

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

KVALITA DROBNÉHO DRCENÉHO PŘÍRODNÍHO KAMENIVA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

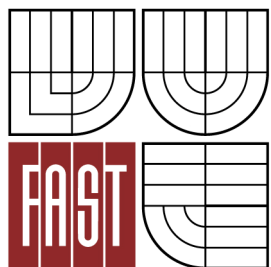
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KATEŘINA VÍTKOVÁ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

KVALITA DROBNÉHO DRCENÉHO PŘÍRODNÍHO KAMENIVA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

THE QUALITY OF THE FILL CRUSHED AGGREGATE TO THE PAVEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KATEŘINA VÍTKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.

BRNO 2012



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	Kateřina Vítková
Název	Kvalita drobného drceného přírodního kameniva do pozemních komunikací
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

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

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

Podklady a literatura

Výzkumné zprávy z let 2000 až 2011

internetové odkazy na www.stranky s informacemi o zkoušení a kontrole jakosti drobného drceného kameniva

sborníky zahraničních konferencí s různým způsobem ověření jakosti drobných částic kameniva

POKLUDA, R. bakalářská práce (2010)

Zásady pro vypracování

Základem práce je zpracování řešerše zaměřené na sledování problematických vlastností přírodních kameniv. Prakticky zaměřená práce na laboratorní zkoušení 6 různých vzorků kameniva. Hodnocení se bude týkat především většího podílu jemných částic v drobném kamenivu, nevyhovujícímu tvarovému indexu, vysokému stupni zahlinění, apod.

Předepsané přílohy

1. Úvod
2. Cílem práce
3. Teoretická část
4. Praktická část
5. Zhodnocení práce
6. Závěr
7. Literatura

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá sledováním kvality drobného přírodního kameniva používaného do stavebních silničních směsí a podkladních vrstev pozemních komunikací. V silniční laboratoři ústavu pozemních komunikací VUT Brno bylo na šesti zkušebních vzorcích drobného a hrubého kameniva provedeno hodnocení podílu jemných částic kameniva, stanovení meze tekutosti a nevyhovujícího tvarového indexu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kamenivo, zkouška methylenovou modří, stanovení meze tekutosti, tvarový index

ABSTRACT

The thesis deals with the quality monitoring of fine particle aggregates used in the road construction mixtures and in the base layers of roads. In the laboratory of Institute of road structures VUT Brno was made an evaluation of the six test samples of fine and coarse aggregates to determinate a proportion of fine-grained aggregates, the limits of fluidity and shape index.

KEYWORDS

Aggregates, methylene blue test, determinate limits of fluidity, shape index

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

VÍTKOVÁ, Kateřina. *Kvalita drobného drceného přírodního kameniva do pozemních komunikací*. Brno, 2011. 56 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením Ing. Dušana Stehlíka, Ph.D. a že jsem uvedla všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2012

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
CÍL PRÁCE.....	11
TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1. KAMENIVO	11
1.1. PŮVOD KAMENIVA	11
1.2. VÝROBA KAMENIVA	12
1.3. POŽADAVKY NA KAMENIVO	16
2. ZKOUŠKY KAMENIVA	21
2.1. ZÁKLADNÍ ZKOUŠKY KAMENIVA:	21
2.2. ZRNITOST	21
2.3. TVAROVÝ INDEX.....	25
2.4. ZKOUŠKA METHYLENOVOU MODŘÍ.....	27
2.5. STANOVENÍ KONZISTENČNÍCH MEZÍ	29
PRAKTICKÁ ČÁST	32
3. PŮVOD VZORKŮ	32
3.1. LOM KOŠTÁLOV	32
3.2. LOM LHOTA RAPOTINA	33
3.3. LOM PODHŮRA	34
3.4. LOM VÍCENICE	35
4. LABORATORNÍ ZKOUŠKY	37
4.1. ZKUŠEBNÍ VZORKY	37
4.2. ZRNITOST	37
4.3. TVAROVÝ INDEX.....	39
4.4. ZKOUŠKA METHYLENOVOU MODŘÍ.....	39
4.5. STANOVENÍ MEZE TEKUTOSTI.....	42
4.6. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VZORKŮ	44
ZÁVĚR.....	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM GRAFŮ	51
SEZNAM VZORCŮ	51
SEZNAM TABULEK.....	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	53

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
SEZNAM PŘÍLOH	56

ÚVOD

Kámen je jedním z nejstarších stavebních materiálů. Vždyť doba kamenná je první ze tří období, která rozlišuje naše dějiny podle technologické historie. Toto období trvalo asi 2,5 milionu let a skončilo mezi lety 4500 př. n. l. až 2000 př. n. l. s příchodem doby bronzové.

Kámen je i dnes nejrozšířenější a také nejpoužívanější stavební surovinou. Používá se jak na konstrukční, tak na obkladový stavební materiál pro stavby pozemní, vodní, železniční, silniční, báňské, meliorační, regulační i pro jiné speciální účely.

Kamenivo je drcený kámen a je jedním ze základních materiálů používaných při výrobě směsí a provádění vrstev pozemních komunikací stmelených, nestmelených a podkladních.

Kamenivo lze rozdělit:

- | | |
|-----------------|------------------|
| • podle původu: | • podle vzniku: |
| přírodní | těžené |
| umělé | těžené předrcené |
| recyklované | drcené |

Jak ale docílit toho aby řešená konstrukce byla co nejkvalitnější při zachování ekonomičnosti stavby? Jedním ze základních parametrů pro správný návrh vrstvy vozovky je dostatečně kvalitní kamenivo s požadovanými vlastnostmi pro danou konstrukci. Tyto požadované vlastnosti jsou určovány parametry geometrických vlastností, fyzikálních a mechanických vlastností kameniva. Nejpoužívanějším materiálem do pozemních komunikací je přírodní kamenivo drcené, přičemž v současné době je také velká snaha o co největší využití recyklátů a druhotných surovin.

CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části práce je vypracování rešerše zaměřené na některé problematické vlastnosti přírodního drceného kameniva a teoretický rozbor vybraných zkoušek běžně používaných pro jejich zjištění. Cílem praktické části práce je na základě poznatků v části teoretické provést laboratorní zkoušky na přidělených vzorcích, které jsou zaměřené konkrétně na obsah vyššího množství jemných částic a jejich kvalitu, nevhodný tvarový index a zrnitost kameniva. Závěrem s ohledem na zjištěné parametry laboratorních zkoušek vyhodnotit použití jednotlivých zkušebních vzorků dle platných norem a jejich porovnání mezi sebou, případně s katalogem kameniv pro Českou republiku.

TEORETICKÁ ČÁST

1. KAMENIVO

Získává se těžbou z ložisek přírodního kameniva, kterých je na území České republiky nespočet. V současnosti se jeho těžba pohybuje okolo 25 milionů m³ za rok. Podle požadovaných technologických vlastností různých vrstev pozemních komunikací slouží pro výrobu drceného kameniva horniny magmatické, sedimentární i metamorfované. [1]

1.1. PŮVOD KAMENIVA

Horniny magmatické (vyvřelé)

- hlubinné světlé s objemovou hmotností menší než 2,8 g/cm³ (granitoidy, syenitoidy)
- hlubinné tmavé s objemovou hmotností větší než 2,8 g/cm³ (diorit, gabro)
- výlevné hutné s objemovou hmotností větší než 2,5 g/cm³ (andezit, čedič)
- výlevné pórovité s objemovou hmotností do 2,5 g/cm³ (trachyt, ryolit)

Horniny sedimentární (usazené)

- klastické hutné s objemovou hmotností větší než 2,5 g/cm³ (pískovec, droba, slepenec)
- klastické pórovité s objemovou hmotností do 2,5 g/cm³ (pórovitý pískovec, opuka)
- klastické vrstevnaté – odlučné podle souběžných ploch, dobře štípatelné (jílovité břidlice)
- karbonátové pórovité s objemovou hmotností do 2,6 g/cm³ (travertin)
- karbonátové hutné s objemovou hmotností větší než 2,6 g/cm³ (vápence)

Horniny metamorfované (přeměněné)

- karbonátové horniny (krystalické vápence, mramory a přeměněné horniny řady vápenec – dolomit)
- silikátové (serpentinit, ruly, amfibolit)
- břidlice – metamorfované horniny odlučné podle souběžných ploch (fylit) [2]

1.2. VÝROBA KAMENIVA

Drcené přírodní kamenivo, které se nám dostává do rukou při stavbě pozemních komunikací, čeká ještě dlouhá cesta před tím, než jej budeme moci použít jako dostatečně kvalitní stavební materiál s požadovanými vlastnosti. Na následujících stránkách jsou tedy naznačeny jeho jednotlivé výrobní fáze krok za krokem.

Těžba přírodního kameniva

Provádí se povrchovým způsobem v kamenolomech, kdy je hornina od lomové stěny oddělována pomocí odstřelů. U kameniv, která nejsou určena pro dekorální účely, není třeba brát ohled na neporušenost lomových ploch, proto se používají brizantní trhaviny. Z důvodů ekonomických i ekologických byly nahrazeny původní komorové odstřely v současné době nejvíce používanými odstřely clonovými, kdy je vyvrtána linie vrtů pomocí vrtné soustavy s umístěním jak v hlavě stěny, tak při patě etáže a vrty jsou následně nabity trhavinou. Velké kusy horniny, které by drtiče nezpracovaly, jsou následně upraveny sekundárními trhacími pracemi, dnes však častěji hydraulickými kladivy. Hornina je poté z rozvalu naložena nakladači na přepravní prostředky. Jako dopravních prostředků se nejvíce využívá těžkých nákladních automobilů, tzv. demprů s nosností korby 40 až 60 tun.



Obr. 1-1 Vrtání záhlavních vrtů [1]

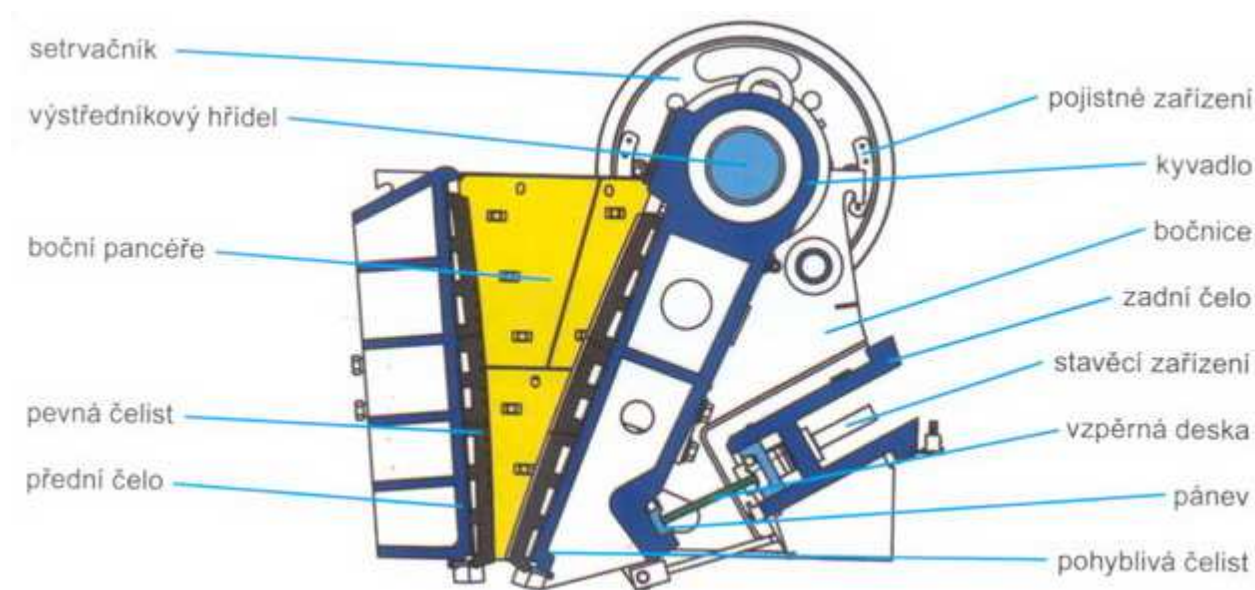


Obr. 1-2 Nakládka rozvalu na dempr [1]

Drcení kameniva

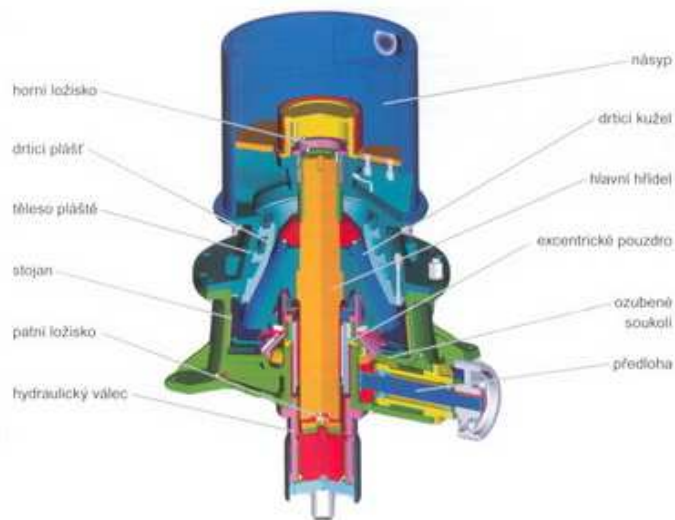
Jako další technologický krok se provádí drcení kameniva a to zpravidla ve více stupních za použití různých typů drtičů. Jejich použití je dáno velikostí výchozí suroviny a požadavky na konečnou velikost a vlastnosti výsledného kameniva. Při primárním stupni drcení se zpravidla využívají drtiče čelist'ové. Jako vyšší stupně drcení lze využít drtiče kuželové, kladivové nebo odrazové.

