



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ; FAKULTA STAVEBNÍ; ÚSTAV
POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY; FACULTY OF CIVIL ENGINEERING; INSTITUTE OF ROAD
STRUCTURES

**VYUŽITÍ RECYKLÁTŮ A VEDLEJŠÍCH ENERGETICKÝCH
PRODUKTŮ DO VOZOVEK POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

THE USAGE OF WASTE MATERIALS TO PAVEMENT IN CZECH REPUBLIC

HABILITAČNÍ PRÁCE

THE HABILITATION

ING. DUŠAN STEHLÍK

DUBEN 2017

Abstrakt

Habilitationální práce sleduje možnosti využití druhotných surovin a vedlejších energetických odpadů (VEP) do vrstev vozovek pozemních komunikací ve vztahu k celkové funkčnosti a životnosti vozovky a jednotlivým možnostem ekonomického a ekologického zhodnocení těchto materiálů. Je provedena analýza problematiky související s posuzováním vlastností těchto materiálů v České republice. Dále jsou zpracovány modely použití vybraných recyklátů, ze kterých je možno bez velkých úprav provádět technologické nebo konstrukční vrstvy vozovek. Cílem této habilitační práce je vytvoření jednotného souhrnu vlastností a charakteristika metodiky zhodnocení popsaných recyklátů do vozovek pozemních komunikací v České republice.

Abstract

This thesis is focused on possibilities of waste materials usage and secondary energetic wastes (VEP) for flexible pavements in connection with whole life cycle of the pavement and certain possibilities of their economic and ecological assessment. There were carried out analysis of the topics connected with judging of flexible pavements this materials and failures related to non-homogenous production in the Czech Republic as well as abroad. In this thesis there were introduced model practices of the construction works which are related to recycling often used secondary materials. Within the possibilities of the author there were compared characteristics of the waste building materials in selected region with the generally used requirements according to standard system in the Czech Republic. The goal of this thesis is to create real knowledge for technical possibilities of usage to subgrade of roads or some layers of pavements in the Czech Republic.

Klíčová slova

druhotné suroviny; recykláty ze stavební výroby; vedlejší energetické produkty; pozemní komunikace; vozovka; konstrukce vozovky; popílký; R-materiál; betonový recyklát; směsný recyklát; škvára; struska

Keywords

secondary materials; waste building materials; secondary energetic products; road; pavement; road structure, fly-ashes; asphalt recycled material; concrete recycled material; concrete and brick recycled material; bottom ash, slag

Místo uložení práce

Ústav pozemních komunikací, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně

Bibliografická citace

STEHLÍK, D. *Využití recyklátů a vedlejších energetických produktů do vozovek pozemních komunikací v ČR*. Brno: Vysoké učení technické, Ústav pozemních komunikací, 2017. 140 s.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená habilitační práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 24. dubna 2017

.....

Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svým nejbližším za trpělivost a podporu, kterou se mnou měli, při zpracování habilitační práce.

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 8 |
| 1.1 | POJMY A DEFINICE | 9 |
| 2 | RECYKLOVANÉ STAVEBNÍ MATERIÁLY V KOMUNIKACÍCH | 10 |
| 2.1 | DRUHY RECYKLOVANÝCH MATERIÁLŮ | 10 |
| 3 | KRYTOVÉ VRSTVY VOZOVEK | 13 |
| 3.1 | ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI S NÁVRHEM ASFALTOVÝCH SMĚSÍ Z BETONOVÉHO RECYKLÁTU | 13 |
| 3.1.1 | <i>Výzkum CVVL, STU Bratislava, Slovenská republika</i> | 13 |
| 3.1.2 | <i>Výzkum CEE, MTU Houghton, stát Michigan, USA</i> | 15 |
| 3.1.3 | <i>Výzkum VicRoads, Australia a School of Civil & Chemical Engineering, RMIT University, Melbourne, Austrálie</i> | 16 |
| 3.2 | METODIKY PROVÁDĚNÍ LABORATORNÍCH A FUNKČNÍCH ZKOUŠEK V ČR17 | |
| 3.2.1 | <i>Zkoušky kameniva</i> | 18 |
| 3.2.2 | <i>Shrnutí výsledků zkoušek kameniva z recyklovaného betonu do asfaltové směsi</i> | 20 |
| 3.3 | ZKOUŠKY ASFALTOVÝCH SMĚSÍ | 20 |
| 3.3.1 | <i>Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu ACO 8 CH, 50/70, 40 mm, ČSN EN 13108-1</i> | 20 |
| 3.3.2 | <i>Asfaltový beton - ložní vrstva ACL 16, 50/70, 50 mm, ČSN EN 13108-1</i> | 23 |
| 3.4 | SHRUTÍ POZNATKŮ ZE ZKOUŠENÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S BETONOVÝM RECYKLÁTEM A VYUŽITÍ DO KRYTŮ VOZOVEK | 26 |
| 4 | STMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY Z RECYKLÁTŮ | 26 |
| 4.1 | SMĚSNÝ STAVEBNÍ RECYKLÁT DO PODKLADNÍCH VRSTEV | 26 |
| 4.2 | SMĚSNÝ STAVEBNÍ RECYKLÁT DO PODLOŽÍ VOZOVKY | 33 |
| 4.3 | BETONOVÝ RECYKLÁT PRO PODKLADNÍ VRSTVY | 37 |
| 4.3.1 | <i>Betonový recyklát pro nestmelené směsi</i> | 38 |
| 4.3.2 | <i>Betonový recyklát pro stmelené směsi</i> | 39 |
| 5 | STUDENÉ ASFALTOVÉ SMĚSI S R-MATERIÁLEM | 40 |
| 6 | POPÍLKY JAKO POJIVO NEVHODNÝCH ZEMIN PODLOŽÍ VOZOVEK | 51 |
| 6.1 | METODY ZKOUŠENÍ VLAST. UPRAVENÉ JEMNOZRNÉ ZEMINY VÁPNEM A POPÍLKY | 54 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| A. | <i>Stanovení zhutnitelnosti upravených zemin pro podloží vozovky</i> | 54 |
| B. | <i>Stanovení okamžitého indexu únosnosti (IBI) a kalifornského poměru únosnosti CBR</i> | 54 |
| C. | <i>Stanovení namrzavosti upravených zemin vápnem a popílky</i> | 55 |
| D. | <i>Stanovení modulu pružnosti z cyklické triaxiální zkoušky</i> | 56 |
| 6.2 | ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A POSOUZENÍ NAMRZAVOSTI UPRAVENÝCH ZEMIN | 56 |
| 7 | SPALOVENSKÁ ŠKVÁRA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ | 58 |
| | <i>Zhutnitelnost a poměr únosnosti</i> | 64 |
| 8 | POUŽITÁ LITERATURA | 69 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 84 |
| 10 | SEZNAM TABULEK | 87 |
| 11 | SEZNAM PŘÍLOH | 88 |

*Příloha 1 - TP 210 Užití stavebního demoličního materiálu
do pozemních komunikací*

Příloha 2 - TP 138 Užití struskového kameniva do pozemních komunikací

1 ÚVOD

V silničním stavitelství se recyklací rozumí technologický proces, kterým se získává materiál dříve zabudovaný ve stavební konstrukci za účelem jeho opětovného použití ve stavební konstrukci nové nebo opravené. Moderním způsobem lze tuto recyklaci ve vozovce provádět na místě pomocí frézy nebo v mísícím centru za použití dodávaného recyklovaného materiálu. Recyklace stavebních materiálů je jedním z důležitých nástrojů pro zachování udržitelného rozvoje a možným kompromisem mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí. Při správném způsobu a místa použití recyklovaných stavebních materiálů vzniklých z odpadů nebo vedlejších výrobních produktů, jsou většinou srovnatelné kvality jako v současnosti používané standardní přírodní materiály. Tento fakt podporují i revidované normy na použití kameniv a stavebních směsí např. ČSN EN 13242+A1 a ČSN EN 13285. Nedostatečná informovanost se v mnoha zemích Evropy považuje za hlavní bariéru pro uplatnění recyklačních technologií v pozemních komunikacích. Recyklační technologie v ČR donedávna neměly velkou oporu. Staré technologické předpisy, technické podmínky (TP) týkající se recyklačních technologií, byly velmi komplikované a nepřehledné, proto v roce 2009 a 2010 proběhla revize na základě nové koncepce, která měla následující cíle:

- Zásadním způsobem redukovat počet technických podmínek (TP);
- Revidovat stávající TP s maximálním důrazem na stručnost a přehlednost;
- Omezovat zbytečné pojmy jako zdroj častých uměle vytvořených problémů;
- Technologickým recyklace dát novou identitu založenou na vlastnostech recyklovaných materiálů;
- Eliminovat rozdíly mezi standardními a recyklovanými technologiemi.

Bylo tedy rozhodnuto o zpracování tří nových předpisů:

- TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena
- TP 209 Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka
- TP 210 Užití recyklovaných stavebně demoličních materiálů do pozemních komunikací

Uvedené metodiky pro technologické zpracování recyklátů do vozovek pozemních komunikací vychází z poznatků výzkumů provedených v letech 1998 až 2015 na ústavu pozemních komunikací, fakulty stavební.

Reálné zhodnocení využití některých recyklátů a VEP do vozovek pozemních komunikací v České republice je třeba jednak z pohledu hodnocení jejich kvality, ale také z pohledu porovnání s běžně používanými přírodními stavebními materiály, které v praxi často rozhoduje při volbě používaných staviv a technologických postupů a to bylo cílem dlouhodobé výzkumné práce.

1.1 Pojmy a definice

Pozemní komunikace je dopravní cesta určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci, včetně pevných zařízení nutných pro zajištění tohoto užití a jeho bezpečnosti. Pozemní komunikace se dělí na tyto kategorie: dálnice, silnice, místní komunikace, účelová komunikace [1].

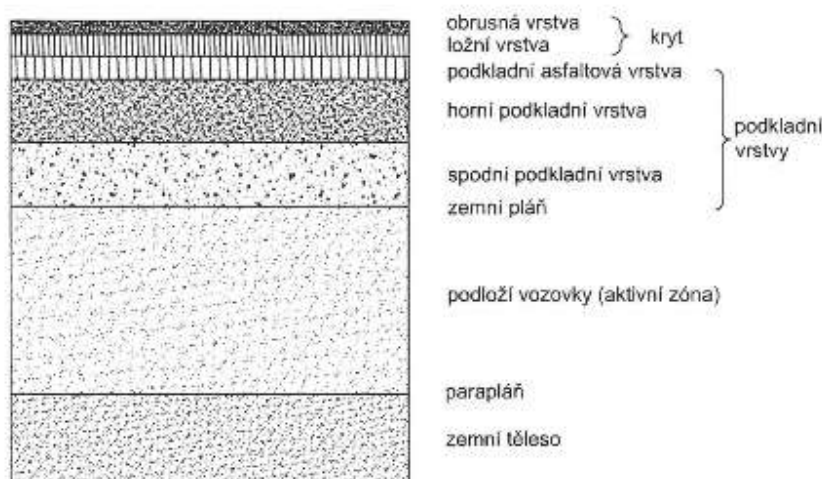
Vozovka je zpevněná část pozemní komunikace určená pro poježdění vozidel [1].

Netuhá vozovka je vozovka s asfaltovým krytem na podkladní vrstvě ze stmelených popřípadě nestmelených materiálů [1].

Obrusná vrstva je horní konstrukční vrstva vozovky, která je v kontaktu s dopravou [1]

Ložní vrstva je konstrukční vrstva vozovky mezi obrusnou a podkladní vrstvou. [1]

Podkladní vrstva tvoří hlavní konstrukční prvek vozovky; podkladní vrstva může být položena v jedné nebo více vrstvách, označovaných jako „horní“ podkladní vrstva, „spodní“ podkladní vrstva.[1]



Obrázek 1 Schéma řezu konstrukcí vozovky s jednotlivými konstrukčními vrstvami podle platných předpisů ČR

2 RECYKLOVANÉ STAVEBNÍ MATERIÁLY V POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

Recyklaci stavebních materiálů se v minulosti nevěnovala téměř žádná pozornost, což bylo způsobeno nejen vládnoucím režimem, ale i nízkými cenami za uložení stavebních sutí z demolic na skládky. Až v 80. letech dvacátého století se začal zvětšovat tlak na zpracování stavebního odpadu.

K největšímu rozvoji recyklace došlo v 90. letech, kdy se stavební demoliční odpad definoval jako pojem a rozdělil se do jednotlivých částí podle původního materiálu, kterým je např. beton, zdivo, vozovky a rozsáhlé spektrum zemin. Bohužel technickému a technologickému rozvoji recyklace nestačil legislativní vývoj příslušných předpisů. Z toho důvodu docházelo, a v současnosti ještě dochází, k problémům s vhodným použitím daného typu recyklátu do silničních konstrukcí.

Správnou recyklací (podle platných předpisů, např. TP210 viz příloha 1) vzniká výrobek (recyklát), který je za určitých podmínek, stejně hodnotný jako přírodní kamenivo a využitelný do zemního tělesa, podloží a konstrukčních vrstev vozovky. Důvody, proč nejsou recykláty dosud využívány stejně tak jako přírodní kamenivo, jsou zejména špatná informovanost odborné veřejnosti o možnostech těchto materiálů a nevhodný způsob provádění technologií s použitím recyklátů. Tím, že se ve stavebnictví bude recyklace správně a efektivně aplikovat, se dosáhne nejen snížení cen materiálu, ale zároveň se ochrání krajina a životní prostředí, které zůstanou zachovány i pro další generace.

