	15	14



Graf 2 - Porovnání výsledků zkoušky pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2

Jednotlivé vzorky jsem navázila na větší hmotnost, než je požadováno v normě. Hlavním důvodem byla obava ztráty materiálu při převážení vzorků z jedné laboratoře do druhé. Tato nepřesnost byla zvážena při výpočtu součinitele LA. Do vzorce pro výpočet hodnoty jsem dosazovala místo hodnoty 5000, která má představovat hmotnost původní navážky, reálnou naváženou hodnotu před provedením zkoušky. Ve jmenovateli jsem počítala se stejnou hodnotou podělenou 100. Zkoušku jsem zredukovala ze tří vzorků na jeden z důvodu časové tísně, ale reprodukovatelnost jednotlivých výsledků ze zkoušky na odolnost proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2 je stále v mezích odchylky.

Z grafu je čitelné, že výsledky získané na vzorcích jsou podobné a je viditelné menší zlepšení při zvyšování teploty nahřívání. K tomuto jevu mohlo dojít kvůli nedostatečnému počtu zkoumaných vzorků, které předepisuje norma. Důvodem byla zdlouhavá příprava vzorků.

Ve výsledku, i se vzniklými chybami, můžeme ale říci, že zaokrouhlené hodnoty součinitele LA jsou u konkrétního vzorku za různých zatěžovacích teplot podobné.

Co se týče petrografického hlediska, je na tom žula s výsledky nejlépe, hned za ní se řadí se skoro stejnými hodnotami součinitele moravská droba z Bohučovic. Nejhorší výsledky vyšly v případě moravské droby z oblasti Luleč. Je dost možné, že horší výsledky zapříčinil větší obsah živce v hornině.

Avšak hlavním důvodem, proč se tato zkouška provádí, je zjistit zda výsledná hodnota spadá pod mez požadovanou normou. Podrobnosti jsou uvedené v kapitole 3.2.2.2. Za mezní hodnotu pro směs ACO je považována hodnota LA 25 dle ČSN EN 13108 - 1 pro uvedený příklad. Z grafu můžeme vyčíst, že všechny vzorky spadají pod tuto mez. Zkouška tedy prokázala, že výrobní teploty (pro zkoušení kameniva), které působí na kamenivo při výrobě asfaltové směsi, nemají nijak zásadní vliv na jeho vlastnosti z hlediska odolnosti proti drcení.

4.3.2 Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1

Zkouška byla prováděna v laboratoři TPA ČR v Olomouci. Použité materiály jsou uvedeny v kapitole 3.1.

Tabulka 6 – Výsledky zkoušky odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1

	110 °C		200 °C		300 °C	
LULEČ - Moravská droba						
	A1		A2		A3	
Před	2001,6	2001,3	2001,7	2001,5	2002,6	2001,7
Po	1986,5	1986,8	1983,5	1986,5	1990,7	1992,9
LHOTA RAPOTINA - žula						
	B1		B2		B3	
Před	2001,1	2000,6	2000,5	2001,7	2001,4	2002,3
Po	1996,7	1993	1995,6	1996,9	1998	1996,5
BOHUČOVICE - Moravská droba						
	C1		C2		C3	
Před	2002,4	2000,1	2000	2000,5	2002,4	2002,4
Po	1985,1	1984,6	1990,5	1981,9	1994	1991,2

Tabulka 7 – Výsledky zkoušky odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1