Čelist'ové drtiče se používají pro surovinu o výchozí velikosti maximálně 1200 mm, přičemž konečná velikost podrceného kameniva je okolo 300 mm, podle šířky výpustné štěrbin, kterou lze nastavovat. Materiál je drcen tlakem, zčásti též lámáním nebo roztíráním v prostoru mezi pevnou a pohyblivou čelistí drtiče a to v průběhu pohybu pohyblivé čelisti proti čelisti pevné. Drcená hornina postupuje dolů k výpustné štěrbině v době, kdy se čelisti od sebe vzdalují. Pro odstranění jemných frakcí z materiálu bývají čelist'ové drtiče doplněny odhliňovacími třídiči, čímž se dosáhne odlehčení vlastního drtiče.



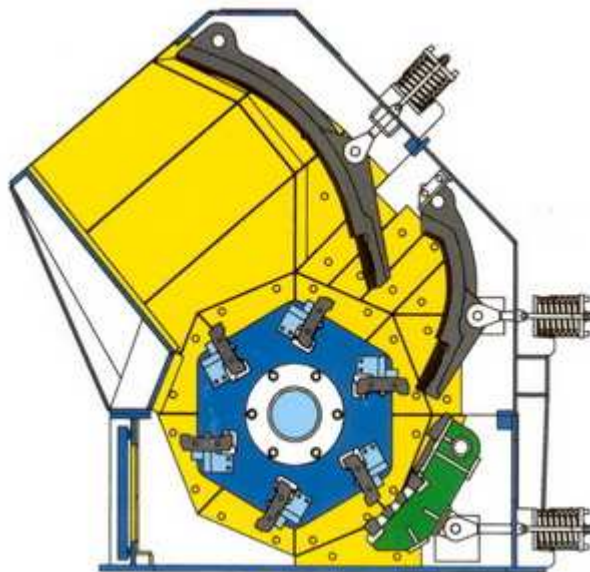
Obr. 1-3 Řez jednovzpěrným čelist'ovým drtičem
(Se svolením společnosti PSP Engineering, a.s.) [1]

Kuželové drtiče se používají jako primární i sekundární pro hrubé, střední i jemné drcení velmi pevných a obtížně drtitelných hornin. V kuželových drtičích je materiál zdobňován mezi otáčejícím se drtícím kuželem a nepohyblivým drtícím pláštěm.



Obr. 1-4 Řez kuželovým drtičem (Se svolením společnosti PSP Engineering, a.s.) [1]

Kladivové a odrazové drtiče se využívají jako sekundární pro výchozí velikost materiálu maximálně 1000 mm s konečnou velikostí kolem 25mm. Materiál se drtí prudkými úderů kladiv nebo drtících lišt a nárazy rychle se pohybujících zrn na nepohyblivé pancéřové desky. Na rozdíl od čelistových a kuželových drtičů, ve kterých je průběh rozpadu zdobňovaných zrn určen jejich polohou v drtícím prostoru, drtí se v úderových drtičích zrna v místech své nejmenší soudržnosti, tj. podél štěpných ploch, různých trhlin a puklin. [1]



Obr. 1-5 Řez odrazovým drtičem
(Se svolením společnosti PSP Engineering, a.s.) [1]

Třídění kameniva

Posledním technologickým krokem výroby kameniva v kamenolomech je jeho třídění na vibračních síťových třídících na jednotlivé frakce. Může se také provádět praní kameniva pro odstranění nežádoucích jemných částic a nečistot, které by mohly způsobit například nedokonalou přilnavost asfaltu ke kamenivu. Odstranění nežádoucího drobného kameniva může být provedeno také speciálními odsávači.

Zkoušení kameniva

Zkoušky kameniva lze rozdělit do dvou stupňů a to na počáteční zkoušky a zkoušky kontrolní.

Počáteční zkoušky typu

Počáteční zkoušky typu vhodné pro předpokládané konečné použití se musí provést pro kontrolu shody se stanovenými požadavky v následujících případech:

- a) při použití kameniva z nového zdroje
- b) v případě že došlo k výrazné změně v povaze surovin nebo ke změně ve výrobních podmínkách, které mohou ovlivnit vlastnosti kameniva

Počáteční zkouška typu výrobku je úplný soubor zkoušek nebo jiných postupů popsanych v harmonizovaných technických specifikacích, které stanovují ukazatele vzorků výrobků reprezentativních pro daný typ výrobku. Ověřuje se jimi to, že výrobek vyhovuje harmonizované technické specifikaci. Výsledky zkoušek se musí zaznamenat v protokolu o zkoušce a musí být dokumentovány jako začátek řízení výroby pro tento materiál.

Kontrolní zkoušky

Provádějí se průběžně během výroby kameniva, ověřuje se jimi, zda kamenivo splňuje požadavky normy.

Dodávka kameniva

Její součástí je prohlášení o shodě, které je součástí certifikátu CE (deklarace že výrobek splňuje příslušné normy a postup řízení výroby byl zajištěn tak, aby výrobek odpovídal požadované jakosti). Objednatel si poté na obalovně provádí vstupní kontrolní zkoušky.

1.3. POŽADAVKY NA KAMENIVO

Pro různé konstrukční vrstvy pozemních komunikací jsou kladeny odlišné požadované vlastnosti na jejich materiál. Pojďme se tedy zaměřit na požadované vlastnosti kameniva používaného do podkladních vrstev vozovek.

Požadavky na kamenivo do nestmelených podkladních vrstev

Kvalita podkladních vrstev je rozhodující při návrhu konstrukčních vrstev právě proto, že pouze s kvalitní podkladní vrstvou se dá vytvořit dostatečně kvalitní komunikace. Podkladní vrstvy totiž roznášejí zatížení způsobená dopravou na horních vrstvách vozovky do podloží pozemní komunikace, tak aby podloží nebylo protlačováno. Toho lze dosáhnout pouze s dostatečně únosnými materiály. Jejich dostatečná únosnost je zajištěna přenosem zatížení přes tření v kostře kameniva, proto je tedy dán požadavek co největšího úhlu vnitřního tření. K tomu přispívá dostatečné množství hrubých zrn s lomovými plochami. Dále plynulá křivka zrnitosti, protože čím je křivka plynulejší, tím je větší počet kontaktních ploch a tím lepší je zajištění tření mezi zrny kameniva a dosažení optimální vlhkosti při hutnění a tím zamezení segregace při dopravě na stavbu. Nežádoucí je větší množství jemných částic, které mohou způsobovat bobtnání.

Požadavky na kamenivo do podkladních vrstev stmelených hydraulickými pojivy

Smyslem návrhu stmelených podkladních vrstev je většinou pouze využití kameniva a různých místních zdrojů, které by jinak nebyly vhodné pro použití do kvalitních nestmelených podkladních vrstev. Nemají tudíž bez přidání hydraulického pojiva žádné další využití. Původní myšlenka využití stmelených podkladních vrstev ve světě byla zavedena z hlediska nedostupnosti dostatečně kvalitního materiálu na území, kde probíhala výstavba.

Na počátku tedy nebyla snaha o vytvoření kvalitnější vrstvy, ale pouze o využití místních dobře dostupných surovin. V jisté době však došlo k tomu, že stmelené vrstvy byly nadřazeny nestmeleným, tato doba však naštěstí pominula zejména díky technologii mechanicky zpevněného kameniva.

Posuzují se dle ČSN EN 13242 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace.

Požadavky na kamenivo do asfaltových směsí

Každá asfaltová směs má svoje specifické požadavky pro kamenivo do ní používané. V tabulce jsou uvedeny požadavky na 3 základní typy asfaltových směsí asfaltový beton (AC), asfaltový koberec mastixový (SMA), asfaltový koberec drenážní (PA).

Tab. 1-1 Porovnání požadavků na kamenivo pro jednotlivé druhy asfaltových směsí

Požadavek	AC	SMA	PA
Čára zrnitosti	plynulá	přerušovaná	přerušovaná
Zastoupení velikosti zrn	rovnoměrné	nerovnoměrné	nerovnoměrné
Ohladitelnost	požadovaná odolnost	-	-
Tvarový index	-	dobrý	výborný
Odolnost proti drcení	-	nízká	nízká

Posouzení dle ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch.

Dále jsou stručně popsány požadavky pro kamenivo používané do asfaltových směsí, které nebudou provedeny v praktické části:

Odolnost proti drcení

Požadavek na podíl částic > 1,6 mm. Zvýšené množství částic < 1,6 mm by mohlo mít nepříznivý vliv například na přilnavost asfaltu ke kamenivu.

Metody:

- Zkouška Los Angeles (referenční metoda)
- Zkouška rázem (alternativní metoda)

Ohladitelnost kameniva

Je základní vlastností při posuzování kameniva do asfaltových směsí, z důvodu trvalého zajištění dostatečných protismykových vlastností. Při provozu na pozemních komunikacích se časem dostaví snížení odporu proti usmyknutí vlivem opotřebení materiálu.

Odolnost proti ohlazení je dána minerálním složením horniny. Za vhodné materiály lze označit horniny, kde se vedle sebe vyskytuje větší množství minerálů s různým stupněm tvrdosti. [1]

Vliv dopravního zatížení a ohladitelnosti kameniva na odolnost proti smyku

Výzkum týkající se vlivu dopravního zatížení a ohladitelnosti kameniva na odolnost proti smyku proběhl na deseti vybraných úsecích dálnic D1, D5 a D8. Cílem práce bylo definovat minimální hodnoty ohladitelnosti, které musí splnit kamenivo použité do obrusných vrstev dálnic.

Na osmi zkoumaných úsecích byla položena jako obrusná vrstva asfaltový koberec mastixový (SMA) a na zbývajících dvou asfaltový beton (AC). Výsledky práce mají praktické využití při navrhování a provádění asfaltových směsí do vozovek pozemních komunikací.

Na těchto vzorcích byly vyhodnoceny dlouhodobá měření protismykových vlastností povrchu vozovky se současným provedením jádrových vývrtů o průměru 150 mm pro detailní popis a následný rozbor. Metodou extrakce se získalo kamenivo z obrusné vrstvy frakce 8-11 na stanovení hodnoty odladitelnosti kameniva dle ČSN EN 1097-8.