2.1 Druhy recyklovaných materiálů

Ve smyslu vyhlášky č.294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu ve znění vyhlášky č. 61/2010 Sb., § 2, písmeno a) je stavební a demoliční odpad (dále jen SDO) považován za inertní odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám [2]. Pokud se tento SDO upraví ve speciálních recyklačních linkách za přesně stanovených podmínek třídění a drcení, pak vznikne recyklovaný stavební materiál (dále RSM), který se dále člení na:

Betonový recyklát - patří mezi nejrozšířenější recyklovaný materiál a má zároveň nejširší využití ve vozovkách, zejména díky svým fyzikálně-mechanickým vlastnostem, které se podobají přírodnímu kamenivu. Recyklační směs získaná drcením a tříděním betonu musí obsahovat min. 90% betonu, max. 6% směsi pálených zdících prvků a přírodního kamene, max. 1% skla a max. 3% ostatních cizorodých částic. Betonový recyklát se podle granulometrického složení dělí na jemný (frakce do 4 mm) a hrubý (frakce nad 4 mm) recyklát. Využívá se např. v podkladních vrstvách vozovek nestmelených a stmelených cementem, ochranných vrstvách silničních komunikací a pražcového podloží (jako mechanicky zpevněná zemina) (viz kap. Závěr). Jako další vhodné a ekonomicky velmi zajímavé využití betonového recyklátu je do asfaltových směsí pro výstavbu a opravy asfaltových vozovek pro nízká dopravní zatížení (místní, účelové komunikace, cyklistické stezky, apod.) za předpokladu dodržení receptur a pracovních postupů předepsaných příslušnými normami, jako např. ČSN 73 6121 - "*Hutněné asfaltové vrstvy*", kde je nutno dodržet předepsanou granulometrii s možným použitím do podkladních, ložních, obrusných vrstev a pro výrobu „studené balené“ na bodové opravy komunikací.

Nevýhodou je vyšší nasákavost betonového recyklátu, který spotřebuje průměrně o 1 – 1,5% asfaltového pojiva více než přírodní kamenivo. Hrubé frakce recyklovaného betonu (nad 22 mm) se používají na penetrační makadamy a obalované makadamy.

Cihelný recyklát - doposud je výrazně složitější jeho uplatnění na trhu s recykláty, zejména pro vyšší obsah nežádoucích materiálů (maltoviny, omítky) a trvanlivosti cihelných částic (odolnost proti mrazu). Tento recyklát má vyšší nasákavost, proto je jeho využití v lokalitě, kde hrozí jejich nasycení vodou a následné poškození mrazem omezené. Cihelný recyklát se získává z pálených i nepálených zdících prvků. U většiny drtících linek se získává zrnitosti do cca 80 mm a to nejméně ve třech frakcích 0/16, 16/32 a 32/80, přičemž producenti tohoto materiálu jsou schopni vytřídit i jiné požadované frakce. Důležité je jeho využití ve stabilizovaných podložích a nestmelených vrstvách vozovek méně významných komunikací a chodníků [3].

Asfaltový recyklát – bylo prokázáno, že asfaltové recykláty jsou velmi vhodné zejména pro technologie za studena za použití emulzí, případně v kombinaci s cementem, kdy dochází k obalení ekologicky závadných částic stmelených dehtem a tím ke snížení možnosti znehodnocení odpadních vod a blízkého okolí. Asfaltový recyklát musí splňovat podmínku, že min. objem asfaltového materiálu je 30% a max. 95% hmotnosti. Způsoby použití recyklátu:

- bez přidání nového pojiva k recyklátu, s použitím pro málo zatížené vozovky, pro podkladní vrstvy a pro zpevnění šterkopískových „podsypných“ vrstev,
- s přidáním hydraulického pojiva (cementu, popř. vápna či strusky) pro provedení nové stmelené podkladní vrstvy,

- s přidáním emulze k recyklovanému materiálu, vhodné zejména tam, kde staré úpravy obsahují dehtové pojivo,
- kombinovaný způsob, kdy k recyklovanému materiálu se přidává emulze i cement, což je vlastně zlepšení předchozího způsobu a je prokázáno, že tento způsob dosáhl nejlepších výsledků a že vlastnosti těchto směsí je prokazatelně možné srovnat se směsmi typu ACP (asfaltový cement do podkladních vrstev) zpracovávanými za horka [3].

Recyklát z vozovek - je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem, případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin [3]. Celkový obsah složek betonu asfaltu a přírodního kameniva je min. 95% hmotnosti navážky. Max. obsah asfaltové složky je 30%. Maximální obsah cizorodých částic je 5% hmotnosti navážky.

Směsný recyklát - je získaný drcením a tříděním SDO, který se nepovažuje za kamenivo ve smyslu ČSN EN 12620+A1, ČSN EN 13043 nebo ČSN EN 13242+A1. Podíl hlavních složek není určen a obsah cizorodých částic je max. 10% hmotnosti recyklátu. Směsný recyklát je určen převážně jako náhrada zemin pro stavbu násypů a úpravy podloží pozemních komunikací podle ČSN 73 6133, zásypy rýh, terénní úpravy apod. [3].

R-materiál – je asfaltová směs získaná odfrézováním asfaltových krytových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo získaná z neshodné nebo nadbytečné výroby asfaltové směsi. Jedná se o více jak 95% hm. asfaltových materiálů, s max. obsahem 5% hmotnosti ostatních recyklovaných materiálů [3].

Cizorodé a nežádoucí částice, které se vyskytují v každém recyklátu, jsou především přilnavé částice (tj. jemnozrnné jílovité zeminy a nečistoty), různorodé částice jako kovy (železné a neželezné), neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka. Dále se v recyklátech mohou vyskytovat částice nestavebního charakteru např. papír, polyetylenové obaly, textil, organické materiály (např. humus, rašelina), apod. Poslední skupinou nežádoucích částic v recyklátu jsou plovoucí částice. Jedná se o částice, které plavou ve vodě (např. dřevo, polystyrén apod.) a jejich procentuální podíl se stanoví podle ČSN EN 933-11. Následující tabulka 1 přehledně popisuje možné využití jednotlivých druhů recyklátů do konstrukčních vrstev vozovky a do podloží. Je zřejmé, že betonový recyklát je skutečně možné použít téměř do všech konstrukčních vrstev. Naproti tomu směsný recyklát je vhodné použít zejména do zemního tělesa a především do aktivní zóny pozemní komunikace jako náhrada nevhodné zeminy nebo pro mechanickou úpravu nevhodné zeminy.

Tabulka 1 Doporučení použití nejběžnějších recyklátů do vozovek pozemních komunikací [3]

| Typ RSM | Konstrukční vrstvy pozemní komunikace | | | | | | | | | Podloží, zemní těleso |
|-----------------------|---------------------------------------|-----|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----|---------------------------------|---------------------------------------|-------|-----------------------------|
| | AB | CB | Nestmelené podkladní vrstvy | | | | Stmelené podkladní vrstvy | Prolévané podkladní vrstvy a VŠ | | |
| | | | MZK | ŠD _A | ŠD _B | MZ | | Kostra | Výplň | |
| Recyklát z betonu | + | 0/- | + | + | + | +/0 | + | +/0 | +/0 | +/0 |
| Recyklát ze zdiva | - | - | - | 0/- | + | +/0 | + | 0/- | +/0 | + |
| Recyklát směsný | - | - | - | - | - | + | + | - | + | + |
| Recyklát z vozovek | + | +/0 | + | + | + | +/0 | + | +/0 | +/0 | +/0 |
| Recyklát asfaltový | + | - | +/0 | + | + | 0/- | + | 0/- | 0/- | 0/- |

+ doporučuje se používat
 - nedoporučuje se používat
 0 podmíněčně použitelný (omezené např. z technologických, ekonomických nebo ekologických důvodů apod.)

3 KRYTOVÉ VRSTVY VOZOVEK

Využití recyklátů do krytových vrstev vozovek, je podmíněno nutným splněním technických a kvalitativních požadavků pro použité kamenivo a směsi.

Tato kapitola se snaží velice stručně shrnout experimentální návrhy a posouzení vhodných asfaltových směsí z betonových recyklátů s kvalitativními požadavky na asfaltové směsi, které jsou platné v technických předpisech pro Českou republiku a byly prováděny v rámci výzkumných projektů na Ústavu pozemních komunikací VUT v Brně. Experimentálním návrhům předcházely průzkumy podobných prací v zahraničí.

3.1 ZAHRANIČNÍ ZKUŠENOSTI S NÁVRHEM ASFALTOVÝCH SMĚSÍ Z BETONOVÉHO RECYKLÁTU

3.1.1 Výzkum CVVL, STU Bratislava, Slovenská republika

Silniční vědeckovýzkumná laboratoř (CVVL) Katedry dopravních staveb (Stavební fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislavě) řešila v rámci projektu VEGA číslo 1/3318/06 využití recyklovaných materiálů do asfaltových směsí. Cílem práce bylo zjistit vlastnosti nové asfaltové směsi typu ACO 11 při použití recyklovaného kameniva v různém zastoupení.

Provádělo se srovnání vlastností recyklovaného a přírodního kameniva a následně i srovnání směsí s různým zastoupením frakcí recyklátu. Jako recyklát byl použit betonový recyklát získaný drcením betonových sloupů a stropních konstrukcí výrobní haly. Při recyklaci byl použit odrazový drtič, a k dalšímu použití se vybrala směs frakce 0/11 mm. Všechny laboratorní zkoušky byly prováděny dle STN EN. Dle síťového rozboru frakce 8/11 bylo zjištěno 1,41 % jemných částic a 0,06 % cizorodých částic (úlomky cihel a zrna strusky). Vzorek tedy splňoval nejpřísnější kritéria třídy zrnitosti, rovněž tvarový index (SI_{15}) splňoval nejpřísnější kategorii. Z dalších hodnot:

odolnost proti otěru $M_{DE} = 17,7 \%$,

odolnost proti drcení $LA = 24,7 \%$,

objemová hmotnost $\rho_{rd} = 2556 \text{ kg/m}^3$,

nasákavost $WA_{24} = 1,72 \%$,

součinitel zrychlené ohladitelnosti kameniva $f_{ok} = 0,46$ (hodnota vhodná pro kamenivo vhodné do obrusných vrstev použitelných do vozovek s menším dopravním zatížením), odolnost proti zmrazování a rozmrazování $F = 1,83 \%$, podíl drcených zrn v hrubém kamenivě $79,3 \%$ vzorku.

Tyto hodnoty (kromě požadavků na ohladitelnost kameniva) vyhovovaly požadavkům pro obrusné vrstvy. Lze tedy konstatovat, že recyklované kamenivo, které bylo získáno drcením betonových panelů a desek a bylo řádně skladováno bez možnosti znečištění jinými materiály, je srovnatelné svými vlastnostmi s kamenivem přírodním. Je tedy použitelné do asfaltových vrstev (kromě silně zatížených obrusných vrstev), do betonu a do vodních staveb.

Byla pokusně vytvořena směs obrusného betonu ACO 11 z běžně dostupných materiálů pro silniční stavitelství. Součástí směsí bylo asfaltové pojivo tvrdosti 70/100 a kamenná moučka. Směs č. 1 byla pouze z přírodního kameniva, ve směsi č. 2 byla frakce 8/11 mm nahrazena recyklátem, ve směsi č. 3 se nahradila recyklátem frakce 4/8 mm, a ve směsi č. 4 byla nahrazena frakce 4/8 mm i 8/11 mm betonovým recyklátem. Na zkušebních tělesech byly provedeny zkoušky v Marshallově lise a v přístroji Nottingham Asphalt Tester (NAT), rovněž byly stanoveny moduly pružnosti zatěžováním v příčném tahu při pěti různých teplotách od $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Při srovnání získaných výsledků směsí s různým zastoupením betonového recyklátu bylo stvrzeno, že zkoumaný recyklát prakticky téměř vůbec neovlivňuje hodnoty stability, přetvoření, modulu pružnosti ani odolnosti proti deformacím, které jsou považovány za rozhodující při posuzování vhodnosti asfaltových směsí. Jako výsledek celého výzkumu bylo konstatováno, že při dodržení všech požadavků na skladbu směsi, při použití kvalitního betonového recyklátu bez obsahu cizorodých částic vyrobeného z betonových prvků s vyšší odolností a pevností,

lze betonový recyklát použít (bez žádných obav ze zhoršení vlastností asfaltové směsi) do obrusných vrstev méně zatížených vozovek.

3.1.2 Výzkum CEE, MTU Houghton, stát Michigan, USA

Fakulta stavebního a ekologického inženýrství (CEE – Department of Civil and Environmental Engineering) Michiganské technické univerzity (MTU – Michigan Technological University) zkoumala použitelnost recyklovaných betonových materiálu do horkých asfaltových směsí. Výzkum byl zadán michiganským Ministerstvem dopravy (MDOT – Michigan Department of Transportation), které požadovalo zkoumání betonového recyklátu vyrobeného z betonu, ve kterém byl použit portlandský cement, a předpokládalo se použití směsi do komunikací málo zatížených těžkou dopravou nebo s nízkou intenzitou dopravy ve městě Detroit v Michiganu.

Zkoušky byly prováděny systémem funkčních zkoušek s funkčními charakteristikami Superpave™. Na betonovém recyklátu byly provedeny zkoušky kameniva.

Výsledky:

objemová hmotnost $\rho_{rd} = 2433 \text{ kg/m}^3$,

nasákavost $WA = 2,34 \%$,

mezerovitost sypaného kameniva 41% ,

plochá a podlouhlá zrna hrubého kameniva $3,75 \%$,

rozdrcená zrna hrubého kameniva $84,1 \%$,

odolnost proti drcení $LA = 43 \%$.