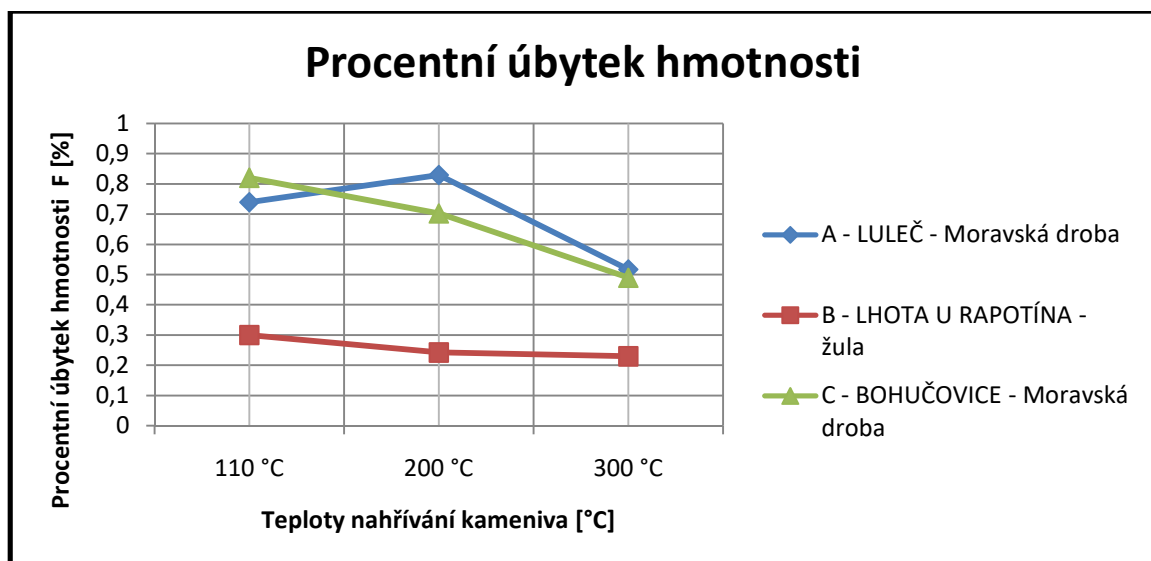
Průměry hodnot z tabulky č. 6

	110 °C	200 °C	300 °C
LULEČ - Moravská droba			
	A1	A2	A3
Před	2001,45	2001,6	2002,15
Po	1986,65	1985	1991,8
LHOTA RAPOTINA - žula			
	B1	B2	B3
Před	2000,85	2001,1	2001,85
Po	1994,85	1996,25	1997,25
BOHUČOVICE - Moravská droba			
	C1	C2	C3
Před	2001,25	2000,25	2002,4
Po	1984,85	1986,2	1992,6

Tabulka 8 – Výsledky zkoušky dolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1

STANOVENÍ PROCENTNÍHO ÚBYTKU HMOTNOSTI F [%]

	110 °C	200 °C	300 °C
	A1	A2	A3
FA	0,74	0,83	0,52
	B1	B2	B3
FB	0,30	0,24	0,23
	C1	C2	C3
FC	0,82	0,70	0,49



Graf 3 - Porovnání výsledků stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1

Jak je v grafu vidět, tak výsledky jsou překvapivé. Procentní úbytek hmotnosti je menší, čím vyšší je teplota působící na vzorky kameniva.

To lze vysvětlit pravděpodobným uvážením struktury kameniva vlivem působení teploty. To může vést ke zmenšení pórovitosti kameniva a tudíž ke snížení nasákavosti, což je při tomto druhu zkoušky stěžejní. Tím, že ke zlepšení došlo u všech třech zvolených vzorků kameniva, nelze předpokládat, že došlo k chybě v průběhu měření. Otázkou může být, zda simulace nahřívání kameniva v laboratoři odpovídá, nebo se alespoň přibližuje reálnému nahřátí v sušícím bubnu.

V tomto případě dosahuje nejlepších výsledků zástupce žuly, ale u všech vzorků se jedná o maximálně procentní hmotnostní úbytek, tedy všechny vzorky splňují požadavky na tento součinitel do všech asfaltových směsí.

Na závěr vyhodnocení obou provedených zkoušek stojí za zmínku i změna zbarvení moravské droby z Lulče, po zatížení teplotou 300 °C (viz obrázek č. 21). Droba obsahuje i živce, který se v tomto případě vyznačuje hnědým zbarvením. Domnívám se, že právě tato složka droby při nahřátí kameniva na 300°C změnila barvu na odstín červené. Co se týká moravské droby z Bohučovic, k žádné změně zbarvení nedošlo, nejspíše z důvodu menšího obsahu živce. Žula zůstala po zatěžování teplotou stejného zbarvení.

5 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo porovnání změn vlastností kameniva po zatížení na teploty 110 °C, 200 °C a 300 °C a následné provedení zkoušky odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2 a odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1.

Teoretická část práce byla zaměřena na postup výroby kameniva a popis výroby asphaltové směsi v šaržové obalovně. Dále jsem uvedla parametry sušícího bubnu a různé druhy hořáků. Větší pozornost jsem věnovala fázi výroby, kdy je kamenivo vystaveno různě vysokým teplotám a mechanicky namáháno.

V praktické části jsem detailně popisovala jednotlivé druhy hornin použitých pro zkoušky. Následně jsem vysvětlila postup přípravy, který je nezbytný před prováděním daných zkoušek. Následně jsem provedla zkoušky odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2 a zkoušky odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1.

Výsledky zkoušek byly zpracovány pomocí tabulek a grafů a následně posouzeny.

Co se týče metody pro stanovení odolnosti proti drcení (Los Angeles), tak předpoklad byl, že teplotní zatížení bude mít negativní dopad na tuto charakteristiku kameniva. Z výsledků vyplývá, že tomu tak není. Výsledné hodnoty jsou stejné pro jednotlivé druhy kameniva, respektive hodnoty se pohybují v rámci reprodukovatelnosti zkoušky. V tomto případě lepších výsledků dosahují žula z Lhoty Rapotína a moravská droba z Bohučovic. Moravská droba z Lulče dosahuje nejhorších výsledků, ale i tak plně splňuje požadavek normy LA25 dle ČSN EN 1097 - 2.