Pro porovnání vývoje sledovaných hodnot součinitele tření byly použity údaje neměřené při rychlosti 60 km/h. Nejlepšího průběhu dosahoval úsek, kde je použitým kamenivem do obrusné vrstvy rula, za ním následuje úsek s drobou. Středních hodnot součinitele tření bylo dosaženo na komunikacích se směsí čediče a vápence. U amfibolitu, vápence, čediče a spilitu bylo postupem času dosahováno velmi nízkých hodnot součinitele podélného tření.

U vrstev kde byl položen mastixový koberec se v prvních letech projevil vliv vyšší makrotextury (ztráta asfaltového tmele) než u vrstev z asfaltového betonu.

Obecně se dá říci, že zvyšování makrotextury zlepšuje protismykové vlastnosti, po nějaké době se však odhalí kamenivo, které v případě špatné mikrotextury větších vystupujících zrn podstatně snižuje součinitel tření. [3]

Přilnavost pojiva ke kamenivu

Dalšími vlastnostmi kameniva, které ovlivňují přilnavost pojiva ke kamenivu, je jeho mineralogické složení, drsnost povrchu zrn kameniva, pórovitost a vlhkost povrchu zrn kameniva. Přilnavost zrn ke kamenivu výrazně ovlivňuje odolnost proti trvalým deformacím.

Mnohé z poruch, které jsou diagnostikovány na pozemních komunikacích, se nekladou do přímé souvislosti s nedostatečnou přilnavostí pojiva ke kamenivu a s přítomností vody, přesto však je zřejmé, že tento jev je nutno hodnotit pro trvanlivost konstrukcí vozovek jako vysoce rizikový.

Touto problematikou je v dnešní době stále více nutné se zabývat v důsledku nárůstu dopravního zatížení vozovek. Základní principy poruchy přilnavosti pojiva ke kamenivu jsou uvedeny v tab. 1-2. [4]

Tab. 1-2 Teorie ztráty přilnavosti pojiva ke kamenivu [4]

Teorie vytěsnění asfaltu z povrchu zrn kameniva	V přítomnosti vody je asfalt z důvodů změněného napětí na rozhraní mezi kamenivem a pojivem vytěsněn.
Teorie pórového tlaku	V hutněných asfaltových vrstvách se nacházejí mezery a dutiny, v nichž mohou vznikat mechanicky nebo působením teploty pórové tlaky. Tyto pórové tlaky mohou být značně větší než síly přilnavosti mezi kamenivem a pojivem a mohou narušit přilnavost pojiva ke kamenivu.
Teorie podpovrchové koroze	Voda na rozhraní mezi kamenivem a pojivem vytěsňuje asfalt z povrchu zrn kameniva; voda buď vzlíná z vlhkého vnitřku kameniva, nebo může difundovat filmem asfaltového pojiva z vnějšku a dostat se tak na rozhraní mezi kamenivem a pojivem.
Teorie porušení filmu pojiva	Mechanická a dynamická zatížení jedoucimi vozidly, nebo nerovnoměrné rozložení kapilárního tlaku vyvolávají napětí, působící na obalené zrno kameniva; v místech, kde je tloušťka filmu pojiva nejmenší (rohy a hrany zrna kameniva) dochází k trhlině ve filmu pojiva, na porušených místech filmu asfaltového pojiva vniká voda na povrch kameniva a vytěsňuje asfalt

Na základě různých teorií o porušení přilnavosti pojiva ke kamenivu byl vyvinut velký počet zkušebních metod. Například dle německé normy DIN 996, Část 10 popisuje zkušební metodu pro „zkoušení chování asfaltové směsi při uložení ve vodě“ zde lze zkoušet jak nezhutněnou vyrobenou asfaltovou směs, tak frakci kameniva 8/11 mm obalenou asfaltem. Dále DIN EN 12697-11 „stanovení afinity mezi pojivem a kamenivem“, při které se vizuálně posuzuje stupeň obalení zrn hrubého kameniva v nezhutněné asfaltové směsi po namáhání mechanickým mícháním za přítomnosti vody. Tato zkušební metoda se označuje jako zkouška s otáčením lahví (Rolling-Bottle-Test). [5]

Tato zkouška se dříve vyhodnocovala vizuálně, tedy její výsledek závisel na subjektivním zhodnocení laboranta. V současné době se provádí zdokonalování vyhodnocení

pomoci digitálních snímků a výpočetního programu. Přínosy inovativního vyhodnocení jsou mimo jiné výrazné omezení subjektivních faktorů při vyhodnocování výsledků zkoušky, snížení počtu provádějících laborantů (místo tří nezávislých zkoušejících pouze jediný), možnost rychlého stanovení výsledků v případě, že zkoušku provádějí laboranti s malými odbornými zkušenostmi a možnost dalšího vývoje metody. [4]

2. ZKOUŠKY KAMENIVA

2.1. ZÁKLADNÍ ZKOUŠKY KAMENIVA:

- geometrické vlastnosti kameniva
- fyzikální a mechanické vlastnosti kameniva
- odolnost kameniva vůči teplotě a zvětrávání

Geometrické vlastnosti kameniva:

- Zrnitost ČSN EN 933-1
- Tvarový index ČSN EN 933-4
- Podíl drceného kameniva ČSN EN 933-5
- Hodnota ekvivalentu písku ČSN EN 933-8
- Hodnota methylenové modři ČSN EN 933-9

Fyzikální a mechanické vlastnosti kameniva

- Odolnost proti drcení ČSN EN 1097-2
- Sypaná hmotnost a mezerovitost volně sypaného kameniva ČSN EN 1097-3
- Vlhkost kameniva ČSN EN 1097-5
- Objemová hmotnost zrn a nasákavost ČSN EN 1097-6
- Ohladitelnost ČSN EN 1097-8

Odolnost kameniva vůči teplotě a zvětrávání

- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování ČSN EN 1367-1
- Zkouška síranem hořečnatým ČSN EN 1367-2

Zvláštní zkoušky

- Stanovení konzistenčních mezí ČSN CEN ISO/TS 17892-12

2.2. ZRNITOST

Řadí se mezi počáteční a kontrolní zkoušky při těžbě kameniva.

ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva Část 1: stanovení zrnitosti – Sítový rozbor.

ČSN EN 933-2 Zkoušení geometrických vlastností kameniva Část 2: stanovení zrnitosti – Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů

Podstata zkoušky:

Její podstatou je roztřídění kameniva pomocí sady sít se sestupnou velikostí do frakcí. Zjišťuje se procentuální zadržení jednotlivých zrn kameniva na sítích. Sestrojení křivky zrnitosti a odvození nadsítného a podsítného.

Používá se v těchto případech metoda prosévání za sucha, z důvodu ovlivnění fyzikálních vlastností pórovitého kameniva při metodě praní a prosévání za sucha.

Hmotnost částic zadržených na jednotlivých sítích se porovnává s původní hmotností materiálu. Součet propadu jednotlivými síty v procentech se zaznamenává, a pokud se to vyžaduje, vyjádří se také graficky.

Zkušební zařízení:

Měření se provádí na sadě kontrolních sít o základní velikosti otvorů uvedených v ČSN EN 933 – 2 a vyhovujícím požadavkům ISO 3310 – 1 a ISO 3310 – 2. Jde konkrétně o velikosti 0,063 mm- 0,125 mm- 0,250 mm- 0,5 mm – 1 mm – 2 mm – 4 mm - 8 mm – 16 mm – 31,5 mm – 63 mm – 125 mm a mohou být doplněna síty zvláštní velikosti pro některé další zkoušky.

Pevně líčující ocelové víko pro zajištění co největší těsnosti při střešení a dno sady sít pro zachycení nejjemnějších zrn kameniva. Prací zařízení, váhy s přesností 0,1 % hmotnosti zkušební navážky, nádoby, kartáče, štětce a prosévací přístroj (doporučený). Sušárna s nucenou cirkulací vzduchu a automatickým udržováním a kontrolou teploty 110 °C (± 5 °C) nebo jiné vhodné zařízení na sušení kameniva nezpůsobující jejich poškození.

Příprava zkušební navážky:

Zmenšení vzorku v souladu s prEN 932 – 2 k získání požadovaného počtu zkušebních navážek.

Velikost zkušební navážky hutného kameniva s objemovou hmotností zrn mezi 2000 kg.m⁻³ a 3000 kg.m⁻³ se určuje podle největší velikosti zrna kameniva v souladu s tabulkou.

Tab. 2-1 Nejmenší zkušební navážky s ohledem na největší velikost zrna kameniva D , pro zrnitostní rozbor [6]

Velikost zrna kameniva D (největší) mm	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) kg
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

Zkušební navážka se vysuší při teplotě $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) do ustálené hmotnosti, poté se nechá vychladnout a zváží se jako hmotnost M_1 .

Zkušební postup:

a) Praní

Zkušební navážka se vloží do nádoby, kam se přidá dostatek vody, aby bylo kamenivo zcela pod vodou. Vzorek se dostatečně promíchá, aby bylo dosaženo dokonalého oddělení jemných částic. Při uložení pod vodou po dobu 24 hodin dochází k rozpouštění hrudek. Pro tuto zkoušku se používá pouze síto $63\text{ }\mu\text{m}$, které se navlhčí z obou stran a na toto síto se nasadí síto ochranné (např. 1 mm nebo 2 mm). Je nutné umístění sít tak, aby roztok protékající zkušebním sítem mohl odtékat do odpadu, nebo byl zadržen ve vhodné k tomu určené nádobě. Obsah nádoby se vylévá na horní síto. Prání pokračuje do doby, dokud není voda protékající sítem $63\text{ }\mu\text{m}$ čirá. Zaznamenaná hmotnost M_2 je zůstatek na síte $63\text{ }\mu\text{m}$ a na dně sady vysušený při teplotě $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) do ustálené hmotnosti.

b) Prosévání

Na sadu sít sestávající z určených velikostí jednotlivých sít přičemž největší otvory se nachází nahoře, se nasype vypraný a vysušený, případně pouze vysušený vzorek. Zabezpečí se na horní straně těsným víkem, na straně spodní dolním dnem pro zachycení částic menších $63\text{ }\mu\text{m}$. I v případě, že byla využita předcházející metoda praní, je vhodné do sady sít umístit zkušební síto velikosti $63\text{ }\mu\text{m}$, protože zkušenost ukázala, že ani tento postup zcela neodstraní všechny jemné částice. Následuje ruční nebo mechanické otřásání sloupцем sít, ta se poté postupně odebírají od síta s největšími otvory, přičemž je na jednotlivých sítích ručně dokončováno prosévání. Musí být zajištěno zachycení propadlého materiálu například použitím dna a víka. Materiál propadlý tímto sítem se přidá na síto následující ve sloupci před pokračováním jeho prosévání. Prosévání může být ukončeno, když se zůstatek na síte během

prosévání po dobu jedné minuty nezmění o více než 1,0 %. Z důvodu přetížení sít po dokončení prosévání nesmí být množství materiálu na každém síti větší než:

$$\frac{A \times \sqrt{d}}{200} \quad (2-1)$$

kde:

A...plocha síta ve čtverečních milimetrech

d...velikost otvoru síta v milimetrech

V případě přesažení této hodnoty je možné využít některý z následujících postupů:

- rozdělení zůstatku na díly menší než je stanovené minimum a jejich oddělené prosévání
- zmenšení děličem vzorku nebo kvartací na části vzorku, který propadl nejbližší za vyšším sítem a pokračování prosévání na zmenšeném vzorku, přičemž je nutné toto zmenšení vzít v úvahu při výpočtu.

c) Stanovení hmotnosti

Zvážení zůstatku na síti s největšími otvory a jeho zaznamenání jako hmotnost R_1 . Tímto způsobem se pokračuje pro všechna další síta při zaznamenávání se hmotností $R_2, R_3, R_4, \dots, R_n$. V případě propadu jemných částic až na dno se zaznamená jejich hmotnost jako P .