Některé hodnoty se pohybovaly kolem limitů pro zvolenou směs, ale předpokládalo se, že ve spojení recyklátu s přírodním kamenivem budou výsledné hodnoty lepší. Vytvořila se kontrolní směs složená pouze z přírodního kameniva pro stejné zatížení, pro jaké se vytvořily směsi s betonovým recyklátem kombinované s přírodním kamenivem v různém poměru, ale s obdobnou čarou zrnitosti jako u kontrolní směsi. V kombinovaných směsích bylo použito 25, 35, 50 nebo 75 % betonového recyklátu.

- Čím větší poměr recyklátu ve směsi, tím je menší mezerovitost směsi kameniva ve zhutněné asfaltové směsi (VMA klesá z 16 % na 13 %; limit min. 15 %).
- Mezerovitost zhutněné směsi s větším poměrem recyklátu mírně stoupá (V_m roste z 4,3 % na 5,1 %).
- Stupeň vyplnění mezer asfaltem ve směsi klesá s větším zastoupením recyklátu (VFA klesá z 73 % na 58 %; požadováno 65–75 %).

- Dynamické moduly zjišťované při teplotách 13 °C, 21,3 °C a 39,2 °C a frekvencích 25, 10, 5, 1 a 0,1 Hz prokázaly, že s rostoucím obsahem recyklátu dynamický modul tuhosti směsi klesá ($[E^*]$; bez požadavků).
- Modul pružnosti (resilient modulus) zjišťovaný při teplotách 5 °C, 25 °C a 40 °C potvrdil, že směsi s vyšším obsahem recyklátu mají nižší modul pružnosti. Analýza ale ukázala, že větší vliv na rozdíl mezi moduly pružnosti má teplota při provádění zkoušky.
- Index konstrukční energetické náročnosti (CEI), který vyjadřuje spotřebu energie při rozprostírání směsi a jejím hutnění na stavbě, ukázal, že při snižování obsahu recyklátu ve směsi index CEI stoupá. Při větším snížení obsahu recyklátu jsou energetické úspory bezvýznamné. To lze vysvětlit skutečností, že při hutnění dochází k zaklínění zrn pevnějšího přírodního kameniva, což znesnadňuje zhutnitelnost směsi.
- Při stanovování citlivosti směsi na vlhkost a účinky vody bylo stvrzeno, že s rostoucím zastoupením recyklátu tato citlivost roste (klesá poměrná pevnost v příčném tahu z 90 % na 75 %; požadavek min. 80 %).
- Tvorba trvalých deformací vzrůstá s vyšším obsahem recyklátu, ale ani při 75 % obsahu recyklátu nepřesáhne deformace 76 % povolené hloubky 8 mm (směs bez recyklátu měla deformaci 1,14 mm, směs z 75 % obsahem recyklátu 6,08 mm).

Výsledkem výzkumu bylo, že betonový recyklát je použitelný do směsí s nízkým zatížením. Pro směsi s nižším obsahem recyklátu než 75 % se předpokládá dodržení limitu maximálních deformací. Důležité je zajistit ochranu před účinky mrazu, sněhu a ostatních druhů atmosférických srážek. [4]

3.1.3 Výzkum VicRoads, Australia a School of Civil & Chemical Engineering, RMIT University, Melbourne, Austrálie

Výzkum Silniční korporace Victorie (VicRoads nebo Roads Corporation of Victoria) a Fakulty stavební a chemické Královského melbournského institutu technologie (The Royal Melbourne Institute of Technology) se zabýval rovněž využitím betonového recyklátu do stmelovaných asfaltových vrstev. Byla zde vytvořena jedna směs (I) pouze z přírodního kameniva (drceného bazaltu) s obsahem pojiva 5,0 %, 5,5 % a 6,0 %, a druhá (II) byla vytvořena z přírodního kameniva (frakce 0–4,75 mm) a z betonového recyklátu (frakce 4,75–20 mm) s obsahem pojiva 5,1 %, 5,5 %, 6,0 % a 6,5 %. Do směsí byl přidán jemný písek a filer. Z výsledků zkoušek kameniva je zajímavé srovnání jejich výsledků, hlavně pak jejich nasákavost. U směsi s recyklátem (II) je viditelné snížení nasákavosti téměř o třetinu. U betonového recyklátu je vhodné doplnit, že obsahoval 1,5 % cizorodých částic s vyšší objemovou hmotností (železo, sklo, cihly, keramiku atd.) a pouze 0,2 % zbylých cizorodých částic.

I přes rozdílnou nasákavost směsí kameniva byly navrženy stejné obsahy pojiva. Zkouška odolnosti proti účinkům vody zjistila poměr pevnosti nasyceného tělesa k suchému pro I. směs 90 %, pro směs s recyklátem 66 % – limit je min. 65 %. Z dalších výsledků můžeme uvést porovnání výsledků pro obě směsi (I a II) s obsahem pojiva 5,5 % při hutnění 120 otáček gyrátoru:

- elastický modul pružnosti – **6652 / 3846** MPa
- mezerovitost – **2,8 / 4,7** %
- objemová hmotnost těles – **2512 / 2365** kg/m³
- maximální objemová hmotnost – **2,583 / 2,482** kg/m³
- mezerovitost směsi kameniva – **14,6 / 11,0** %
- vyplnění mezer asfaltem – **81,2 / 57,2** %
- tloušťka asfaltového filmu – **9,1 / 5,0** μm

Mezerovitost směsi, mezerovitost směsi kameniva a vyplnění mezer asfaltem je i při stejném obsahu asfaltu a hutnění u obou směsí značně rozdílná. Je to dáno tím, že asfalt ve směsi s recyklátem ve větší míře vsákne do kameniva, tudíž se zmenší množství volného pojiva. Mezery jsou potom méně vyplněny a vzrůstá tak mezerovitost směsi. Jelikož volné pojivo je schopno pokrýt zrna v menší tloušťce, zrna betonového recyklátu jsou si blíže a tímto se sníží mezerovitost směsi kameniva.

Celkově byl výsledek výzkumu pozitivní, bylo doporučeno se touto problematikou dále zabývat. Zajímavé výsledky s použitím betonových recyklátů jsme získali i v silniční laboratoři, ústavu pozemních komunikací VUT v Brně. [4]

3.2 METODIKY PROVÁDĚNÍ LABORATORNÍCH A FUNKČNÍCH ZKOUŠEK V ČR

Nejdříve bylo provedeno ověření vlastností betonových recyklátů (jako kameniva) do asfaltem stmelených směsí. Následně pak byly provedeny laboratorní a funkční zkoušky asfaltových směsí s obsahem betonového recyklátu na místo přírodního kameniva. Na použitých kamenivech byly prováděny tyto zkoušky:

- **zkoušení geometrických vlastností kameniva (ČSN EN 933)**
 - stanovení zrnitosti – síťový rozbor
 - stanovení tvaru zrn – tvarový index
 - posouzení jemných částic – zkouška methylenovou modří

• zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva (ČSN EN 1097)

- stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti
- metody pro stanovení odolnosti proti drcení

• zkoušení kameniva vůči teplotě a zvětrávání (ČSN EN 1367)

- stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování
- zkouška síranem hořčnatým

Na navržených asfaltových směsích se aplikovaly tyto zkušební metody:

• konvenční (empirické) laboratorní zkoušky (ČSN EN 12697)

- stanovení maximální objemové hmotnosti
- stanovení objemové hmotnosti zkušebního tělesa
- stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
- zkouška pojíždění kolem

• funkční laboratorní zkoušky (ČSN EN 12697)

- stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě
- tuhost

Nutno upřesnit, že všechny vzorky byly zmenšeny v souladu s ČSN EN 932–2, byly vytvořeny navážky o hmotnostech větších než minimálních nebo v mezích požadovaných odchylek, všechna měření a výsledky byly provedeny a zaznamenány s požadovanými přesnostmi. Z kapacitních důvodů laboratoře a z důvodu omezeného množství zkoumaného materiálu nebyly všechny zkoušky vykonány na předepsaném počtu vzorků nebo zkušebních těles.

3.2.1 Zkoušky kameniva

3.2.1.1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva

Stanovení zrnitosti použitých frakcí betonového recyklátu – Sítový rozbor ČSN EN 933-1

Zrnitost je základní důležitá vlastnost každého zrnitého materiálu, která určuje jeho název a charakter. Vyjadřuje poměrné hmotnostní zastoupení jednotlivých úzkých frakcí v daném vzorku.

3.2.1.2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva

U těchto zkoušek byly dle všeobecně známých skutečností (viz kap. Zahraniční zkušenosti) očekávány problémy s dodržením požadavků pro kamenivo do asfaltové směsi.

Z těchto důvodů bylo zvoleno už při návrhu směsi, že se bude jednat o asfaltové směsi s nízkým dopravním zatížením, kde jsou požadavky na kamenivo mírnější.

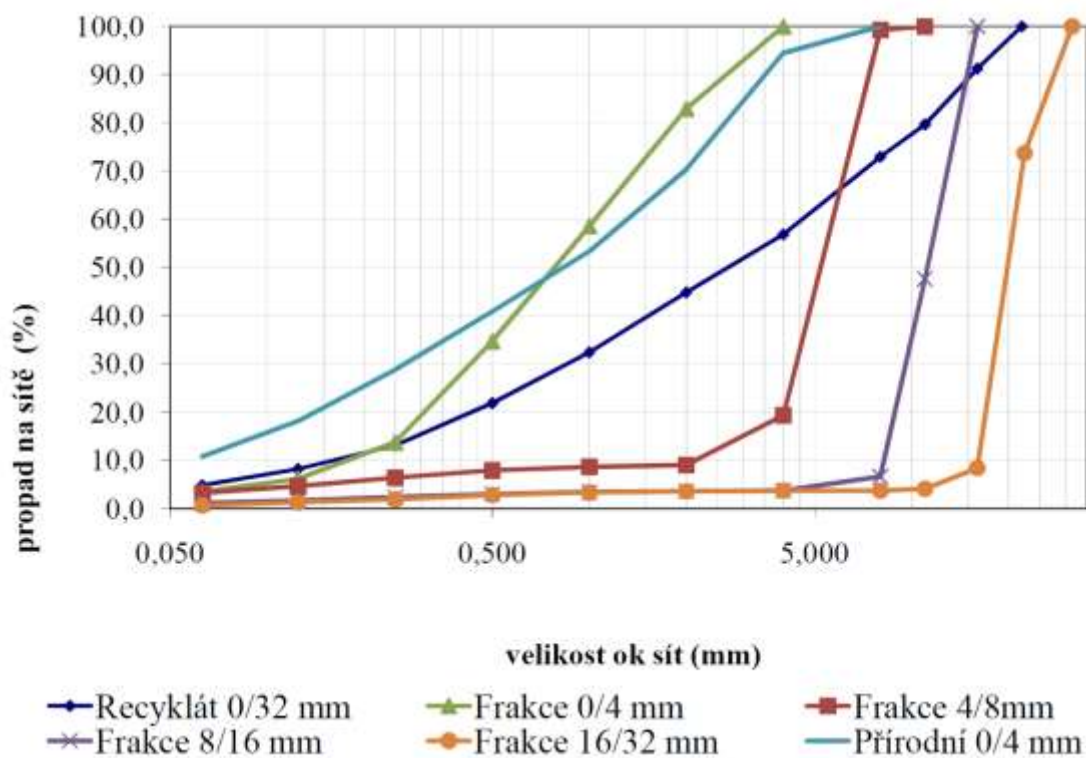
Při stanovování **odolnosti proti drcení** referenční metodou Los Angeles byla zkoušena frakce betonového recyklátu 8/16 mm (předepsané kamenivo velikosti 10 mm až 14 mm z této frakce) a 4/8 mm (alternativní klasifikace pro úzkou frakci). Výsledný součinitel LA 31 (32) pro směsi, kde je požadován, je buď těsně pod požadovanou hodnotou (požadavek LA₃₀) nebo nevyhovuje (požadavek LA₂₅).

U betonového recyklátu byl předpoklad zvýšené **nasákavosti**, proto byla ověřena na dvou navážkách frakce 4/8 mm a 8/16 mm.

Předpoklad se potvrdil, a kvůli nevyhovujícím hodnotám nasákavosti **6,7 %** a **5,6 %** suché hm. (požadavky jsou WA_{24 2}, případně i WA₂₄₁), bylo nutno ověřit mrazuvzdornost kameniva zkouškou odolnosti proti zmrazování a rozmrazování nebo zkouškou síranem hořečnatým.

Objemová hmotnost zrn bez pórů se u frakcí 4/8 mm a 8/16 mm pohybovala kolem 2650 kg/m³, **objemová hmotnost vysušených zrn** s póry kolem 2300 kg/m³.

Zkoušku odolnosti proti zmrazování a rozmrazování byla prováděna na doporučené frakci 8/16 mm. Úbytek hmotnosti 11,3 % opět několikanásobně překročil požadavky směsi (F₄, příp. F₂). Proto byla provedena i zkouška síranem hořečnatým.



Obrázek 2 Čáry zrnitosti použitých recyklovaných stavebních materiálů

Při **zkoušce síranem hořčnatým** byla zkoušena frakce 10/14 mm získaná z frakce 8/16 mm. Výsledky nelze považovat za směrodatné, protože byla provedena pouze na jednom dílčím vzorku. Zjištěná hodnota ztráty hmotnosti MS 19,0 % je vyhovující (požadavek MS₂₅) nebo minimálně nedodržená (požadavek MS₁₈).