V případě stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování došlo ve všech případech k mírnému zlepšení. To si lze vysvětlit možným „spečením“ struktury kameniva a tím jeho uzavřením, tedy menší náchylností k nasáknutí vody. Dle předpokladu, bylo nejméně náchylné kamenivo žula. Moravské droby vyšly obdobně a splnily by požadavek dle norem ČSN EN 1367 -1.

Na základě provedených měření na vybraných druzích kameniva lze konstatovat, že teploty, které působí na kamenivo v určitých fázích výroby, nemají podle mých zjištění radikální dopad na změnu vlastností kameniva používaného k výrobě asphaltové směsi. Otázkou je, zda laboratorní nahřívání lze považovat za dostatečně simulující reálné nahřívání kameniva v sušícím bubnu.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZAJÍČEK, Jan a kolektiv: Technologie stavby vozovek, Praha 2014, ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] HÝZL, Petr : Praktické aplikace v pozemních komunikacích, Modul 6 – Asfaltové směsi, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Brno 2006.
- [3] BM001, Téma 2 : Kamenivo, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, Brno.
- [4] WIRTGEN GROUP, Výroba asfaltu: Tajemství je v míchání, dostupné na stránkách www.wirtgen-group.com
- [5] Firemní dokument – firma nechce být zmiňována (dotázat se)
- [6] Ammann group, Technologie obaloven, dostupné na stránkách www.ammann-group.com
- [7] BAEST Machines & Structures, a.s., Sušící bubny, dostupné na stránkách www.baest.cz
- [8] Bohemia-machines s.r.o., Bubnová suška „BOŠKA“, dostupné na stránkách www.bohemia-machine.cz
- [9] Jurko Jozef, Madžo Ladislav, Lauff Čaba, Databáza patentov Slovenska, Sušící buben, číslo patentu: 250819, 14. 5. 1987, dostupné na stránkách www.skpatents.com/4-250819-susici-buben.html
- [10] BENNINGHOVEN GmbH & Co. KG, EVO JET Burner, dostupné na stránkách www.benninghoven.com
- [11] BENNINGHOVEN GmbH & Co. KG, leták – Feuerungstechnik combustion technology.
- [12] Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 7 – Hutněné asfaltové vrstvy, kapitola 7.3.6 Skladování a doprava směsi, Praha duben 2008.
- [13] ČSN EN 13108-8, Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál.
- [14] ASKOM a.s. – výrobce a dodavatel asfaltových směsí, Řídící systémy, dostupné na stránkách www.askom.cz

- [15] SUBIA, Luis Carlos Acuna, Vlastnosti asfaltových směsí typu SMA s R-materiálem, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2018.
- [16] Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 7 – Hutněné asfaltové vrstvy, kapitola 7.3.5 Výroba asfaltové směsi, Praha duben 2008.
- [17] ZONEDING Mining & Construction, www.zoneding.com
- [18] HEIDELBERGER CEMENT Group, Českomoravský štěrk, Těžené kamenivo, dostupné na stránkách www.heidelbergcement.cz
- [19] EUROVIA Kamenolomy, a.s., Jakubčovice – lomový kámen, dostupné na stránkách www.euroviakamenolomy.cz
- [20] Horniny sedimentární, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav geotechniky, Brno, dostupné na stránkách <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/SEDIMENT.htm>
- [21] HANDZELOVÁ, Barbora, MARTINEC, Petr, SČUČKA, Jiří, VIČAROVÁ, Helena, Vliv tepelného namáhání na interakci moravské droby s vodou, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, číslo 1, rok 2013, ročník XIII, řada stavební, článek č. 5
- [22] GODANY, Josef, RAMBOUSEK, Petr a spol., Pasportizace lomů přírodního kameniva ČR, Název a číslo zakázky: 01KV-000253 / ČGS 523073, Česká geologická služba. Praha, září 2014
- [23] ABAKRON s.r.o., Žula – užitečné informace, dostupné na stránkách www.lomprosenice.cz
- [24] Stavební a dekorační kámen, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, dostupné na stránkách www.geologie.vsb.cz
- [25] ČSN EN 1097 – 2, Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení
- [26] ČSN EN 1367 – 1, Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování
- [27] HAVEL, Jaromír, Presentace – Stroje pro výstavbu komunikací, dostupné na <http://slideplayer.cz/slide/1907809/#>