Výpočty:

Zaznamenání hmotností ve zkušebním protokolu, výpočet hmotností zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní vysušené navážky M_1 . Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, která propadla každým sítem od shora dolů kromě síta 63 μm . Procento jemných částic (f), které propadly sítem 63 μm , se vypočte podle následujícího vztahu:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad (2-2)$$

kde:

M_1 ...hmotnost vysušené zkušební navážky [Kg]

M_2 ...hmotnost vysušeného zůstatku na síti 63 μm [Kg]

P ...hmotnost propadu jemných částic na dně [Kg]

Jestliže se součet R_i a P liší o více jak 1 % od hmotnosti M_2 , musí se zkouška opakovat. [6]

2.3. TVAROVÝ INDEX

ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

Podstata zkoušky:

Roztřídování jednotlivých zrn u vzorku hrubého kameniva na základě poměru jejich délky L ku tloušťce E obvykle pomocí dvoučelistového posuvného měřítka.

Hmotnostní podíl zrn jejichž poměr rozměrů L/E je větší než 3 a vyjádří se jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn nazýváme tvarový index.

Zkušební zařízení:

Pokud není jinak uvedeno, musí veškeré zařízení vyhovovat všeobecným požadavkům EN 932 – 5.

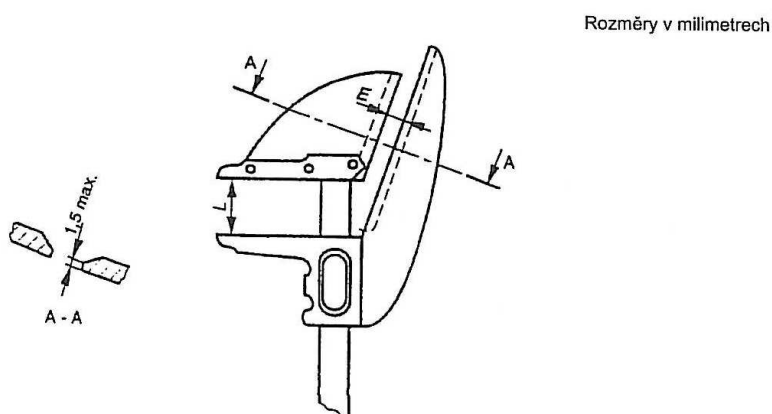
Dvoučelistové posuvné měřítko s poměrem ramen 1:3.

Zkušební síta se jmenovitými otvory, které jsou specifikovány v EN 933 – 2 a dobře těsnící dno a víko pro tato síta.

Sušárna s nucenou cirkulací vzduchu a automatickým udržováním a kontrolou teploty $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) nebo jiné vhodné zařízení na sušení kameniva nezpůsobující jejich poškození.

Váhy vhodné kapacity s přesností 0,1 % hmotnosti zkušební navážky.

Misky a prosévací přístroj (doporučený).



Obr. 2-1 Příklad dvoučelistového posuvného měřítka [7]

Příprava zkušební navážky:

Zmenšení vzorku podle EN 933 – 2, následné vysušení vzorku při teplotě 110 °C (±5 °C). Prosetí na příslušných sítích, tak aby bylo dosaženo důkladného oddělení zrn větších než 4 mm. Vyřadí se ta zrna, která zůstanou zachycena na sítu 63 mm a ta která propadnou sítím 4 mm. Hmotnost zkušební navážky se zaznamená jako M_0 .

Hmotnost zkušební navážky musí být v souladu s tabulkou.

Tab. 2-2 Nejmenší zkušební navážky s ohledem na největší velikost zrna kameniva D , pro stanovení tvarového indexu [7]

Horní velikost zrna D mm	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) kg
63	45
32	6
16	1
8	0,1

Zkušební postup:

Zkouška se provádí na zrnění kameniva d_i / D_i kde $D_i \leq 2d_i$. Odstranění všech zrn menších než d_i a větších než D_i , zaznamenání hmotnosti převládajícího zrnění d_i / D_i jako M_1 . U každého zrna se obvykle pomocí posuvného dvoučelistového měřítka posoudí délka L a tloušťka E a oddělí se zrna, která mají rozměrový součinitel $L/E > 3$. Tato zrna jsou klasifikována jako nekubického tvaru. Tato zrna se zváží a jejich hmotnost se zaznamenává jako M_2 . V případě zkušební navážky kde $D > 2d$, se musí provést oddělení proséváním na jednotlivá zrnění d_i / D_i kde $D_i \leq 2d_i$.

Výpočet a vyjádření výsledků:

Tvarový index (SI) se určí následujícím vztahem:

$$SI = (M_2 / M_1) \times 100 \quad (2-3)$$

kde:

M_1 ...hmotnost zkušební navážky [g]

M_2 ...hmotnost nekubických zrn [g]

Tvarový index se zaznamená zaokrouhlený na celé číslo. [7]

2.4. ZKOUŠKA METHYLENOVOU MODŘÍ

Podstata zkoušky:

ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří.

Methylenová modř se určuje pro frakci 0/2 drobného kameniva a šterkopísku. Do suspenze zkušební navážky s vodou se přidává roztok methylenové modře (10g/l). Absorpce barevného roztoku zkušební navážkou je po každém přidání roztoku kontrolováno zkouškou zbarvení filtračního papíru k zajištění přítomnosti nevázaného barviva. Pokud je přítomnost nevázaného barviva prokázána, vypočte se hodnota methylenové modře (MB nebo MB_F) a vyjádří se v gramech barviva absorbovaných jedním kilogramem zkoušené frakce.

Chemikálie:

Barevný roztok standardní nebo technické kvality methylenové modře ($10 \pm 0,1$) g/litr. Nejdelší doba použití roztoku má být 28 dní. Nutná ochrana před světlem během uskladnění. Destilovaná nebo demineralizovaná voda a kaolinit se známou hodnotou methylenové modře (MB_k)

Zkušební zařízení:

Veškeré zařízení musí vyhovovat požadavkům prEN 932-5.

Byreta o objemu 100 ml s dělením 1/10 ml nebo objemu 50 ml s dělením 1/5 ml, nebo jedna 5 ml a jedna 2 ml mikropipeta.

Filtrační papír, kvantitativní bezpopelný (<0,010 %); 95 g/m², tloušťky 0,20 mm, filtrační rychlost 75 s; velikost pórů 8 μm.

Skleněná tyčinka, délky 300 mm; průměru 8 mm.

Mixer s možnou kontrolou rychlosti otáčení až do (600 ± 60) za minutu se třemi nebo čtyřmi lopatkami průměru (75 ± 10) mm.

Váhy s přesností 0,1 % odvažované hmotnosti.

Stopky s přesností 1 s.

Zkušební síto o velikosti ok 2 mm s ochranným sítem (pokud je to nutné).

Kádinka skleněná nebo plastická o objemu asi 1 litr nebo 2 litry.

Baňka skleněná o objemu 1 litr.

Sušárna s nucenou cirkulací vzduchu a automatickým udržováním a kontrolou teploty 110 °C (± 5 °C) dále teploměr s přesností 1 °C, stěrka a exsikátor.

Příprava zkušební navážky:

Zmenšení laboratorních vzorků v souladu s prEN 932-2, tak aby se získal redukovaný vzorek obsahující nejméně 200 g frakce 0/2.

Redukovaný vzorek se vysuší při teplotě 110 °C (± 5 °C) do ustálené hmotnosti a nechá vychladnout. Suchý redukovaný vzorek se proseje sítem 2 mm, které je v případě potřeby chráněno jiným sítem, a použije se kartáč k důkladnému oddělení a shromáždění všech zrn ve frakci 0/2 mm. Odstraní se všechna zrna, která zůstala na síti 2 mm a pokud je to nutno, zmenší se frakce, která propadla sítem 2 mm podle prEN 932-2, aby se získala hmotnost nejméně 200 g. Hmotnost zkušební navážky musí být větší než 200 g, ale ne přesně stanovená hodnota. Zaznamená se hmotnost zkušební navážky M_1 s přesností na 1 g.

Zkušební postup:

a) Popis zkoušky zbarvení

Kontrola zkoušky zbarvení se provádí po každém vstřiku barviva odebráním kapky roztoku pomocí skleněné tyčinky a odkápnutím na filtrační papír. Zbarvení, které nastává uprostřed ukládání materiálu, vytváří jasně modrou barvu, ta je obestřena bezbarvou mokrou oblastí. Průměr vytvořených kapek by měl být mezi 8 až 12 mm. V případě vytvoření trvalého kroužku světle modré barvy šířky asi 1 mm okolo jasně modrého středu, lze zkoušku považovat za pozitivní.

b) Příprava roztoku

Nalítí destilované nebo demineralizované vody (± 500 ml) do kádinky a přidání vysušené zkušební navážky a důkladné promíchání stěrkou. Byreta se naplní roztokem barviva, zbylá zásoba roztoku se uloží do temné místnosti. Kádinka se umístí pod mísicí zařízení, tak aby vzdálenost lopatek byla asi 10 mm ode dna nádoby. Zapne se mísidlo a současně stopky; obsah kádinky se promíchává podobu 5 minut při rychlosti otáček (600 ± 60) za minutu a následně se nepřetržitě promíchává při rychlosti (400 ± 40) do ukončení zkoušky. V případě že je ve zkušební navážce přítomno nedostatečné množství jemných částic k získání barevného kruhu, musí se přidat současně s barvivem kaolinit se známou hodnotou methylenové modře mezi 1 g až 2 g na 100 g kaolinitu.

c) Stanovení množství absorbovaného barviva

Filtrační papír musíme umístit na prázdnou kádinku nebo jinou vhodnou podpěru, tak aby se většina jeho povrchu nedotýkala pevného povrchu nebo kapaliny.

Po počátečním promíchání při otáčkách (600 ± 60) za minutu po dobu 5 minut se vstříkne dávka 5 ml roztoku barviva; po uplynutí 1 minuty se provede odběr vzorku pomocí skleněné tyčinky a jeho následné odkápnutí na filtrační papír. Při negativním výsledku se provede přidání dalších 5 ml a opakuje se promíchání po dobu 1 minuty s opakovaným odebráním vzorku. Přidávání roztoku pokračuje, pokud se kolem tmavě modrého středu neobjeví světle modrý proužek okolo 1 mm. Pokud barevný kroužek zmizí během prvních 4 minut, přidá se dalších 5 ml barviva. Pokud barevný kroužek zmizí během páté minuty, přidá se pouze 2 ml roztoku barviva. Je nutno pokračovat v promíchávání při provádění tak dlouho, až kroužek nezmizí během 5 minut. Zaznamená se celkový objem roztoku barviva V_1 , které bylo nutno dodat, aby kroužek vydržel po dobu 5 minut, s přesností na 1 ml.

Výpočet a vyjádření výsledků

Hodnota methylenové modře MB, vyjádřena v gramech barviva na jeden kilogram frakce 0/2 mm se vypočte podle následujícího vztahu:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad (2-4)$$

kde:

V_1 ...celkový objem vstříknutého barviva [ml]

M_1 ...hmotnost zkušební navážky [g]

Zaznamená se hodnota MB, zaokrouhlena na 0,1 g barviva na jeden kilogram frakce 0/2 mm. [8]

2.5. STANOVENÍ KONZISTENČNÍCH MEZÍ

ČSN CEN ISO/TS 17892-12 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí.