3.2.2 Shrnutí výsledků zkoušek kameniva z recyklovaného betonu do asfaltové směsi

Po provedení zkoušek recyklovaného kameniva se potvrdily zkušenosti, že betonový recyklát má **nižší odolnost proti drčení, vysokou nasákavost** a s ní spojenou **horší odolnost proti teplotě a zvětrávání**. Geometrické vlastnosti jsou vyhovující. Tyto problémy jsou pravděpodobně částečně zapříčiněny nehomogenním složením recyklátu, přítomností rozdrčených cihel, které mají vyšší nasákavost a celkově nižší pevnost a trvanlivost. Dle výsledků zkoušek kameniva by další použití tohoto kameniva z běžného směsného betonového recyklátu nebylo vhodné nebo spíše nemožné.

3.3 Zkoušky asfaltových směsí

Pro složení asfaltových směsí s kamenivem z betonového recyklátu byla použita celá frakce betonového recyklátu bez skládání úzkých frakcí. Důvod bylo ověřit možnost minimálních vstupních nákladů při zacházení s betonovým recyklátem do asfaltové směsi a výsledkem měly být asfaltové směsi pro chodníky a „podružné“ dopravní a jiné povrchově zpevněné plochy. Splnění požadavků u dolních mezí bylo složité, protože recyklát měl vyšší obsah jemných částic a kvůli ručnímu třídění v laboratoři, kde vznikla absence větších zrn než je horní síto frakce, se zvětšil procentuální obsah menších zrn.

Proto byla zrnitost splněna pouze v rámci všeobecných požadavků asfaltové směsi na zrnitost směsi kameniva. Nebyly zohledňovány požadavky na ohladitelnost kameniva PSV, na stupeň vyplnění mezer VFB (empirický požadavek) a na odolnost proti únavě ϵ (funkční požadavek) – zkoušky nebyly vykonány.

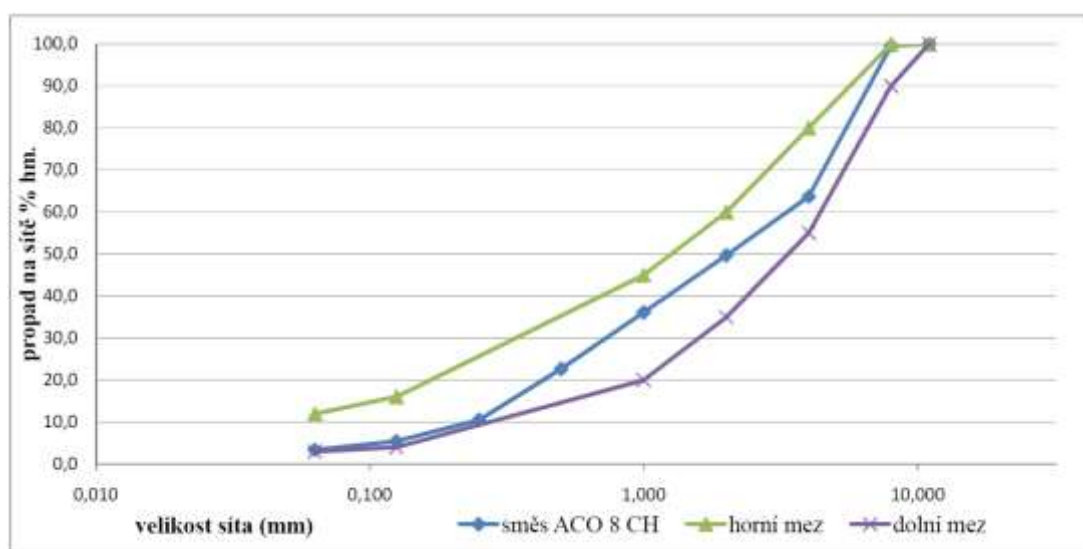
3.3.1 Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu ACO 8 CH, 50/70, 40 mm, ČSN EN 13108-1

Idea prvního návrhu byla taková, aby se vytvořila co nejběžnější směs pro nízkou třídu zatížení do obrusných vrstev s co největším podílem betonového recyklátu. Byl tedy vybrán asfaltový beton a běžně používané asfaltové pojivo s cílem vytvořit směs pouze z recyklátu. Dle normy ČSN EN 13108-1 byla vybrána směs ACO 8 CH. Recyklát sice nespĺňuje obsah jemných částic v hrubém kamenivu a odolnost proti teplotě a zvětrávání (pouze zkouška síranem hořčnatým téměř vyhověla), ale je to směs s „nejměkčími“ požadavky na kamenivo.

Podle požadavku zrnitosti směsi byla sestavena čára zrnitosti z frakcí 0/4 mm a 4/8 mm betonového recyklátu v poměru 55:45. Dle ČSN 73 6160 bylo stanovením koeficientu sytosti teoretické množství potřebného asfaltu 5,1 kg pojiva na 100 kg kameniva. Kvůli předpokladu vyšší spotřeby pojiva bylo navýšeno teoretické množství pojiva o 0,5 kg/100 kg, tedy celkem na 5,6 kg pojiva na 100 kg kameniva. Při obalování recyklovaného kameniva asfaltem bylo vizuálně zjištěno, že výše stanovené množství pojiva nepostačuje k obalení směsi kameniva, proto bylo množství pojiva zvýšeno na 6,0 % hmotnosti. Toto množství již postačovalo k dostatečnému obalení kameniva. Pro druhou sadu zkušebních (Marshallových) těles bylo zvoleno návrhové množství pojiva 6,6 % hmotnosti, v třetí sadě pak o dalších 0,5 % na celkem 7,1 % hmotnosti. Výsledek zkoušky odolnosti těles vůči vodě určil jako optimální obsah pojiva ve směsi 7,1 % hmotnosti. Z této směsi byly vyrobeny zkušební desky tloušťky 40 mm při teplotě 155 °C pro zkoušky trvalých deformací. Po provedení zkoušky vyjetí kolem (trvalé deformace) na desce byly z nepoškozené části vyrobeny zkušební trapezoidy pro zkoušku stanovení modulu tuhosti (pružnosti).

Shrnutí výsledků směsi ACO 8 CH, 50/70:

směs kameniva dle TP 210 i ČSN EN 13108-1 **nesplňuje** požadavky především na obsah jemných částic v hrubém kamenivu, nasákavost a odolnost proti zmrazování a rozmrazování (mrazuvzdornost lze ale považovat za splněnou s ohledem na téměř vyhovující trvanlivost síranem hořečnatým); zhutněná směs má dle svých požadavků problém pouze se **zvýšenou mezerovitostí**; ve srovnání s požadavky na běžné asfaltové směsi nesplňuje navíc požadavek na ITSR (chybí 3,5 % do směsi s označením „+“); posuzování dle funkčního přístupu má stejné nedostatky jako při srovnání požadavků empirického přístupu se směsí s označením „+“ (mezerovitost, ITSR)



Obrázek 3 Čáry zrnitosti směsi kameniva navrhnuté pro ACO 8 CH a požadované meze zrnitosti směsi kameniva

Tabulka 2 Výsledné hodnoty z provedených laboratorních zkoušek na ACO 8 CH s R_c

| Zkoušky kameniva | Požadavek ACO 8 CH | | Zjištěná hodnota | Vysvětlivky: |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---|
| | ČSN EN 13108-1 | TP 210 | | |
| Obsah jemných částic (DK) | f ₁₆ | f ₁₆ | 3,5 % | <p>Vysvětlivky:</p> <p> Vyhovuje</p> <p> Téměř vyhovuje</p> <p> Nevhovuje</p> <p>– dle ČSN EN 13108-1</p> <p>DK – drobné kamenivo</p> <p>HK – hrubé kamenivo</p> |
| Kvalita jemných částic | MB _F 10 | MB _F 10 | 5,9 g/kg | |
| Obsah jemných částic (HK) | f ₂ | f ₂ | 3,3 % | |
| Tvarový index | SI ₅₀ | SI ₅₀ | 13 | |
| Odolnost proti drcení | – | LA ₄₀ | 32 | |
| Nasákavost | WA ₂₄₂ | WA ₂₄₂ | 6,7 % | |
| Trv. síranem hořečnatým | MS ₁₈ | MS ₁₈ | 19,0 % | |
| Odolnost proti zmraz/roz. | F ₄ | F ₄ | 11,3 % | |
| Ohladitelnost | PSV _{dek.48} | PSV _{dek.48} | – | |



Obrázek 4 Směs ACO 8 CH, 50/70, obsah pojiva 7,1 % hmotnosti směsi (Marshallovo zkušební těleso a řez tělesem)

Tabulka 3 Výsledky zkoušek směsi ACO 8 CH a porovnání s normovými požadavky

| Zkoušky směsi | Požadavek ČSN EN 13108-1 | Zjištěná hodnota | |
|--|--------------------------|---------------------|-------------|
| Empirický přístup | | | |
| Všeobecné požadavky | ACO 8 CH | lepší směs | |
| Min. mezerovitost V_{min} | 1,5 % | 2,5 % * | 5,2 % |
| Max. mezerovitost V_{max} | 4 % | 4,5 % * | 5,2 % |
| Min. poměr pevnosti v tahu IITSR | – | 70 % ** | 66,5 % |
| Max. poměrná hl. koleje PRD_{AIR} po 5000 cyklech | – | 5,0 % *** | 2,7 % |
| Max. přírůstek hl. koleje WTS_{AIR} ($mm/10^3$ cyklů) | – | 0,07 *** | 0,03 |
| Empirické požadavky | | | |
| Min. obsah pojiva B_{min} | 7,2 % hm. | 7,0 % hm. * | 7,1 % hm. |
| Min. obsah pojiva B_{min} | – | 13,8 % obj. * | 14,6 % obj. |
| Funkční přístup | | | |
| Všeobecné požadavky | ACO 11 + (F) | ACO 11 S (F) | |
| Min. mezerovitost V_{min} | 2,5 % | 2,5 % | 5,2 % |
| Max. mezerovitost V_{max} | 4,5 % | 4 % | 5,2 % |
| Min. poměr pevnosti v tahu IITSR | 70 % | 80 % | 66,5 % |
| Max. poměrná hl. koleje PRD_{AIR} po 5000 cyklech | – | 5,0 % | 2,7 % |
| Max. přírůstek hl. koleje WTS_{AIR} ($mm/10^3$ cyklů) | – | 0,07 | 0,03 |
| Funkční požadavky | | | |
| Minimální tuhost S_{min} | 7000 MPa | 7000 MPa | 8877 MPa |

Vysvětlivky:
 Vyhovuje
 Téměř vyhovuje
 Nevyhovuje
 – dle ČSN EN 13108-1 pro ACO 8 CH
 * – ACO 8
 ** – ACO 11 +
 *** – ACO 11 S
 B_{min} (% hm.) navýšeno násobkem 1,16 podle suché obj. hmotnosti kameniva

Vysvětlivky:
 Vyhovuje
 Téměř vyhovuje
 Nevyhovuje
 – dle ČSN EN 13108-1 pro ACO 11 + (F)

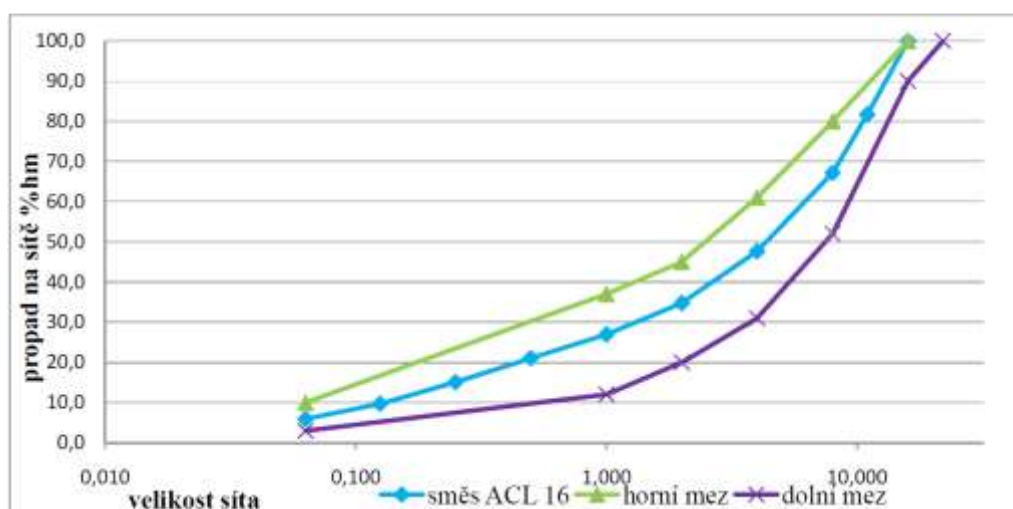
3.3.2 Asfaltový beton - ložní vrstva ACL 16, 50/70, 50 mm, ČSN EN 13108-1

Jako druhá asfaltová směs, kde byl zkoušen betonový recyklát, byla ACL 16 (asfaltový beton pro ložní vrstvu). Požadovaná mezerovitost směsi je vyšší, což je pro použití recyklovaného kameniva výhodnější. Cílem bylo snížení nasákavosti směsi a spotřeby pojiva, proto bylo použito přírodní drobné kamenivo (frakce 0/4 mm).