- [28] ZÍTKA, Petr, Problematika použití R-materiálu do asfaltových směsí, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2015.
- [29] BOHEMIA Asphalt s.r.o., mapy.cz
- [30] PFEIFEROVÁ, Magdaléna, Nové směry v oblasti asfaltových koberců mastixových, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2012.
- [31] ČSN EN 13108 – 1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Těžené kamenivo X drcené kamenivo [18]	14
Obrázek 2 - Postup výroby drceného kameniva [5]	15
Obrázek 3 - Čelistový drtič [3].....	16
Obrázek 4 - Řez čelistovým drtičem [3].....	16
Obrázek 5 - Odrazový drtič [5].....	16
Obrázek 6 - Řez odrazovým drtičem [3].....	16
Obrázek 7 - Schéma kontinuální obalovny [2].....	17
Obrázek 8 - Schéma šaržové obalovny + označení jednotlivých částí [5]	18
Obrázek 9 - Dávkování jednotlivých frakcí kameniva [6]	20
Obrázek 10 - Vnitřek sušícího bubnu, detail na lopatky [17].....	20
Obrázek 11 - Pohled na vnitřek sušícího bubnu [27].....	21
Obrázek 12 - Podélný a příčný řez sušícím bubnem, rok 1985 [9].....	22
Obrázek 13 - Pohled na hořák sušícího bubnu [10]	22
Obrázek 14 - Termo snímek plamenu hořáku se znázorněním teplot [11]	23
Obrázek 16 - Schéma dávkování paliva do hořáku sušícího bubnu [11].....	25
Obrázek 15 - Pohled na typy hořáku pro různá paliva (uvedená na obrázku) [11]	25
Obrázek 17 - Detail na horké třídění, v horní části síta [6]	26
Obrázek 18 - Míchací zařízení na smíchání kameniva a asphaltového pojiva [6]	27
Obrázek 19 - Fotka obrazovky z počítače řídicího systému obalovny, zde konkrétně horkého třídění a míchání [14].....	28
Obrázek 20 - Přehledem umístění obaloven asphaltových směsí v ČR, zde konkrétně jen firmy BOHEMIA ASFALT s.r.o. [29].....	29
Obrázek 21 - Schéma výroby asphaltové směsi [5]	30
Obrázek 22 - Moravská droba Luleč před zatížením teplotou (vlevo) a po zatížení teplotou 300 °C (vpravo), vlastní foto	33
Obrázek 23 - Mapa se zvýrazněním lomu Luleč [22]	34
Obrázek 24 - Detail žuly, vlastní foto	34
Obrázek 25 - Mapa se zvýrazněním lomu Lhota Rapotína [22]	35
Obrázek 27 - Mapa se zvýrazněním lomu Bohučovice [22]	36
Obrázek 26 - Detail moravské droby z Bohučovic, vlastní foto	36
Obrázek 28 - Zjednodušená geologická mapa ČR [24].....	37
Obrázek 29 - Pohled na vibrační třídič v odzvučeném uzavíratelném prostoru, vlastní foto	38
Obrázek 30 - Detail na popisování jednotlivých navážek po rozsítování kameniva, vlastní foto	38
Obrázek 31 - Pohled na proces promývání, vlastní foto	39
Obrázek 32 - Pohled na dutý buben a detail olověných koulí, vlastní foto	40
Obrázek 33 - Podélný a příčný řez dutým bubnem s olověnými koulemi [30].....	41

<i>Obrázek 34 - Pohled na vnitřek mrazicího boxu s ocelovými nádobami, vlastní foto</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 35 - Detailní pohled na vnitřek nádob s viditelnou hladinou 1 cm nad navážkou, vlastní foto</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 36 - Schéma přípravy kameniva před zkouškami, vlastní schéma vytvořené v programu AutoCAD 2016.....</i>	<i>44</i>

8 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 - Požadovaná korektura teploty v závislosti na množství a vlhkosti R- materiálu [°C].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 2 - Tabulka s přehledem doby teplotního zatěžování kameniva</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 3 - Hmotnosti jednotlivých vzorků před a po zkoušce</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 4 - Tabulka hodnot LA.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 5 - Zaokrouhlené hodnoty LA.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 6 - Výsledky zkoušky odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 7 - Výsledky zkoušky odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 8 - Výsledky zkoušky dolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1</i>	<i>48</i>

9 SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 - Znázorňující závislost požadované teploty nahřívání kameniva na obsah R-materiálu ve směsi [28].....</i>	<i>32</i>
<i>Graf 2 - Porovnání výsledků zkoušky pro stanovení odolnosti proti drcení dle ČSN EN 1097 - 2.....</i>	<i>46</i>
<i>Graf 3 - Porovnání výsledků stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování dle ČSN EN 1367 - 1.....</i>	<i>48</i>