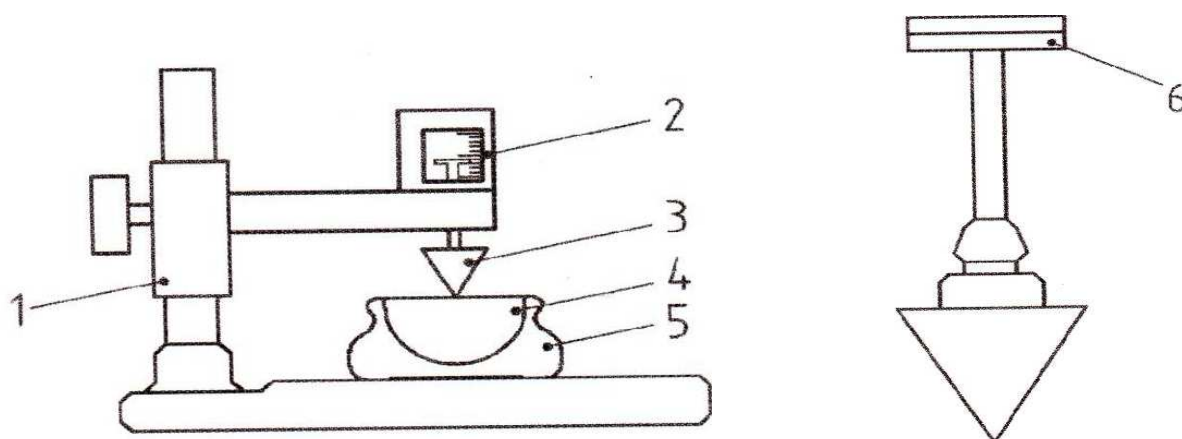
Podstata zkoušky:

Tato zkouška byla použita pro zjištění meze tekutosti jako zkouška ekvivalentní ke zkoušce ekvivalentu písku. Jejím cílem je odhalení podílu jílovitých částic ve vzorku písku, který má být použit do stmelených či nestmelených vrstev pozemních komunikací. Určuje to, jak tyto jílovité částice obsažené v kamenivu velikosti zrna $<0,5$ mm ovlivňují jeho plasticitu a do jaké míry. Plasticita může být nízká, střední, vysoká, velmi vysoká a extrémně vysoká.

Vybavení pro stanovení meze tekutosti:

1. Kuželový přístroj umožňující pevné držení kuželu a po jeho uvolnění volný pád ve svislém směru do zeminy (drobného kameniva).

Kuželový přístroj musí mít zařízení umožňující nastavení polohy kužele těsně nad povrch zkušebního vzorku, aniž by musel být uvolněn. Přístroj musí být vybaven zařízením pro měření hloubky penetrace kužele do zkušebního vzorku po jeho uvolnění s přesností 0,1 mm. Pro kužel 60 g/60° v rozsahu 5 až 20 mm, nebo pro kužel 80 g/30° v rozsahu 10 až 30 mm. Kužel je vyráběn z nerezové oceli nebo z duralu. Hmotnost a vrcholový úhel kužele jsou udávány v jeho označení 60 g/60° a 80 g/30° . Výška kónické sekce kužele musí být větší rovna 20 mm, drsnost povrchu kužele musí být menší než 0,8 μm . Povolené odchylky hmotnosti kužele včetně dřívku do 1 % jmenovité hmotnosti, vrcholový úhel se může lišit maximálně o $\pm 0,2^\circ$ od jmenovitého. Na výsledky zkoušky má daleko větší vliv drsnost povrchu kužele oproti odchylkám úhlu kužele nebo tuposti vrcholu kužele.



1. polohovatelný rám, 2. plexisklo se stupnicí, 3. kužel, 4. zkušební vzorek, 5. míchací nádoba, 6. ukazatel

Obr. 2-2 Kuželový přístroj [9]

2. Míchací nádoby vyrobeny z oceli, porcelánu nebo plastu, válcového nebo polokulového tvaru o průměru větším než 55 mm a hloubce 30 mm, při použití kužele 60 g/60° , nebo hloubce 40 mm, pokud je použit kužel 80 g/30°.

3. Pravítko kovové dlouhé 100 mm, nebo srovnávací stěrka.

Příprava zkušební navážky:

Prosetí zkušebního vzorku na síť 0,5 mm, s případným využitím ochranného síta. Provádí se v přirozeném stavu vlhkosti. Musíme získat alespoň 600 g frakce 0/0,5 mm.

Stanovení meze tekutosti:

Zkušební navážku si rozdělíme na 3 stejné díly po 200 g a postupně vlhčíme, tak se aby penetrace nacházela v mezích uvedených v tabulce, tak získáme alespoň 3 hodnoty pro jeden vzorek kameniva. Připravenou zkušební směs přeneseme plochým nožem do suché čisté misky za snahy nepromíchat zkušební vzorek se vzduchem. Přebytek vzorku se musí stáhnout pravítkem, aby se vytvořil hladký rovný povrch. Misku umístíme pod kužel, tak aby jeho hrot směřoval do středu. Penetrační kužel aretovaný ve zdvižené pozici musí být následně spouštěn tak, že se kužel těsně dotýká povrchu zkušební vzorku. Kužel musí být uvolněn a ponechán ve spuštěné pozici po dobu $5 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$. Konečná pozice kužele se zaznamená s přesností 0,1 mm. Penetrace kužele se pak vypočítá jako rozdíl mezi počáteční a konečnou polohou dřívku kuželu a zaokrouhlen na 0,1 mm. Poté musí být kužel vytáhnout a jemně očištěn, tak aby nedošlo k jeho poškrábání. Z penetrační zóny kužele musí být odebrán vzorek pro zjištění vlhkosti podle CEN ISO/TS 17892-1. Při zvyšování vlhkosti vzorku se přidává destilovaná voda a stěrkou opatrně zamíchávat do zkušební vzorku. Jestliže v průběhu zkoušky je vzorek ponechán nějakou dobu v nečinnosti, pak musí být zabráněno jeho vysušování.

Vyjádření výsledků:

Vztah mezi vlhkostí (%) a penetrací kužele se vynáší v semilogaritmickém měřítku s vlhkostí na lineární ose jako souřadnicí a penetrací kužele v logaritmickém měřítku jako pořadnicí. V případě použití kužele 80 g/30° může mít graf lineární měřítko nejen pro vlhkost, ale i pro penetraci. Má se vykreslit nejlepší přímková náhrada spojnice vynesných bodů. Z grafu se odečte vlhkost, která odpovídá penetraci kužele 20 mm. [9]

PRAKTICKÁ ČÁST

3. PŮVOD VZORKŮ

3.1. LOM KOŠŤÁLOV

Lokalita: Liberecký kraj

Druh horniny: melafyr

Petrografický rozbor: celistvá hornina šedé až šedomodré barvy

Stáří horniny, geologický útvar: perm - karbon

Stavební užití: kamenivo pro betony, silniční stavební směsi stmelené i nestmelené, prolévané vrstvy vozovek, nátěry vozovek, emulzní kalové vrstvy, kolejové lože železničních tratí, vodohospodářské stavby, úpravy terénu, lomový stavební kámen

Technologické vybavení lomu:

Počet stupňů drcení: 3 (čelistový a kuželové drtiče)

Odhliňovač: ano

Míchací zařízení: ne

Bez úpravy praní kameniva

Nejčastěji vyráběné frakce:

Úzké frakce: 2/5 5/8 4/8 8/11 11/16 16/32 32/63

Široké frakce: 0/2 0/22 63/125

Roční produkce lomu: 350 tis. tun [10]



Obr. 3-1 Lom Košťálov [11]

3.2. LOM LHOTA RAPOTINA

Lokalita: Jihomoravský kraj

Druh horniny: křemenný diorit

Petrografický rozbor: hornina šedozelené barvy, místy vyrostlice draselného živce

Stáří horniny, geologický útvar: proterozoikum

Stavební užití: kamenivo pro betony, malty, silniční stavební směsi stmelené i nestmelené, prolévané vrstvy vozovek, nátěry vozovek, emulzní kalové směsi, zimní posyp vozovek, kolejové lože železničních tratí, základy budov, vodohospodářské stavby, úpravy terénu, lomový stavební kámen

Technologické vybavení lomu:

Počet stupňů drcení: 4 (čelistový a kuželové drtiče)

Odhliňovač: ano

Míchací zařízení: ano

Bez úpravy praní kameniva

Nejčastěji vyráběné frakce:

Úzké frakce: 2/4 4/8 8/11 11/16 16/22 32/63

Široké frakce: 0/2

Roční kapacita lomu: 400 tis. tun

Roční produkce lomu: 300 tis. tun [10]



Obr. 3-2 Lom Lhota Rapotina [12]

3.3. LOM PODHŮRA

Lokalita: Olomoucký kraj

Druh horniny: droba

Petrografický rozbor: hornina šedomodré barvy, zrnitostně se řadí mezi psamity, genezí patří k mořským sedimentům

Stáří horniny, geologický útvar: paleozoikum - karbon

Stavební užití: kamenivo pro betony, silniční stavební směsi stmelené i nestmelené, prolévané vrstvy vozovek, nátěry vozovek, emulzní kalové vrstvy, zimní posyp vozovek, úpravy terénu, lomový stavební kámen

Technologické vybavení lomu:

Počet stupňů drcení: 3 (čelistový a kuželové drtiče)

Odhliňovač: ano

Míchací zařízení: ne

Bez úpravy praní kameniva

Nejčastěji vyráběné frakce:

Úzké frakce: 4/8 8/11 8/16 16/32 32/63

Široké frakce: 0/4 4/22 4/16 22/63 0/22 0/32

Roční kapacita lomu: 430 tis. tun

Roční produkce lomu: 370 tis. tun [10]



Obr. 3-3 Lom Podhůra [13]

3.4. LOM VÍCENICE

Lokalita: kraj Vysočina

Druh horniny: rula

Petrografický rozbor: hornina drobně až středně zrnitá s přítomností biotitu, patří do formace pararul

Stáří horniny, geologický útvar: proterozoikum

Stavební užití: kamenivo pro betony, silniční stavební směsi stmelené i nestmelené, prolévané vrstvy vozovek, nátěry vozovek, emulzní kalové směsi, zimní posyp vozovek.

Technologické vybavení lomu:

Počet stupňů drcení: 3 (čelistový a kuželové drtiče)

Odhliňovač: ne

Míchací zařízení: ne

Bez úpravy praní kameniva

Nejčastěji vyráběné frakce:

Úzké frakce: 4/8 8/16 16/22 32/63

Široké frakce: 0/4

Roční produkce lomu: 125 tis. tun [10]



Obr. 3-4 Lom Vícenice [14]



Obr. 3-5 Poloha lomů v ČR

- 1 - LOM KOŠŤÁLOV
- 2 - LOM LHOTA RAPOTINA
- 3 - LOM PODHŮRA
- 4 - LOM VÍCENICE

4. LABORATORNÍ ZKOUŠKY

4.1. ZKUŠEBNÍ VZORKY

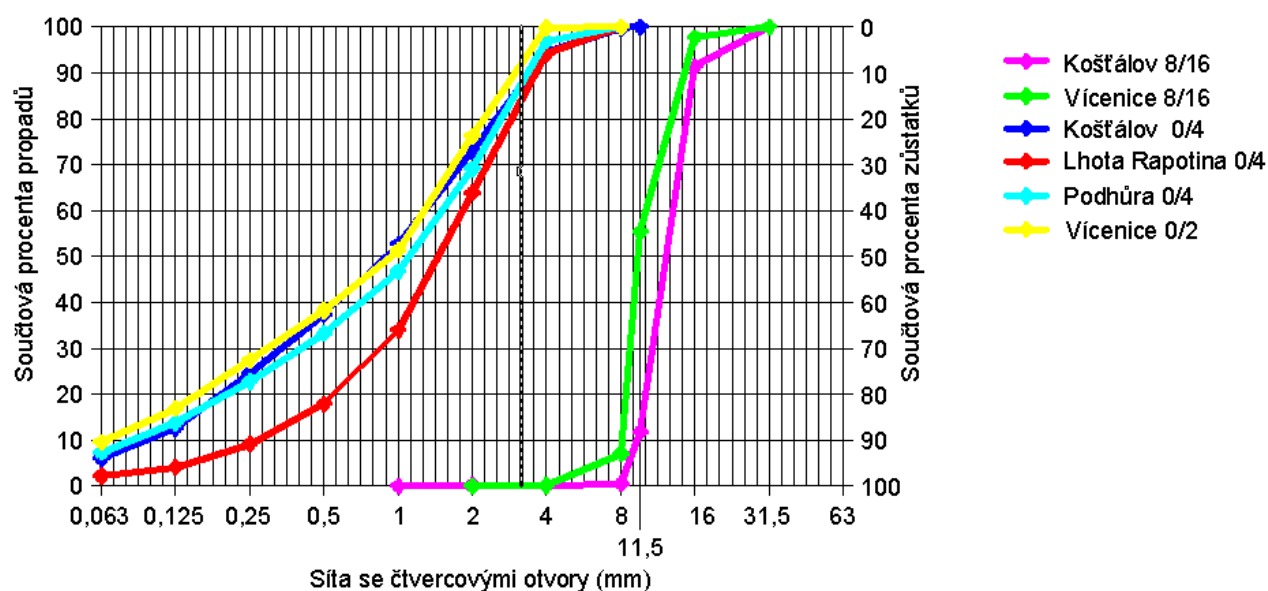
Tab. 4-1 Seznam vzorků

Číslo vzorku	Lokalita	Frakce
1	Košťálov	8/16
2	Vícenice	8/16
3	Košťálov	0/4
4	Lhota Rapotina	0/4
5	Podhůra	0/4
6	Vícenice	0/2

4.2. ZRNITOST

Zkouška byla provedena na všech šesti vzorcích kameniva. V průběhu zkoušky se nevyskytly žádné neočekávané problémy, které by mohly ovlivnit její výsledky.