Pro výrobu směsi bylo použito standardního nemodifikovaného pojiva (gradace 50/70), přírodního drobného kameniva frakce 0/4 mm a hrubého recyklovaného kameniva frakce 4/8 mm a 8/16 mm. Dle požadavku normy ČSN 13108-1 byla navržena směs kameniva v poměru 45:20:35. [5]

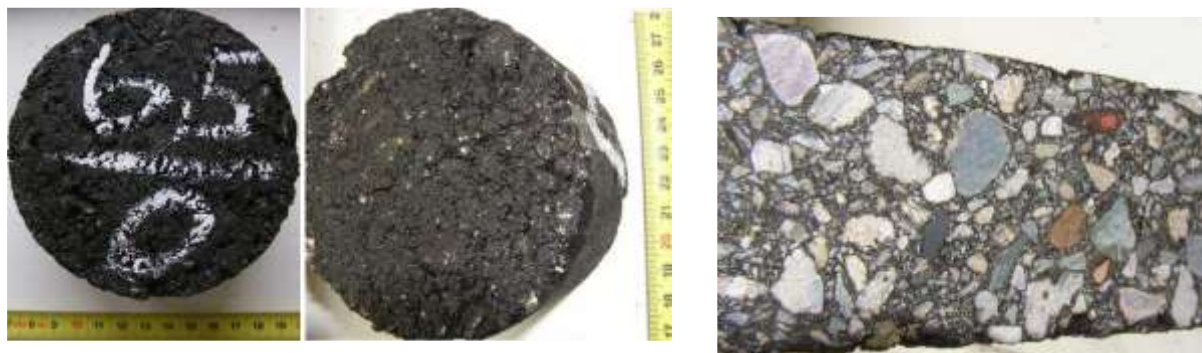
Tabulka 4 Požadavky na kamenivo do směsi ACL 16 a výsledky provedených zkoušek

| Zkoušky kameniva | Požadavek ACL 16 | | Zjištěná hodnota | Vysvětlivky: |
|---------------------------|------------------|------------|------------------|----------------------|
| | ČSN EN 13108-1 | TP 210 | | |
| Obsah jemných částic (DK) | f_{16} | f_{16} | 10,8 % | Vyhovuje |
| Kvalita jemných částic | $MB_F 10$ | $MB_F 10$ | – | Téměř vyhovuje |
| Obsah jemných částic (HK) | f_2 | f_4 | 1,9 % | Nevyhovuje |
| Tvarový index | SI_{30} | SI_{35} | 13 | – dle ČSN EN 13108-1 |
| Odolnost proti drcení | LA_{30} | LA_{40} | 31 | |
| Nasákavost | WA_{242} | WA_{242} | 6,1 % | DK – drobné kamenivo |
| Trv. síranem hořčnatým | MS_{25} | MS_{25} | 19,0 % | HK – hrubé kamenivo |
| Odolnost proti zmraz/roz. | F_4 | F_4 | 11,3 % | |









Obrázek 5 Čáry zrnitosti směsi kameniva navržené pro ACL 16 a požadované meze zrnitosti směsi kameniva

Koeficientem sytosti bylo stanoveno teoretické množství potřebného pojiva na 5,5 kg na 100 kg směsi kameniva, tedy 5,2 % hmotnosti asfaltové směsi. Po zkušenostech s předchozí směsí bylo množství pojiva zvýšeno o jedno procento a zaokrouhлено na nahoru – tedy na 6,5 % hmotnosti asfaltové směsi.



Obrázek 6 Směs ACL 16, 50/70, obsah pojiva 6,5 % hmotnosti směsi s betonovým recyklátem

Tabulka 5 Výsledky zkoušek směsi ACL 16 a porovnání s normovými požadavky

| Zkoušky směsi | Požadavek ČSN EN 13108-1 | Zjištěná hodnota | | |
|--|--------------------------|---------------------|--|---|
| Empirický přístup | | | | |
| Všeobecné požadavky | ACL 16 | ACL 16 +/S | Vysvětlivky:  Vyhovuje  Téměř vyhovuje  Nevyhovuje – dle ČSN EN 13108-1 pro ACL 16 dekl – deklarovaná hodnota | |
| Min. mezerovitost V_{\min} | 4,0 % | 4,0 % | | 5,7 % |
| Max. mezerovitost V_{\max} | 6,0 % | 6,0 % | | 5,7 % |
| Min. poměr pevnosti v tahu ITSR | – | 70/80 % | | 70,5 % |
| Max. poměrná hl. koleje PRD_{AIR} po 5000 cyklech | – | dekl./3,0 | | 2,1 % |
| Max. přírůstek hl. koleje WTS_{AIR} (mm/10 ³ cyklů) | – | dekl./0,05 | | 0,04 |
| Empirické požadavky | | | | |
| Min. obsah pojiva B_{\min} | 4,9 % hm. | 4,9 % hm. | 6,5 % hm. | B_{\min} (% hm.) navýšeno násobkem 1,16 podle suché obj. hmotnosti kameniva |
| Min. obsah pojiva B_{\min} | 9,8 % obj. | 9,8 % obj. | 13,9 % obj. | |
| Funkční přístup | | | | |
| Všeobecné požadavky | ACL 16 + (F) | ACL 16 S (F) | Vysvětlivky:  Vyhovuje  Téměř vyhovuje  Nevyhovuje – dle ČSN EN 13108-1 pro ACL 16 + (F) | |
| Min. mezerovitost V_{\min} | 4,0 % | 4,0 % | | 5,2 % |
| Max. mezerovitost V_{\max} | 6,0 % | 6,0 % | | 5,2 % |
| Min. poměr pevnosti v tahu ITSR | 70 % | 80 % | | 70,5 % |
| Max. poměrná hl. koleje PRD_{AIR} po 5000 cyklech | – | 3,0 % | | 2,1 % |
| Max. přírůstek hl. koleje WTS_{AIR} (mm/10 ³ cyklů) | – | 0,05 | | 0,04 |
| Funkční požadavky | | | | |
| Minimální tuhost S_{\min} | 7000 MPa | 7000 MPa | 8103 MPa | |

Shrnutí výsledků směsi ACL 16, 50/70:

- směs kameniva nesplňuje dle ČSN EN 13108-1 a TP 210 opět požadavek na nasákavost a odolnost proti zmrazování a rozmrazování (dle zkoušky trvanlivosti síranem hořečnatým je kamenivo mrazuvzdorné)
- dle ČSN EN 13108-1 je požadována odolnost proti drcení hrubého kameniva minimálně překročena, dle TP 210 je v pořádku
- dle empirického přístupu ztuhnutá směs splňuje všechny požadavky dokonce i pro směs s označením „+“, kromě ITSR dokonce i pro směs s označením „S“
- dle funkčního přístupu opět není splněn pouze požadavek ITSR u směsi „S“ [5]

3.4 Shrnutí poznatků ze zkoušení asfaltových směsí s betonovým recyklátem a využití do krytů vozovek

Pokud porovnáme vstupní ceny surovin, zjistíme, že asfaltové betony vyrobené s recyklovaným kamenivem jsou dražší než asfaltové betony vyrobené z přírodního kameniva. Je to dáno tím, že největší díl celkové ceny směsi tvoří cena pojiva. Kvůli vyšší spotřebě asfaltového pojiva jsou asfaltové směsi s využitím betonového recyklátu jako kameniva dražší, i když cena recyklovaného kameniva je nižší. Při srovnání vlastností betonového recyklátu jako kameniva s požadavky platných předpisů zůstává problém s především s vyšší hodnotou nasákavosti, která neúměrně zvyšuje spotřebu pojiva. Další komplikací je nižší trvanlivost recyklovaného kameniva. Může to přinášet finanční náklady spojené s ochranou vrstvy před vniknutím vody a účinky mrazu (např. provedením nátěru, impregnačních postříků). Z výše uvedených důvodů je nevhodné použití betonových recyklátů do asfaltových směsí. [5][6]

4 STMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY Z RECYKLÁTŮ

Směsi stmelené hydraulickým pojivem jsou dle ČSN EN 14227-1 definovány jako směsi obsahující kamenivo s řízenou zrnitostí a jedním či více hydraulickými pojivy, vyráběné způsobem, který zajišťuje homogenitu směsi. Tyto směsi tuhnou a tvrdnou hydraulickou reakcí a jejich klasifikace je založena na mechanických vlastnostech. Mezi hydraulická pojiva patří cement, popílek (ze spalování uhlí v elektrárnách) a struska (vedlejší produkt při tavení železa). Některá pojiva vyžadují aktivátor, jako například vápno nebo ocelářská struska. Ostatní vyžadují pouze přidání dostatečného množství vody. Rychlost nárůstu pevnosti, mez pevnosti a celkové chování směsí stmelených hydraulickými pojivy závisí na jejich stáří, vytvrzovacích podmínkách a na jednotlivých částech, z kterých jsou tvořeny (pojiva a kameniva). Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy mají relativně vysoký modul pružnosti a nízkou pevnost. Hlavní smysl použití směsí stmelených hydraulickými pojivy v konstrukci vozovek je tedy v možnosti využití kameniva a různých místních materiálů nebo druhotných surovin, ze kterých nelze vyrobit kvalitní nestmelenou vrstvu a které by bez možnosti aplikace hydraulických pojiv zůstaly nevyužity. Použití směsí stmelených hydraulickými pojivy obsahující recyklované a druhotné suroviny má výhody jak z hlediska stavebního, tak z hlediska udržitelného rozvoje.

4.1 Směsný stavební recyklát do podkladních vrstev

Pro experimentální ověření možnosti využití druhotných surovin v hydraulicky stmelených směsích bylo navrženo celkem pět směsí. Základním materiálem byl směsný recyklát odebraný na recyklační lince společnosti DUFONEV R. C., a. s. v Brně – Černovicích.

Jako pojivo byl použit vysokopecní cement s rychlým vývojem počáteční pevnosti (CEM III/A 32,5 R) a hydraulické silniční pojivo Doroport TB 25. S ohledem na předchozí zkušenosti je nutno ve stmelovaných směsích z druhotných materiálů volit vyšší množství pojiva než v případě použití přírodního kameniva. Ve všech případech bylo pojivo použito v množství 6 % hm k zajištění možnosti porovnání chování druhotných materiálů ve směsích. Druhotnými surovinami aplikovanými do směsí byla slévárenská skořepina, vlákna z PET lahví a drcená odpadní pryž v různém množství. Pro srovnání vlivu jednotlivých surovin na chování směsí byla navržena směs I jako referenční. Přehled navržených stmelovaných směsí udává Tabulka 6.

Tabulka 6 Přehled navržených a zkoušených stmelovaných směsí se směsným recyklátem

| Označení směsi | Recyklát | Pojivo | | Druhotná surovina | |
|----------------|----------|------------------|----------|-----------------------|--------------|
| | | Druh | Množství | Druh | Množství |
| I | Směsný | CEM III/A 32,5 R | 6% hm. | - | - |
| II | Směsný | DOROPOORT TB25 | 6% hm. | - | - |
| III | Směsný | CEM III/A 32,5 R | 6% hm. | Slévárenská skořepina | 10, 15% hm. |
| IV | Směsný | CEM III/A 32,5 R | 6% hm. | Vlákna z PET lahví | 1, 3, 5% hm. |
| V | Směsný | CEM III/A 32,5 R | 6% hm. | Drcená odpadní pryž | 1, 3, 5% hm. |

Na jednotlivých směsích byly provedeny konvenční zkoušky pro zjištění základních parametrů zkoušeného materiálu a to stanovení zrnitosti a zhutnitelnosti, pevnost v prostém tlaku, pevnost v příčném tahu, okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR. Dále byly směsi podrobeny funkčním zkouškám simulujícím reálné namáhání materiálů, kterému jsou vystaveny v konstrukci vozovky. Mezi tyto zkoušky patří odolnost proti mrazu a vodě a zkouška cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji.

Směsný recyklát frakce 0/32 mm je tvořen převážně jemnozrnnou složkou, částečně obsahuje zbytky zdiva a malty, minimálně i sklo, dřevo a plast. Aktuální prodejní cena frakce 0/16 mm je 20 Kč za tunu materiálu bez DPH. Pro další použití byl recyklát ručně pomocí laboratorního síta o velikosti otvorů 16 mm upraven na používanou frakci 0/16 mm.

Jako pojivo pro stmelované směsi byl zvolen tradičně používaný cement směsný CEM III/A 32,5R. Jedná se o rychle tuhnoucí cement se zvýšeným obsahem vysokopecní strusky (do max. 50 %). Toto pojivo je charakteristické příznivým nárůstem počátečních pevností a nízkým vývinem hydratačního tepla. Je odolné proti agresivnímu prostředí. Další variantou bylo použití pojiva Doroport TB25, výrobku firmy HOLCIM, a.s. Speciální silniční hydraulická pojiva jsou kvůli svým příznivým vlastnostem ve směsi stále více do stmelovaných směsí využívány. Pro liniové typy stmelovaných desek je to zejména kvůli zpomalení úvodní hydraulické reakce a eliminaci rizika vzniku smršťovacích trhlin ve stmelované podkladní vrstvě. Průběh nárůstu pevností je pozvolnější než u cementů. Je také vysoce odolný proti síranům v důsledku čehož se také při jejich výskytu neprojevují problémy způsobené rozpínáním.



Obrázek 7 Směsný recyklát pro zkoušení do stmelených směsí ve frakci 0/16 mm

Slévárenská skořepina je formovací směs tvořená křemičitým pískem, který je stmelen buď organickými (nevhodnými na použití), nebo anorganickými pojivy. Z anorganických pojiv se nejčastěji používá jílu (bentonit), vodní sklo, z organických pojiv pak pryskyřičná pojiva. Tato směs slouží ve slévárnách k tvorbě forem pro kovové odlitky složitých tvarů (Obrázek 8). Prioritou je, opětovné použití ve slévárenské výrobě, kdy procesem regenerace se křemičitý písek znovu použije pro tvorbu formovací směsi. Ovšem tento proces nelze opakovat donekonečna, tudíž je nutno hledat uplatnění i u jiných odvětví. Právě silniční stavitelství představuje jednu z možností použití tohoto odpadu. Hlavním důvodem k použití vláken nastříhaných z odpadových PET láhví do směsí stmelených cementem byla snaha omezit vznik popřípadě šíření nežádoucích smršťovacích trhlin ve stmelené podkladní vrstvě. Právě smršťovací trhliny jsou největším nebezpečím při použití stmelených vrstev do konstrukce vozovky, kdy v důsledku teplotních změn dochází k prokopírování trhlin až do krytových vrstev. V návrhu směsi byla použita vlákna proměnné délky o šířce 1 mm. Délka vláken byla zvolena v rozsahu 40 – 70 mm z důvodu zajištění provázání hrubých zrn směsného recyklátu vlákny.



Obrázek 8 Slévárenská skořepina – příprava od odformování po drcení do práškové formy pojiva

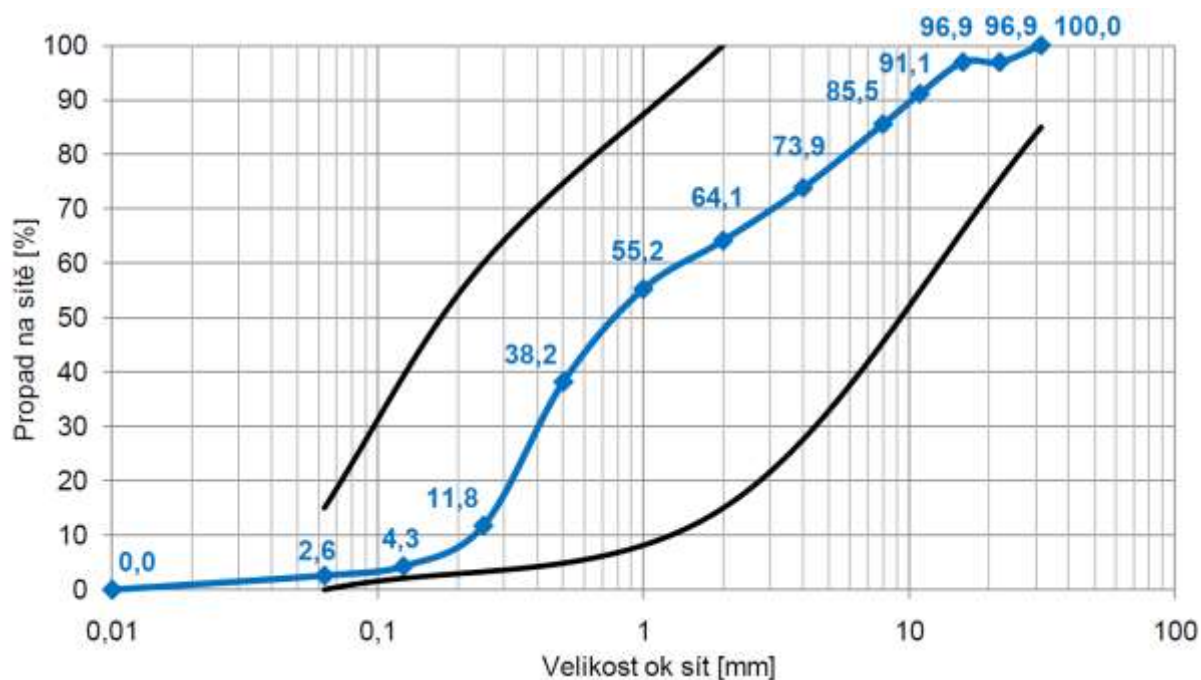
Drcená pryž z pneumatik si v silničním stavitelství našla uplatnění především v asfaltových směsích. Její zabudování do asfaltových směsí za horka probíhá dvěma různými metodami a to metodou za mokra a za sucha. U postupu za mokra se mletá pryž míchá s asfaltem (obvykle v množství 18% až 25%) a působí jako asfaltový modifikátor. Výsledný produkt je často označován jako asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. U postupu za sucha je granulovaná a/nebo rozemletá pryž užitá jako náhrada malého množství drobného kameniva (obvykle 1 % až 3 % hmotnosti celkového množství kameniva ve směsi). Výsledný produkt je někdy označován jako asfaltový beton modifikovaný gumou (RUMAC, RUBIT, apod.). Drcená odpadní pryž je charakteristická nízkou hmotností a pružným chováním. Je tvořena pravidelnými kubickými zrny s relativně malým povrchem zrn. Získá se drcením, tříděním, magnetickou separací ocelové výztuže a vyfoukáním vláken tvořících kostru pneumatiky. Ve výzkumu využití recyklátů do stmelených směsí bylo snahou využitím tohoto materiálu elasticky podpořit přenášení svislých a vodorovných zatížení.



Obrázek 9 Ukázka použitých komponentů druhotných surovin do navrhovaných stmelených směsí slévárenská skořepina, PET vlákna, drcená odpadní pryž

Zrnitost směsného recyklátu se nachází uvnitř oboru zrnitosti, který slouží k posouzení vhodnosti materiálu do stmelených směsí. Materiál lze tedy hodnotit jako vhodný. Obsah jemných částic menších než 0,063 mm byl stanoven na 2,6 % hm., obsah písčité složky na 61,5 % hm. a štěrkovité složky na 35,9 % hm. Zatříděním podle klasifikace uvedené v ČSN 73 6133 odpovídá směsný recyklát písku dobře zrněnému (S1 SW).

Zhutitelnost směsí byla zjišťována modifikovanou Proctorovou zkouškou dle zkušebního postupu uvedeného v ČSN EN 13286-2. Směsi byly připravovány ze směsného recyklátu frakce 0/16 mm, daného pojiva v množství 6 % hm. a případně druhotné suroviny v předepsaném množství.

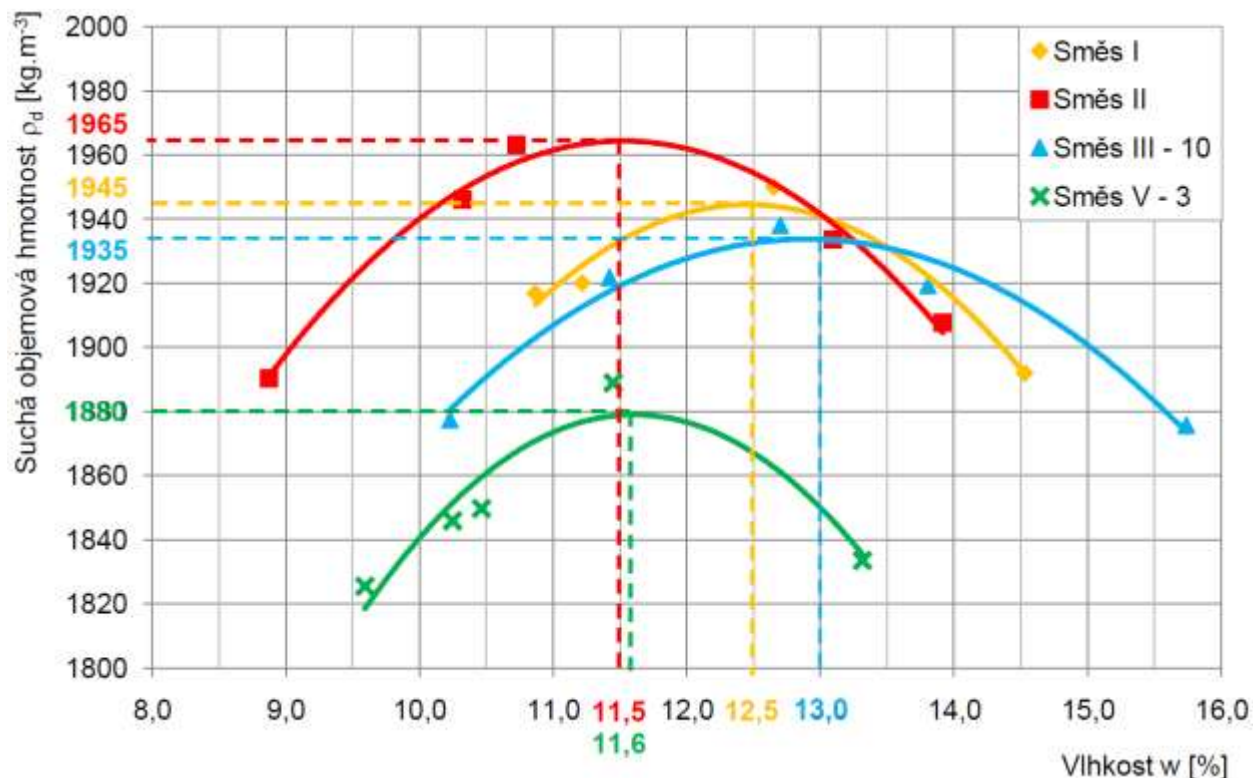


Obrázek 10 Čára zrnitosti zkoušeného směsného recyklátu

Tabulka 7 Výsledné hodnoty zkoušek zhutnitelnosti směsí metodou Proctor-modifikovaný

| Stanovení zhutnitelnosti – Proctorova modifikovaná zkouška | | | | | | | | |
|--|--------|--|---------|--|---------------|--|------------|--|
| Způsob zkoušení: ČSN EN 13286-2 | | | | | | | | |
| Bod | Směs I | | Směs II | | Směs III – 10 | | Směs V – 3 | |
| | w [%] | ρ_d [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | w [%] | ρ_d [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | w [%] | ρ_d [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | w [%] | ρ_d [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] |
| 1 | 10,87 | 1916,82 | 8,87 | 1890,36 | 10,23 | 1877,58 | 9,59 | 1825,54 |
| 2 | 11,22 | 1920,11 | 10,32 | 1946,17 | 11,42 | 1921,83 | 10,25 | 1845,89 |
| 3 | 12,65 | 1949,95 | 10,72 | 1963,20 | 12,70 | 1938,07 | 10,46 | 1849,69 |
| 4 | 13,15 | 1934,46 | 13,09 | 1933,69 | 13,81 | 1919,35 | 11,45 | 1888,90 |
| 5 | 14,53 | 1892,04 | 13,92 | 1907,64 | 15,74 | 1875,84 | 13,32 | 1833,44 |
| w_{OPT} [%] | 12,5 | | 11,5 | | 13,0 | | 11,6 | |
| $\rho_{d,\text{max}}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | 1945 | | 1965 | | 1935 | | 1880 | |

U směsi s PET vlákny vytvořily vynesené hodnoty standardní parabolickou křivku. Pro stanovení optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti suché směsi byla tedy použita saturační křivka se stupněm saturace 85 % ($S_r = 85\%$) podle normy ČSN EN 13286-2. Průmětem průsečíku obou křivek do os byly zjištěny potřebné parametry.



Obrázek 11 Znárodnění zhutnitelnosti zkoušených směsí – Proctor standard

Pro stanovení pevností hydraulicky stmelených směsí v prostém tlaku a příčném tahu byly pro každou zkoušku připraveny čtyři válcové zkušební vzorky o průměru 100 mm a výšce 100 mm. Směsi byly připraveny za optimální vlhkosti zjištěné z modifikované Proctorovy zkoušky a hutněny do ocelové formy lisem při statickém zatížení $400 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$.



Obrázek 12 Postup přípravy zkušebních válcových těles před zkouškou pevnosti v tlaku

Při přípravě zkušebních těles ze směsi s drcenou odpadní pryží vznikl problém se soudržností. U těles po jednodenním zrání a vyjmutí z formy docházelo k odprýskávání čel, objevovaly se příčné trhliny a při pouhém dotyku vykazovaly značnou pružnost. Omezit popsané problémy ponecháním směsi ve formě po dobu tří dnů k zajištění dostatečného ztvrdnutí směsi se nepodařilo.

Dalším pokusem bylo postupné snižování obsahu drcené odpadní pryže ve směsi z 5% na 3%, 1%, 0,5% až na 0,1% hm. I po tomto postupu nebyla vzniklá tělesa vhodná k dalšímu zkoušení. V důsledku těchto skutečností bylo od směsi s drcenou odpadní pryží upuštěno. Po uplynutí doby zrání byly zkušební vzorky podrobeny zkouškám pevnosti v prostém tlaku a příčném tahu na zkušebním lisu InfraTest ve firmě CONSULTTEST s. r. o. dle zkušebních postupů uvedených v ČSN EN 13286-41, respektive ČSN EN 13286-42.



Obrázek 13 Zkoušení pevnosti v prostém tlaku a příčném tahu

Z výsledků je patrné, že nejvyšší pevnosti v tlaku dosahuje referenční směs I. Přidáním druhotných surovin do jednotlivých směsí došlo ke snížení pevnosti v tlaku. Nejnižší pevnosti podle očekávání dosáhla směs II, kde byl jako pojivo použit Doroport TB25. Tato skutečnost je dána pomalejším nárůstem pevnosti, jak ostatně uvádí samotný výrobce tohoto pojiva. U směsí, v nichž byla použita PET vlákna v množství 3 a 5%, nedošlo během zkoušky pevnosti v tlaku k porušení vzorků. Vzorky se pod rostoucím zatížením deformovaly a po odtížení se navracely do původní polohy. V případě pevnosti v příčném tahu došlo přidáním druhotných surovin k nepatrnému nárůstu pevností. Za zmínku stojí výrazné zvýšení hodnoty přetvoření při porušení zkušebních vzorků u směsi IV – 1, kde PET vlákna provázala jednotlivá zrna směsného recyklátu a zabránila rozpadu vzorku (fungovala jako výztuž). Na pevnost směsi ovšem PET vlákna výraznější vliv neměla.