Protokoly prosévací zkoušky jednotlivých vzorků jsou jako příloha P1 až P6. Pro přehlednost je zde uveden pouze souhrnný graf křivek zrnitosti všech vzorků a tabulka procentuálních podílů obsahu jemných částic a nadsítneho.



Graf 4-1 Souhrnný graf křivek zrnitosti všech vzorků

Z grafu 4-1 jsou patrné jednotlivé průběhy křivek zrnitosti.

Tab. 4-2 Procentuální podíly obsahu jemných částic a nadsítného

Vzorek	Frakce	Propad sítím 0,063 mm [%]	Nadsítné [%]
Košťálov	8/16	0,0	8,6
Vícenice	8/16	0,0	2,4
Košťálov	0/4	12,1	5,6
Lhota Rapotina	0/4	4,1	5,9
Podhůra	0/4	13,8	3,1
Vícenice	0/2	16,8	23,8

Pro posouzení vhodnosti kameniva byl sledován obsah jemných částic na zkušebních vzorcích frakce 0/2 a 0/4.

Norma ČSN EN 13043 uvádí, že v případě, kdy obsah jemných částic v drobném kamenivu nebo ve směsi drobného kameniva 0/D s $D \leq 8$ mm není větší než 3%, nepožaduje se další zkoušení. V případě kdy se obsah jemných částic pohybuje v rozmezí od 3 do 10 % hmotnosti, musí se obsah jemných nevhodných částic (např. bobtnavých jílu) ve frakci 0,125 mm stanovit jako hodnota methylenové modři MB_F.



Obr. 4-1 Prosévací přístroj se sestavou sítí

4.3. TVAROVÝ INDEX

Jelikož se zkouška tvarového indexu zrn provádí pouze u kameniva frakce, kde $d \geq 4$ mm a $D \leq 63$ mm byla provedena pouze na dvou vzorcích, konkrétně vzorku Vícenice 8/16 a Košťálov 8/16. Ani u této zkoušky se neobjevily neočekávané jevy, které by mohly narušit průběh zkoušky a její výsledky. Protokoly k této zkoušce jsou v přílohách pod označením P7 a P8, zde je uvedena pouze tabulka 4-3 s výslednými hodnotami.

Tab. 4-3 Hodnoty tvarového indexu

Vzorek	Tvarový index [%]
Košťálov 8/16	15
Vícenice 8/16	10

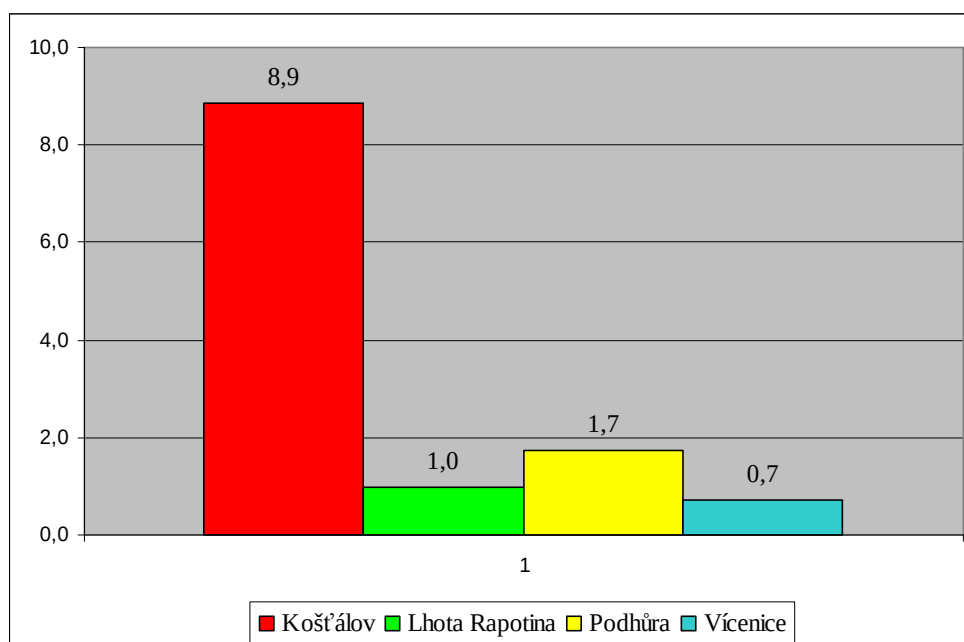


Obr. 4-2 Zkouška tvarového indexu pomocí posuvného dvoučelistového měřítka

4.4. ZKOUŠKA METHYLENOVOU MODŘÍ

Byla provedena na vzorcích drobného kameniva s frakcí 0/2 a 0/4.

Během zkoušky u vzorku Košťálov 0/2 byla očekávána dřívější pozitivní reakce vzorku na roztok modře. Ta nastala asi až po dvou hodinách přidávání roztoku, kdy už byl celkový objem modře na hodnotě 180 ml. Protokoly této zkoušky včetně názorných ukázek pozitivní a negativní reakce přímo ze zkoušených vzorků jsou v příloze pod označením P9 až P12. Zde je vložen pouze názorný graf výsledků této zkoušky a to graf 4-2.



Graf 4-2 Hodnoty methylenové modře

Jak vyplývá z výše uvedeného grafu, nejmenší hodnota methylenové modře byla zjištěna u vzorku Vícenice 0/2. Největší hodnota pak u již zmíněného vzorku Košťálov 0/2.



Obr. 4-3 Negativní vzorek



Obr. 4-4 Pozitivní vzorek

Na obr. 4-3 můžeme vidět negativní výsledek zkoušky, kde je jasně modře zbarvena pouze část kapky bez rozpíjení barviva. Na obr. 4-4 je již patrný světle modrý kroužek vytvořený kolem kapky, který nám identifikuje přítomnost nevázaného barviva.



Obr. 4-5 Počáteční mísení vzorku bez přidaného roztoku



Obr. 4-6 Mísení vzorku po přidání roztoku

4.5. STANOVENÍ MEZE TEKUTOSTI

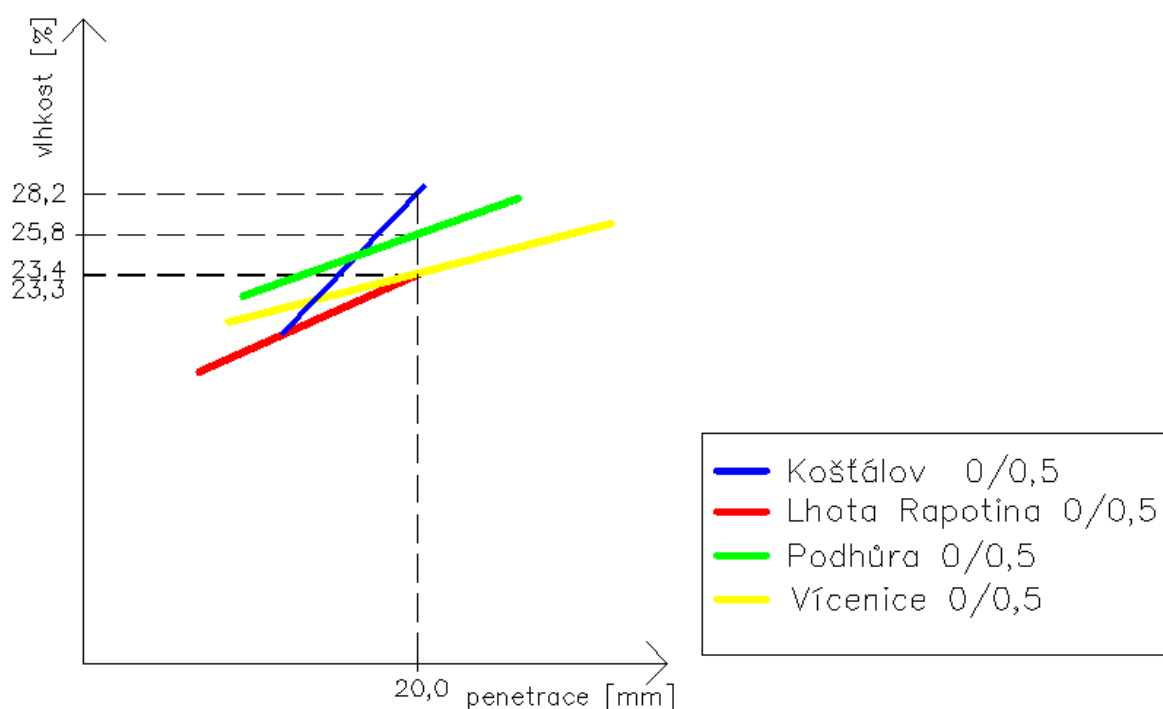
Zkouška byla provedena na čtyřech vzorcích směsi kameniva s frakcí 0/2 a 0/4 pro zjištění, zda vyhovuje požadavkům normy $w_L \leq 25\%$.

Pro zjištění penetrace do zkušební vzorku bylo použito zkušební zařízení s ocelovým kuželem, jehož parametry jsou 80 g/30°.

Stanovení vlhkosti na mezi tekutosti je při 20 mm penetrace.

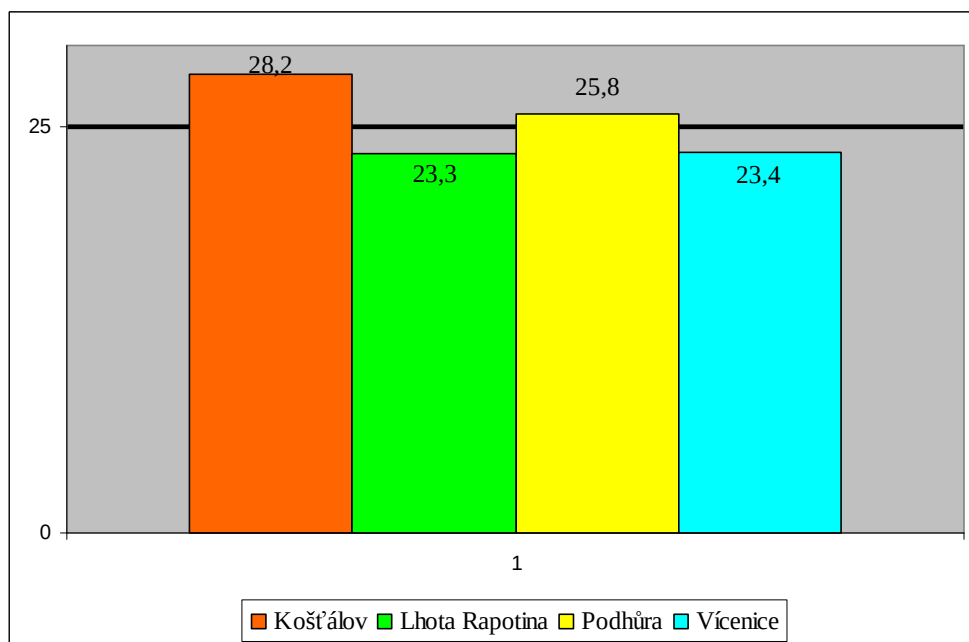
Výsledky této zkoušky jsou zaznamenány souhrnně v grafu 4-3 a grafu 4-4, kde je tučně zvýrazněna maximální možná přípustná hodnota vlhkosti na mezi tekutosti a to 25%.

Kompletní protokoly těchto zkoušek jsou jako přílohy P13 až P16.



Graf 4-3 Grafické znázornění hodnoty vlhkosti na mezi tekutosti v závislosti na předepsané penetraci

V průběhu zkoušky se vyskytl problém v nedostatečném množství kameniva ve skladu na ústavu pozemních komunikací, konkrétně se jedná o vzorek Košťálov. Z tohoto důvodu byly u zkoušky zjištěny pouze dvě hodnoty vlhkosti u tohoto vzorku.



Graf 4-4 Hodnoty vlhkosti na mezi tekutosti



Obr. 4-7 Kuželový přístroj



Obr. 4-8 Sestava zkušebních vzorků po vysušení v sušárně

4.6. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VZORKŮ

Zrnitost

Vzhledem k tomu, že při zrnitostním rozboru nebylo využito kontrolní síto o velikosti otvoru $1,4 D$ a jemu nejbližší kontrolní síto je o velikosti D , pak by nám pro tuto podmínku nevyhověl žádný ze zkušebních vzorků. Vzhledem k této skutečnosti není v mé bakalářské práci hodnocení podle tohoto parametru použito.

Všeobecné požadavky na zrnitost podle ČSN EN 13043 udává tabulka 4-4.

Tab. 4-4 Všeobecné požadavky na zrnitost dle ČSN EN 13043 [15]

Kamenivo	Velikost mm	Propad zrn v procentech hmotnosti					Kategorie G
		$2 D$	$1,4 D^a$	D^b	d	$d/2^a$	
Hrubé	$D > 2$	100	100	90 až 99	0 až 10	0 až 2	$G_{c90/10}$
		100	98 až 100	90 až 99	0 až 15	0 až 5	$G_{c90/15}$
		100	98 až 100	90 až 99	0 až 20	0 až 5	$G_{c90/20}$
		100	98 až 100	85 až 99 ^c	0 až 15	0 až 2	$G_{c85/15}$
		100	98 až 100	85 až 99 ^c	0 až 20	0 až 5	$G_{c85/20}$
		100	98 až 100	85 až 99 ^c	0 až 35	0 až 5	$G_{c85/35}$
Drobné	$D \leq 2$	100	–	85 až 99	–	–	G_{f85}
Směs kameniva	$D \leq 45$ a $d = 0$	100	98 až 100	90 až 99	–	–	G_{A90}
		100	98 až 100	85 až 99	–	–	G_{A85}

Tab. 4-5 Kategorie hrubého kameniva vzorků podle ČSN EN 13043

Kamenivo Hrubé	Propad zrn v procentech				Kategorie G
	2D	D	d	d/2	
Košťálov 8/16	100,0	91,4	0,5	0,2	$G_{c90/10}$
Vícenice 8/16	100,0	97,6	7,0	0,1	$G_{c90/10}$

Jak vyplývá z tabulky 4-5 oba vzorky hrubého kameniva jsou vhodné jako kamenivo do asfaltových směsí a povrchových vrstev pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch jako kamenivo kategorie Gc90/10.

Tab. 4-6 Kategorie směsi kameniva vzorků podle ČSN EN 13043

Kamenivo Směs	Propad zrn v procentech		Kategorie G
	2D	D	
Košťálov 0/4	99,8	94,4	-
Lhota Rapotina 0/4	100	94,1	G _A 90
Podhůra 0/4	100	96,9	G _A 90
Vícenice 0/2	99,8	76,2	-

Tabulka 4-6 nám ukazuje, že pouze dva vzorky ze směsi kameniva se ukazují jako vhodné podle ČSN EN 13043 v kategorii kameniva G_A90. Konkrétně se jedná o vzorky Lhota Rapotina 0/4 a Podhůra 0/4.

Všeobecné požadavky na zrnitost podle ČSN EN 13242 jsou uvedeny v tabulce 4-7.

Tab. 4-7 Všeobecné požadavky na zrnitost dle ČSN EN 13242 [16]

Kamenivo	Velikost mm	Propad zrn v procentech hmotnosti					Kategorie G
		2 D ^a	1,4 D ^{b,c}	D ^d	d ^{c,e}	d/2 ^{b,c}	
Hrubé	d ≥ 1	100	98 až 100	85 až 99	0 až 15	0 až 5	G _C 85-15
	a D > 2	100	98 až 100	80 až 99	0 až 20	0 až 5	G _C 80-20
Drobné	d = 0	100	98 až 100	85 až 99	–	–	G _F 85
	a D ≤ 6,3	100	98 až 100	80 až 99	–	–	G _F 80
Směs kameniva	d = 0 a D > 6,3	–	100	85 až 99	–	–	G _A 85
		100	98 až 100	80 až 99	–	–	G _A 80
		100	–	75 až 99	–	–	G _A 75

Tab. 4-8 Kategorie hrubého kameniva vzorků podle ČSN EN 13242

Kamenivo Hrubé	Propad zrn v procentech				Kategorie G
	2D	D	d	d/2	
Košťálov 8/16	100,0	91,4	0,5	0,2	Gc 85-15
Vícenice 8/16	100,0	97,6	7,0	0,1	Gc 85-15

Z tabulky 4-8 lze vyčíst, že oba vzorky hrubého kameniva jsou vhodné jako kamenivo pro nestmelené směsi i směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace, jako kamenivo kategorie Gc 85-15.

Tab. 4-9 Kategorie drobného kameniva vzorků podle ČSN EN 13242

Kamenivo Drobné	Propad zrn v procentech		Kategorie G
	2D	D	
Košťálov 0/4	99,8	94,4	-
Lhota Rapotina 0/4	100	94,1	G _F 85
Podhůra 0/4	100	96,9	G _F 85
Vícenice 0/2	99,8	76,2	-

Tabulka 4-9 ukazuje, že opět pouze dva vzorky drobného kameniva jsou vhodné dle ČSN EN 13242 v kategorii kameniva G_F 85. Konkrétně se jedná o vzorky Lhota Rapotina 0/4 a Podhůra 0/4.

Tab. 4-10 Obsah jemných částic vzorků

Vzorek	Obsah jemných částic [%]
Košťálov 0/4	12,1
Lhota Rapotina 0/4	4,1
Podhůra 0/4	13,8
Vícenice 0/2	16,8

Požadavky normy jsou následující:

- při obsahu jemných částic překračujících 3 % hmotnosti je nutno ověření škodlivosti těchto částic zkouškou methylenové modři
- při obsahu jemných částic do 3 % hmotnosti není třeba další šetření a lze toto kamenivo zařadit do kategorie f₃

Tvarový index

Požadované maximální hodnoty tvarového indexu udává tabulka 4-11 a 4-12.

Tab. 4-11 Kategorie pro mezní hodnoty tvarového indexu podle ČSN EN 13043[15]

Tvarový index	Kategorie SI
≤ 15	SI ₁₅
≤ 20	SI ₂₀
≤ 25	SI ₂₅
≤ 30	SI ₃₀
≤ 35	SI ₃₅
≤ 50	SI ₅₀
> 50	SI _{deklarovaná}
bez požadavků	SI _{NR}

Tab. 4-12 Kategorie pro mezní hodnoty tvarového indexu podle ČSN EN 13242 [16]

Tvarový index	Kategorie <i>SI</i>
≤ 20	<i>SI</i> ₂₀
≤ 40	<i>SI</i> ₄₀
≤ 55	<i>SI</i> ₅₅
> 55	<i>SI</i> _{Deklarovaná}
bez požadavku	<i>SI</i> _{NR}

Tab. 4-13 Kategorie tvarového indexu vzorků

Vzorek	Tvarový index [%]	Kategorie ČSN EN 13043	Kategorie ČSN EN 13242
Košťálov 8/16	15	SI ₁₅	SI ₂₀
Vícenice 8/16	10	SI ₁₅	SI ₂₀

S ohledem na tabulku lze konstatovat, že oba zkoušené vzorky hrubého kameniva spadají do kategorie SI₁₅ podle ČSN EN 13043 a kategorie SI₂₀ podle ČSN EN 13242.

Z katalogových listů bylo pro vzorek Košťálov 8/16 zjištěno, že deklarovaná hodnota tvarového indexu SI = 22,9 %, tento údaj pochází z roku 1989, a přiřazoval by tak kamenivo do kategorií s horším tvarovým indexem. Hodnota zjištěná v praktické části této bakalářské práce se liší téměř o 8 %. Tento velký rozdíl by se dal přisoudit například změně používané technologie drcení nebo změně struktury horniny, vzhledem k tomu, že měření proběhlo před více jak 20 lety.

Oproti tomu rozdíl ve srovnání vzorku Vícenice 8/16, kde je katalogovými listy deklarovaná hodnota tvarového indexu SI = 11,0 % ze zkoušení, které proběhlo roku 1996, lze konstatovat, že odchylka rovna jednomu procentu od mnou změřené hodnoty je akceptovatelná a tudíž o zařazení do výše uvedených kategorií nemůže být pochyb

Hodnota methylenové modře

Tab. 4-14 Mezní hodnoty methylenové modři [15]

Třída	A	B,C,D	E	F
Hodnota MB _F g/kg	– ^a	≤ 10	> 10	bez požadavků
^a Bez zkušebních požadavků.				

Tab. 4-15 Hodnoty methylenové modři vzorků

Vzorek	MB [g/kg]
Košťálov 0/2	8,9
Lhota Rapotina 0/2	1,0
Podhůra 0/2	1,7
Vícenice 0/2	0,7

Z tabulky 4-15 je možné vyčíst, že všechny zkoušené vzorky mají hodnotu MB < 10, lze je tedy zařadit do třídy kameniva B, C, D a lze je tedy použít do běžných asfaltových směsí.

Nejmenší hodnotu methylenové modři má vzorek Vícenice 0/2 MB = 0,7 g/kg.

Stanovení meze tekutosti

Hodnotí se podle ČSN EN 13285 Nestmelené směsi – Specifikace, kde je udávána mezní hodnota vlhkosti na mezi tekutosti $w_L \leq 25 \%$.

Z tabulky 4-16 je patrné, že tuto podmínku splňují a tím pádem vyhovují pouze dva vzorky ze čtyř a to konkrétně Lhota Rapotina 0/0,5 a Vícenice 0/0,5. Zbylé dva vzorky překračují stanovenou mez.

Tab. 4-16 Hodnoty vlhkosti na mezi tekutosti vzorků

Vzorek	w_L [%]
Košťálov 0/0,5	28,2
Lhota Rapotina 0/0,5	23,3
Podhůra 0/0,5	25,8
Vícenice 0/0,5	23,4

Srovnání posouzení vzorků s ohledem na hodnotu MB a w_L

Zkoušením vzorků se prokázalo, že hodnocení zkouškou methylenové modře lze označit jako zkoušku s menšími nároky na obsah jemných částic v kamenivu, z důvodu toho, že při srovnání s normou se ukázaly jako vhodné všechny vzorky drobného kameniva.

Oproti tomu posouzení na základě vlhkosti na mezi tekutosti prokázalo, že se jako vhodné kamenivo při použití do vrstev pozemních komunikací dají označit pouze dva vzorky ze čtyř.

ZÁVĚR

V práci jako takové jsou shromážděny informace a postupy z různých zdrojů pro zjištění vhodnosti použití kameniva do asfaltových směsí a povrchových vrstev pozemních komunikací a také pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace. Jsou zde uvedeny jak podrobné teoretické postupy vybraných nutných zkoušek pro posouzení vhodnosti použití kameniva, tak jejich praktické provedení, včetně vypracování vzorových protokolů zkoušek dle příslušných norem a jejich vyhodnocení. Práce tak může do budoucna sloužit při posuzování vhodnosti kameniva jako podklad, kde jsou podstatné informace z několika zdrojů uvedeny v jedné publikaci.