Tabulka 8 Výsledné hodnoty zkoušení pevnosti v prostém tlaku a příčném tahu

| Směs | Pevnost v tlaku | | | Pevnost v příčném tahu | | |
|----------|-----------------|-----------|---------------|------------------------|-----------|---------------|
| | Přetvoření [mm] | Síla [kN] | Pevnost [MPa] | Přetvoření [mm] | Síla [kN] | Pevnost [MPa] |
| I | 1,48 | 44087 | 5,6 | 0,52 | 8382 | 0,5 |
| II | 1,49 | 32443 | 4,1 | 0,47 | 6868 | 0,4 |
| III – 10 | 1,55 | 38640 | 4,9 | 0,69 | 11039 | 0,7 |
| III – 15 | 1,57 | 39550 | 5,0 | 0,65 | 9683 | 0,6 |
| IV – 1 | 2,47 | 37270 | 4,7 | 1,19 | 10219 | 0,7 |
| IV – 3 | Bez porušení | | | Bez porušení | | |
| IV – 5 | Bez porušení | | | Bez porušení | | |

Na základě dosažených pevností v tlaku po 28 dnech zrání lze všechny směsi (kromě již zmíněné směsi IV s 3 a 5% PET vláken) zařadit do pevnostní třídy $C_{3/4}$ dle ČSN EN 14227-1 -Tabulka 1. Směsi třídy pevnosti menší než $C_{5/6}$ se musely podrobit zkoušce odolnosti proti mrazu a vodě.

Norma ČSN EN 14227-1 požaduje, aby výsledné hodnoty nebyly nižší než 85 % hodnoty pevnosti v tlaku po 28 dnech zrání při stálé vlhkosti. Tento požadavek byl splněn pouze v jediném případě a to u směsi II v hodnotě **87%**. Doroport TB25 vykázal větší odolnost proti mrazu a vodě než cement CEM III/A 32,5 R.

Směs I dosahovala hodnoty 77%, směs III – 10 hodnoty 78%, směs III – 15 hodnoty 82% a směs IV – 1 hodnoty 69%.

Nesplnění kritéria 85% pevnosti v tlaku lze přisoudit přítomnosti cihelného střepu ve směsném recyklátu. Velké množství cihelných střepů, které jsou značně nasákavé. U vodou nasycených zkušebních vzorků došlo vlivem mrazových cyklů k porušení struktury, která se projevila nižší dosaženou pevností.

Další výzkumy v silniční laboratoři VUT Brno směřem k určení přípustné hranice množství cihelných částic ve směsném recyklátu potvrdily výše popsany závěr. Maximální množství cihelných částic ve směsném recyklátu z hlediska namrzavosti směsi, po zkoušení v silniční laboratoři PKO je **35% obj.**

4.2 Směsný stavební recyklát do podloží vozovky

V případě použití směsi se směsným recyklátem do podloží vozovky je hlavním hodnotícím parametrem stanovení kalifornského poměru únosnosti CBR a zejména okamžitého indexu únosnosti IBI, který hodnotí okamžitou účinnost zvoleného pojiva ve stmelené směsi.

Stanovení hodnot CBR a IBI hydraulicky stmelených směsí bylo provedeno v souladu s ČSN EN 13286-47. Pro každou směs byl připraven zkušební vzorek, který byl hutněn při optimální vlhkosti ručním rázovým zhutňovačem do Proctorovy formy B (válcová forma o průměru 150 mm a výšce 120 mm). K hutnění byla použita modifikovaná Proctorova zhutňovací práce, kdy pěch o hmotnosti 4,5 kg dopadá z výšky 457 mm na každou z pěti vrstev vždy 56 údery.

Z výsledků je zřejmé, že doba zrání a následná saturace ve vodě mají výrazný vliv na nárůst únosnosti jednotlivých směsí.

Směs I (směs s cementem) vykazuje vyšší okamžitou únosnost oproti směsi II (směs s Doroportem TB25). To je dáno rychlým vývojem počáteční pevnosti u cementu. Ovšem po saturaci dosahují směsi I a II téměř shodné únosnosti. Nejvyšší únosnosti dosahuje směs III (směs se slévárenskou skořepinou). Hodnoty CBR mohou být ve skutečnosti ještě vyšší, neboť zkouška musela být přerušena před dosažením předepsané penetrace 10 mm z důvodu kapacity lisu, která činí 100 kN.

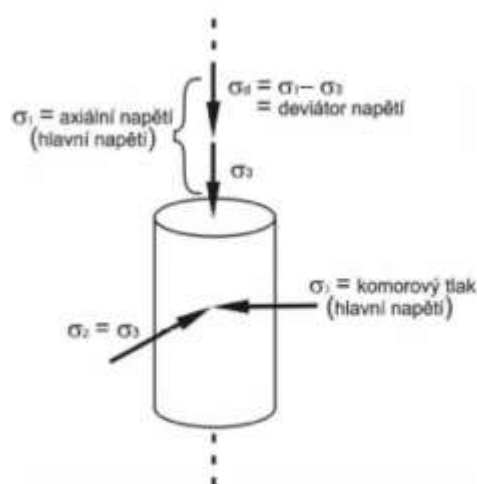
Tabulka 9 Výsledné hodnoty poměrů únosnosti zkoušených stabilizovaných směsí

| Označení směsi | Penetrace [mm] | Standardní síla [kN] | Okamžitý index únosnosti | | Kalifornský poměr únosnosti | |
|----------------|----------------|----------------------|--------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| | | | Síla [kN] | IBI [%] | Síla [kN] | CBR [%] |
| Směs I | 2,5 | 13,2 | 7,2 | 54,5 | 39,0 | 295,5 |
| | 5,0 | 20,0 | 13,9 | 69,5 | 78,0 | 390,0 |
| Směs II | 2,5 | 13,2 | 3,8 | 28,8 | 39,6 | 300,0 |
| | 5,0 | 20,0 | 6,5 | 32,5 | 78,8 | 394,0 |
| Směs III – 10 | 2,5 | 13,2 | 11,9 | 90,2 | 56,0 | 424,2 |
| | 5,0 | 20,0 | 17,8 | 89,0 | 98,8 | 494,0 |
| Směs III – 15 | 2,5 | 13,2 | 9,3 | 70,5 | 61,8 | 468,2 |
| | 5,0 | 20,0 | 16,0 | 80,0 | 100,0 | 500,0 |
| Směs IV – 1 | 2,5 | 13,2 | 8,6 | 65,2 | 31,1 | 235,6 |
| | 5,0 | 20,0 | 16,7 | 83,5 | 59,3 | 296,5 |
| Směs IV – 3 | 2,5 | 13,2 | 3,1 | 23,5 | 17,0 | 128,8 |
| | 5,0 | 20,0 | 6,2 | 31,0 | 33,1 | 165,5 |
| Směs IV – 5 | 2,5 | 13,2 | 3,7 | 28,0 | 8,2 | 62,1 |
| | 5,0 | 20,0 | 7,5 | 37,5 | 16,5 | 82,5 |

Tyto směsi vykazují vyšší hodnoty i ve srovnání s referenční směsí I, což dokazuje pozitivní vliv slévarenské skořepiny na únosnost. Příčinou této skutečnosti je nejpravděpodobněji pojivo použité ve skořepině (nezjištěno).

Směs IV, u které byla použita PET vlákna, vykazují snižování únosnosti při zvyšování procentuálního zastoupení vláken. V porovnání s referenční směsí I došlo pouze k nepatrnému zvýšení okamžité únosnosti v případě přidání PET vláken v množství 1 %. Tento fakt ovšem už neplatí po saturaci.

Experimentálním zkoušením na těchto stmelných směsích bylo stanovení modulu pružnosti v cyklickém triaxiálním přístroji. Zkouška cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji patří k tzv. funkčním zkouškám, které se snaží co nejreálněji napodobit dopravní zatížení působící v podloží a konstrukci vozovek pozemních komunikací. Cyklický triaxiální přístroj se skládá ze zatěžovacího zařízení, které aplikuje svislé zatížení σ_1 na válcový vzorek (průměru 100 mm a výšky 200 mm) a simuluje pojezd těžkých nákladních vozidel po pozemní komunikaci. Dále pak z triaxiální komory, kde je aplikován příslušný boční (komorový) tlak σ_3 , který simuluje odpor okolního materiálu proti roztlačování vzorku do stran pod svislým zatížením. Výstupem zkoušky jsou stanovené moduly pružnosti E_r , které charakterizují recyklovaný stavební materiál při cyklickém zatěžování (nahrazuje těžkou nákladní dopravu) v určité vrstvě vozovky.



Obrázek 14 Cyklický triaxiální přístroj pro zkoušení zkušebních válcových těles průměru 100 mm, výšky 200 mm

Vzhledem k předpokladu využití navržených směsí do spodní podkladní vrstvy vozovky byla pro zkoušku použita metoda zatěžování B s konstantním komorovým tlakem. Pro přípravu vzorku (= kondicionování) byla zvolena úroveň nízkého napětí, která je charakterizována konstantním komorovým tlakem o velikosti 70 kPa ($\sigma_3 = 70$ kPa) a deviatorem napětí v minimální hodnotě 0 kPa ($\sigma_{d,\min} = 0$ kPa) a maximální hodnotě 200 kPa ($\sigma_{d,\max} = 200$ kPa). Aplikované úrovně napětí pokrývají rozsah napětí, kterému je materiál vystaven v konstrukci vozovky. Normou ČSN EN 13286-7 je předepsáno provést cyklický deviator napětí při 20 000 cyklech. Ovšem pokud jsou plastické osové přetvoření a modul pružnosti konstantní, pak lze počet zatěžovacích cyklů pro přípravu vzorku snížit na 10 000. Příprava vzorku tedy probíhala aplikováním 10 000 zatěžovacích cyklů pro ustálení trvalých deformací vzorku při komorovém tlaku 70 kPa a deviatoru napětí 200 kPa. [8]

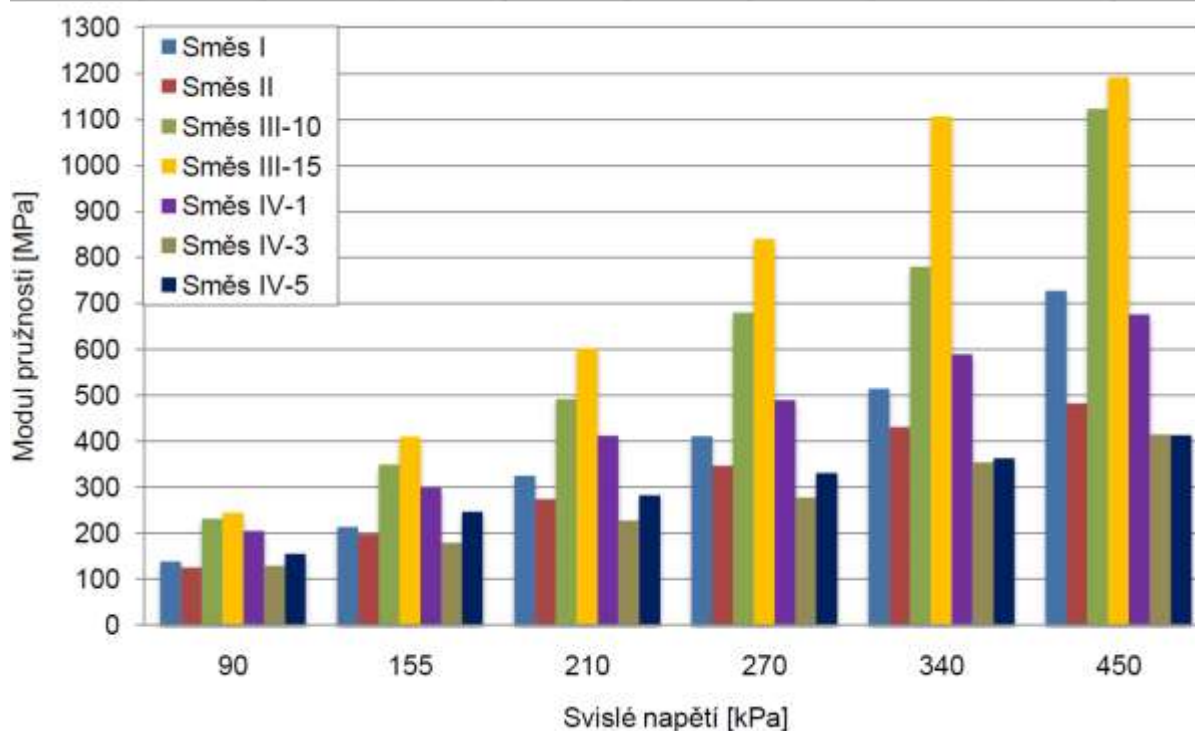
Pro zkoušení pružnosti se provádí opakované zatěžování, kdy se sníží komorový tlak na 20 kPa a následně se postupně aplikují úrovně napětí s komorovými tlaky 20, 35, 50, 70, 100 a 150 kPa definované v normě ČSN EN 13286-7. Použije se každý zatěžovací cyklus na 100 cyklů a zaznamenají se hodnoty napětí a přetvoření při 100. cyklu. [8]

Výsledkem cyklické triaxiální zkoušky jsou moduly pružnosti zkoušených směsí pro různé kombinace komorového tlaku a svislého napětí (výsledky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze A). Pro vzájemné porovnání jednotlivých směsí jsou v následném grafu vyneseny moduly pružnosti v závislosti na maximálním svislém napětí pro konkrétní komorové tlaky.