Po prostudování zahraniční literatury a odpovídajících zpráv v odborných časopisech lze konstatovat, že i v dalších členských zemích Evropské Unie je snaha o sjednocení a přijetí aktuálních platných evropských norem pro posuzování kameniva stejně tak, jako je tomu u nás. Tyto snahy jsou dle mého názoru krokem správným směrem, který by měl do budoucna přispět k jednotnému posuzování kameniva a k jeho lepší kontrole jakosti v celé Evropě.

Ze vzorků směsí drobného kameniva byly jako vhodné pro zařazení do příslušných kategorií dle uvedených norem shledány pouze dva vzorky ze čtyř. Lhota Rapotina 0/4 a Podhůra 0/4. Zrnitostní křivka zkušební vzorku Podhůra 0/4 dosahuje plynulejšího průběhu, ale vyššího podílu jemných částic.

Zkušební vzorek Lhota Rapotina 0/4 vykazuje nejmenší procentuální hodnotu obsahu jemných částic, avšak jeho zrnitostní křivka nedosahuje požadované plynulosti. V tomto vzorku je zastoupen větší procentuální podíl hrubších zrn.

Vzorek Lhota Rapotina 0/4 byl shledán jako vhodnější pro použití do asfaltových směsí SMA 8 a PA 8 z důvodu přerušované křivky zrnitosti a nižšího podílu jemných částic, které by neměly ovlivnit důkladné obalení kameniva asfaltem.

Vzorek Podhůra 0/4 bych z důvodu plynulejšího křivky zrnitosti a většího podílu jemných částic navrhovala spíše pro použití do podkladních vrstev pozemních komunikací nestmelených i stmelených hydraulickými pojivy a do asfaltových směsí AC.

Oba vzorky hrubého kameniva byly vyhodnoceny jako vhodné pro použití do konstrukce pozemních komunikací podle obou posuzovaných norem. Ve vzorku Vícenice 8/16 je rovnoměrnější zastoupení střední velikosti zrn a má také příznivější tvarový index.

Zkušební vzorek Vícenice 8/16 byl shledán jako vhodnější pro použití do směsí a konstrukčních vrstev pozemních komunikací.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-2 Nakládka rozvalu na dempr [1]	12
Obr. 1-1 Vrtání záhlavních vrtů [1].....	12
Obr. 1-3 Řez jednovzpěrným čelistovým drtičem	13
(Se svolením společnosti PSP Engineering, a.s.) [1]	13
Obr. 1-4 Řez kuželovým drtičem (Se svolením společnosti PSP Engineering, a.s.) [1].....	14
Obr. 1-5 Řez odrazovým drtičem	14
(Se svolením společnosti PSP Engineering, a.s.) [1]	14
Obr. 2-1 Příklad dvoučelistového posuvného měřítka [7].....	25
Obr. 2-2 Kuželový přístroj [9].....	30
Obr. 3-1 Lom Košťálov [11]	32
Obr. 3-2 Lom Lhota Rapotina [12]	33
Obr. 3-3 Lom Podhůra [13].....	34
Obr. 3-4 Lom Vícenice [14]	35
Obr. 3-5 Poloha lomů v ČR.....	36
Obr. 4-1 Prosévací přístroj se sestavou síť	38
Obr. 4-2 Zkouška tvarového indexu pomocí posuvného dvoučelistového měřítka	39
Obr. 4-3 Negativní vzorek.....	40
Obr. 4-4 Pozitivní vzorek	40
Obr. 4-5 Počáteční mísení vzorku bez přidaného roztoku	41
Obr. 4-6 Mísení vzorku po přidání roztoku.....	41
Obr. 4-7 Kuželový přístroj	43
Obr. 4-8 Sestava zkušebních vzorků po vysušení v sušárně	44

SEZNAM GRAFŮ

Graf 4-1 Souhrnný graf křivek zrnitosti všech vzorků.....	37
Graf 4-2 Hodnoty methylenové modře	40
Graf 4-3 Grafické znázornění hodnoty vlhkosti na mezi tekutosti v závislosti na předepsané penetraci	42
Graf 4-4 Hodnoty vlhkosti na mezi tekutosti	43

SEZNAM VZORCŮ

Vzorec 2-1 Výpočet maximálního množství materiálu na sítu.....	24
Vzorec 2-2 Procento propadu sítem 63 μm	24
Vzorec 2-3 Výpočet tvarového indexu.....	26
Vzorec 2-4 Výpočet hodnoty methylenové modře.....	29

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Porovnání požadavků na kamenivo pro jednotlivé druhy asfaltových směsí.....	17
Tab. 1-2 Teorie ztráty přilnavosti pojiva ke kamenivu [4]	19
Tab. 2-1 Nejmenší zkušební navážky s ohledem na největší velikost zrna kameniva D, pro zrnitostní rozbor [6].....	23
Tab. 2-2 Nejmenší zkušební navážky s ohledem na největší velikost zrna kameniva D, pro stanovení tvarového indexu [7]	26
Tab. 4-1 Seznam vzorků.....	37
Tab. 4-2 Procentuální podíly obsahu jemných částic a nadsítného.....	38
Tab. 4-3 Hodnoty tvarového indexu	39
Tab. 4-4 Všeobecné požadavky na zrnitost dle ČSN EN 13043 [15].....	44
Tab. 4-5 Kategorie hrubého kameniva vzorků podle ČSN EN 13043.....	44
Tab. 4-6 Kategorie směsi kameniva vzorků podle ČSN EN 13043.....	45
Tab. 4-7 Všeobecné požadavky na zrnitost dle ČSN EN 13242 [16].....	45
Tab. 4-8 Kategorie hrubého kameniva vzorků podle ČSN EN 13242.....	45
Tab. 4-9 Kategorie drobného kameniva vzorků podle ČSN EN 13242.....	46
Tab. 4-10 Obsah jemných částic vzorků	46
Tab. 4-11 Kategorie pro mezní hodnoty tvarového indexu podle ČSN EN 13043[15].....	46
Tab. 4-12 Kategorie pro mezní hodnoty tvarového indexu podle ČSN EN 13242 [16].....	47
Tab. 4-13 Kategorie tvarového indexu vzorků.....	47
Tab. 4-14 Mezní hodnoty methylenové modři [15]	47
Tab. 4-15 Hodnoty methylenové modři vzorků	48
Tab. 4-16 Hodnoty vlhkosti na mezi tekutosti vzorků	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>Zkratka</i>		<i>Popis</i>
AC		Asfaltový beton
PA		Asfaltový koberec drenážní
SMA		Asfaltový koberec mastixový
<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
A	[mm ²]	Plocha síta
D	[mm]	Velikost zrna kameniva (největší)
D _i , d _i	[mm]	Velikost zrna kameniva
E	[mm]	Šířka kameniva
G _A G _C , G _F	[mm]	Označení kategorie kameniva
L	[mm]	Délka kameniva
MB	[g/Kg]	Hodnota methylenové modři ve frakci 0/2
MB _F	[g/Kg]	Hodnota methylenové modři ve frakci 0/0,125
M ₁	[Kg]	Hmotnost (vysušené) zkušební navážky
M ₂	[Kg,g]	Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 63 μm
P	[Kg,g]	Hmotnost propadu jemných částic na dně
R _i	[Kg,g]	Dílčí hmotnost na jednotlivých sítích i
SE	[%]	Hodnota ekvivalentu písku
SI	[-]	Tvarový index
V ₁	[ml]	Celkový objem vstříknutého barviva
d	[mm]	Velikost otvoru síta
f	[%]	Procento jemných částic
w _L	[%]	Vlhkosti na mezi tekutosti

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VŠB-TU OSTRAVA, *Kamenivo* [online]. [cit. 2012-3-15]. Dostupné z <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html>
- [2] DATASTAVPROFI, *Kámen a kamenivo pro stavebnictví* [online]. [cit. 2012-3-17]. Dostupné z <http://www.datastavprofi.cz/index.php/odborne-texty/1-clanky/100-kamen-a-kamenivo-pro-stavebnictvi>
- [3] CIDEAS, *Vliv dopravního zatížení a odladitelnosti kameniva na odolnost proti smyku* [online]. [cit. 2012-3-17]. Dostupné z http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/5tlv/TL08CZ_2412-5.pdf
- [4] SILNICE MOSTY 4/2008, str.36, 37. *Zdokonalení zkoušky stanovení afinity mezi pojivem a kamenivem (Rolling Bottle tests) pomocí digitálních snímků a výpočetního programu*
- [5] SILNICE MOSTY 1/2008, str.39, 40. *Přilnavost asfaltového pojiva ke kamenivu – část 2: Technické předpisy*
- [6] ČSN EN 933 – 1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Praha: ÚNMZ, 1998
- [7] ČSN EN 933 – 4. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index*. Praha: ÚNMZ, 2008
- [8] ČSN EN 933 – 9. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří*. Praha: ÚNMZ, 1998
- [9] ČSN CEN ISO/TS 17892-12. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenční mezí*. ISO, 2004
- [10] KATALOG KAMENIVA PRO ČESKOU REPUBLIKU
- [11] EUROVIA KAMENOLOMY, *Provozovny* [online]. [cit. 2012-3-20]. Dostupné z http://www.euroviakamenolomy.cz/provozovny_detail.aspx?strediska_id=1540#x
- [12] MINERÁL ČESKO, *Provozovny - lomy* [online]. [cit. 2012-3-20]. Dostupné z http://www.mineral-cesko.com/cz/provozovny-lomy/morava-jih/contactid_19/kamenolom-lhota-rapotina.aspx
- [13] MINERÁL ČESKO, *Provozovny - lomy* [online]. [cit. 2012-3-20]. Dostupné z http://www.mineral-cesko.com/cz/provozovny-lomy/morava-stred/contactid_13/kamenolom-podhura.aspx
- [14] DĚDICTVÍ VYSOČINY, *Příroda* [online]. [cit. 2012-3-20]. Dostupné z http://www.dedictvivysociny.cz/priroda/prirodni_zajimavosti_a_unikaty-21/?id=1620

- [15] ČSN EN 13043. *Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*. Praha: ÚNMZ, 2008
- [16] ČSN EN 13242 *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*. Praha: ÚNMZ, 2008

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1	Záznam o zkoušce pro stanovení zrnitosti Košťálov 8/16
Příloha P2	Záznam o zkoušce pro stanovení zrnitosti Vícenice 8/16
Příloha P3	Záznam o zkoušce pro stanovení zrnitosti Košťálov 0/4
Příloha P4	Záznam o zkoušce pro stanovení zrnitosti Lhota Rapotina 0/4
Příloha P5	Záznam o zkoušce pro stanovení zrnitosti Podhůra 0/4
Příloha P6	Záznam o zkoušce pro stanovení zrnitosti Vícenice 0/2
Příloha P7	Záznam o zkoušce pro stanovení tvarového indexu hrubého kameniva Košťálov 8/16
Příloha P8	Záznam o zkoušce pro stanovení tvarového indexu hrubého kameniva Vícenice 8/16
Příloha P9	Záznam o zkoušce pro stanovení hodnoty methylenové modře Košťálov 0/2
Příloha P10	Záznam o zkoušce pro stanovení hodnoty methylenové modře Lhota Rapotina 0/2
Příloha P11	Záznam o zkoušce pro stanovení hodnoty methylenové modře Podhůra 0/2
Příloha P12	Záznam o zkoušce pro stanovení hodnoty methylenové modře Vícenice 0/2
Příloha P13	Záznam o zkoušce pro stanovení vlhkosti na mezi tekutosti Košťálov 0/0,5
Příloha P14	Záznam o zkoušce pro stanovení vlhkosti na mezi tekutosti Lhota Rapotina 0/0,5
Příloha P15	Záznam o zkoušce pro stanovení vlhkosti na mezi tekutosti Podhůra 0/0,5
Příloha P16	Záznam o zkoušce pro stanovení vlhkosti na mezi tekutosti Vícenice 0/0,5