Jak je patrné z výsledků laboratorních zkoušek na stmelených směsích ze směsných recyklátů, použití recyklovaných stavebních materiálů do konstrukce vozovky bude mít největší uplatnění právě ve stmelených podkladních vrstvách vozovek.

Tabulka 10 Výsledné hodnoty naměřených modulů pružnosti pro jednotlivé stmelené směsi se směsným recyklátem

| Komerový tlak [kPa] | Deviátor napětí [kPa] | Svislé napětí [kPa] | Modul pružnosti [MPa] | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
| | | | I | II | III – 10 | III – 15 | IV – 1 | IV – 3 | IV – 5 |
| 20 | 70 | 90 | 137,59 | 124,99 | 230,35 | 244,06 | 204,53 | 128,75 | 154,38 |
| 35 | 120 | 155 | 212,97 | 197,20 | 347,67 | 408,79 | 298,13 | 178,09 | 245,86 |
| 50 | 160 | 210 | 323,86 | 273,66 | 491,39 | 601,47 | 411,30 | 226,37 | 282,15 |
| 70 | 200 | 270 | 409,61 | 345,96 | 678,68 | 839,51 | 488,98 | 276,76 | 330,23 |
| 100 | 240 | 340 | 513,41 | 430,57 | 779,04 | 1106,29 | 588,07 | 353,41 | 362,66 |
| 150 | 300 | 450 | 726,23 | 481,01 | 1122,40 | 1191,92 | 675,02 | 413,46 | 412,28 |



Obrázek 15 Grafické srovnání modulů pružnosti stmelených směsí s recyklátem

Základní směs je vždy recyklát ve frakci 0/16, až 0/63 mm a pojivem tradiční směsné cementy nebo nově používaná hydraulická silniční pojiva. Jak je vidět z výsledků zkoušek další příměši druhotných surovin je nutné vždy pečlivě otestovat před doporučením do konstrukční vrstvy. Z výsledků provedených zkoušek lze konstatovat že:

- zkoušený směsný recyklát vyhovoval svou zrnitostí pro použití ve stmelených směsích;
- drcená odpadní pryž se v cementem stmelené směsi neosvědčila (vyrobené zkušební vzorky nebyly vhodné ke zkoušení z důvodu vzniklých trhlin);
- cementem stmelené směsi se slévárenskou skořepinou dosahovaly vyšších hodnot IBI i CBR oproti referenční směsi;

- směsi, u kterých byla použita PET vlákna, mají tendenci ke snižování únosnosti při zvyšování procentuálního zastoupení vláken;
- nejvyšší hodnoty pevnosti v tlaku dosahovala referenční směs, ostatní směsi dosahovaly v důsledku přidání druhotných surovin nižších pevností;
- směsi s přídatkem 3 a 5% PET vláken se při zkoušce pevnosti v prostém tlaku chovaly značně pružně (po odtížení se zkušební vzorky vracely do původní polohy) a během zkoušky nedošlo k jejich porušení (všechny ostatní směsi lze zařadit do třídy pevnosti $C_{3/4}$);
- zkouškou odolnosti proti mrazu a vodě byla zjištěna značná náchylnost cementem stmelených směsí ke ztrátě pevnosti (normou předepsané kritérium 85% pevnosti v tlaku nebylo v případě těchto směsí splněno – hodnoty se pohybovaly v rozmezí 69 – 82%);
- zkoušce odolnosti proti mrazu a vodě vyhověla pouze směs, kde bylo jako pojiva použito Doroportu TB25;
- směs s příměsí slévárenské skořepiny, vykazovala vyšší hodnoty modulu pružnosti než referenční směs I (při hodnotě svislého napětí 90 kPa došlo přidáním 10% hm. slévárenské skořepiny k nárůstu modulu pružnosti až o 67%, přidáním 15% hm. to bylo dokonce o 77%);
- přidáním 1% PET vláken (směs IV-1) došlo k nárůstu E_r o 49%;
- směs s pojivem Doroport TB25 dosahuje nižšího modulu pružnosti než směs s cementem, přičemž zvětšováním hodnoty deviátoru napětí je tento rozdíl výraznější;
- srovnáním laboratorně a reálně zjištěných modulů pružnosti bylo zjištěno, že stmelené směsi se směsným recyklátem dosahují výrazně nižších hodnot, než jakých bylo dosaženo v případě směsí s betonovým recyklátem použitých na zkušebním úseku účelové komunikace v Brně Černovicích (zkušební polygon). [8]

4.3 Betonový recyklát pro podkladní vrstvy

Pro běžné využití recyklovaného materiálu je důležité dokázat, že směsi tohoto materiálu lze použít do konstrukcí vozovek, zejména u vozovek s nízkým dopravním zatížením nebo specifickým statickým zatížením. Jedná se především o vrstvy stmelené hydraulickými pojivy do podkladních vrstev s plným využitím množství betonových recyklátů.

Tyto směsi z recyklátu splňují všechny příslušné požadavky, a proto není problém s jejich použitím do konstrukcí vozovek pozemních komunikací. Podle platných EN se posuzuje vlastnost stmelené směsi, nikoli vlastnosti kameniva, což významně usnadňuje použití recyklátů, které mají v některých případech problém se stejnorodostí zejména zrnitostních parametrů a nasákavosti. Nejjednodušší je však využití recyklátů jako nestmelených směsí do podkladních vrstev vozovek.

Nestmelené směsi vycházejí z certifikovaných výrobků (přírodní kamenivo) a to je největší problém využití recyklátů do těchto nepoužívanějších směsí pro podkladní vrstvy vozovky. Některé, zejména mechanické zkoušky kameniva a trvanlivost kameniva nejsme schopni recyklovaným stavebním materiálem dosáhnout.

4.3.1 Betonový recyklát pro nestmelené směsi

V silniční laboratoři fakulty stavební VUT Brno byla provedena řada laboratorních zkoušek na ověření geometrických, fyzikálně-mechanických zkoušek a zkoušek odolnosti na změnu teplot kameniva pro nejkvalitnější betonový recyklát, který je v ČR dostupný ve významnějším množství – betonový recyklát ze starého vybouraného CB krytu při modernizaci dálnice D1.

Zrnitost betonového recyklátu byla vyhodnocena podle ČSN EN 13285 Nestmelené směsi – Specifikace, kde byla porovnána s požadovanými dolními a horními mezemi zrnitosti používaných nestmelených směsí typu šterkodrt'. Betonový recyklát z hlediska zrnitosti vyhověl třídě zrnitosti G_A , která odpovídá použití pro nejkvalitnější nestmelenou směs mechanicky zpevněného kameniva (MZK). Další geometrickou vlastností betonového recyklátu porovnanou s požadovanými hodnotami předpisu ČSN EN 13242+A1 kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickým pojivem byl tvarový index. Výsledná hodnota tohoto důležitého parametru, který popisuje stav drceného kameniva z hlediska poměru nekubických a kubických zrn byla u betonového recyklátu 26%, což odpovídá běžně používané třídě SI_{40} pro šterkodrt'. Problém nastal u mechanických zkoušek, první v řadě, odolnost proti drcení. Vzorek betonového recyklátu byl po dobu cca 15 min. pod vodopádem padajících ocelových koulí. Stanovení poměru „rozbitých“ zrn k celému vzorku ukázal, že křehkost betonového recyklátu je nevýhodou v použití do horních podkladních vrstev vozovek. Výsledná hodnota odolnosti proti drcení Los Angeles $LA = 68\%$ neodpovídala žádné používané třídě podle výše uvedené normy. Hodnota nasákavosti je u kameniva používaného do nestmelených směsí indikátorem trvanlivosti kameniva z hlediska odolnosti proti zmrazování a rozmrazování a odolnosti proti solím (síranu hořečnatému). Pro zkoušený betonový recyklát z D1 byla hodnota 24 hodinové nasákavosti na frakce 8/16 mm zjištěna $WA_{24} = 2,4 \%$. Ze všech zkoušených betonových recyklátů v silniční laboratoři je tento výsledek nasákavosti nejmenší. Odolnost proti zmrazování a rozmrazování betonového recyklátu z D1 je dobrá, rozpad vlivem cyklování mrazem -20°C po dobu 10 dní vychází na 2,5% úbytku hmotnosti původního vzorku. Nevyhovující odolnost proti drcení znemožňuje použití betonového recyklátu jako kameniva do nestmelené směsi. Z tohoto důvodu je výhodnější použití recyklátů do stmelených směsí. Posouzení kvality tak zůstává na pevnostních charakteristikách tuhé směsi ve zkušebním válcovém tělese, nikoli na posuzování jednotlivých empirických vlastností vstupního výrobku kameniva, kde jak se ukázalo i v případě recyklátů, může jeden výsledek eliminovat použití materiálu do konstrukční podkladní vrstvy vozovky.

4.3.2 Betonový recyklát pro stmelené směsi

Jedná se o kvalitou nejlepší recyklovaný stavební materiál, proto byly návrhy stmelených směsí směřovány na horní podkladní vrstvy vozovek, případně spodní vrstvy CB krytů. Zvolené stmelené směsi :

- směs z betonového recyklátu a 9% hmotnosti Doroportu TB25
- směs z betonového recyklátu a 9% hmotnosti cementu směsného CEM V/A (S-V) 32,5R
- směs z betonového recyklátu a 15% hmotnosti fluidního popílku
- směs z betonového recyklátu, 11% hmotnosti cementu portlandského CEM I/A 32,5R

Cílem zkoušení betonového recyklátu (Rc) bylo zjistit, zda jej lze zpětně použít do vozovek pozemních komunikací. Ověřování pevnostních charakteristik betonového recyklátu do stmelených směsí podkladních vrstev se provádělo na zkušebních tělesech ze čtyř různých směsí. Laboratorní zkouškou pevnosti v prostém tlaku po 28 dnech zrání těles bylo zjištěno, že směs z Rc a pojiva Doroportu TB25 dosáhla průměrné pevnosti 4,2 MPa, směs Rc a cementu směsného CEM V/A 32,5R pevnosti 5,6 MPa a směs Rc a fluidního popílku pevnosti 1,4 MPa. Požadavek na pevnost v prostém tlaku do konstrukčních vrstev je větší než 2 MPa. První dvě směsi vyhověly tomuto požadavku pevnosti podle ČSN EN 14227-1. Třetí směs z Rc a fluidního popílku nevyhovuje, není tudíž její použití do stmelených směsí podkladních vrstev vhodné.

Čtvrtá směs Rc s portlandským cementem CEM I/A 32,5R byla posuzována podle ČSN EN 13 877-1 (pevnost v prostém tlaku), která uvádí tabulku požadavků pro CB kryty a to do všech tří skupin. Pro třídy CBI a CBII je přípustná třída pevnosti C30/37 a pro třídu CBIII C25/30. Výsledná pevnost zkušebních krychelných těles byla 8,9 MPa. Jak vyplývá z výše uvedených požadavků na pevnostní třídy CB krytu, zkušební tělesa z Rc a portlandského cementu výrazně nevyhověly. Pevnostem požadovaným pro CB kryty by bylo možné se přiblížit při neekonomickém zvýšení dávek pojiva a s rizikem rychlého výskytu reflexních trhlin ve stmelené vrstvě.



Obrázek 16 Porušená zkušební tělesa zkoušených směsí betonového recyklátu s hydraulickým pojivem

5 STUDENÉ ASFALTOVÉ SMĚSI S R-MATERIÁLEM

V poslední době je silniční praxí v Česku věnována pozornost především R-materiálu, recyklátu, který patří do skupiny stavebně demoličního odpadu, vzniklého při recyklacích asfaltových vrstev vozovky. Efektivní využívání R-materiálu v silničním stavitelství se velmi odvíjí od používaných technologií. V České republice je snaha navrhovat horké asfaltové směsi s co největším podílem R-materiálu. Při současné výrobě asfaltových směsí, je výsledkem této snahy dávkování R-materiálu okolo 20 až 40 % hm. v závislosti na typu vrstvy. Snahou některých firem je toto dávkování zvýšit s použitím tzv. paralelního bubnu pro ohřev R-materiálu.

Právě při použití paralelního bubnu je možné razantně zvýšit dávkování R-materiálu (až na 80 % hm.). Snaha zvýšit dávkování R-materiálu je však v České republice omezena legislativou. V zahraničí je běžné dávkování R-materiálu do horké asfaltové směsi okolo 50 až 60 % (při použití paralelního bubnu), to je zapříčiněno nízkou výkupní cenou R-materiálu a vhodným skladováním tohoto recyklátu na obalovně.

Kromě R-materiálu (čistého asfaltového recyklátu) je možné zpracovat i asfaltový recyklát „horší kvality“, který obsahuje významné procento zrn neobalených asfaltem. Na rozdíl výroby horkých asfaltových směsí se technologie zpracovávající tento asfaltový recyklát nazývají studené asfaltové směsi a technologie pak recyklace za studena.

Recyklace za studena je technologie, při níž je rekonstruována stávající konstrukce vozovky, a veškeré rozpojené kamenivo je znovu použito do nově pokládané vrstvy. Recyklace za studena na místě je technologie, při níž žádné nové recyklované kamenivo nevzniká, protože je použito jako kostra kameniva ve studené asfaltové směsi v nově položené podkladní vrstvě vozovky. Tato technologie je nejvíce rozšířená na silnicích s nižším dopravním významem (obvykle nejvíce porušené silnice III. třídy), protože zesiluje a zhomogenizuje stávající porušenou konstrukci vozovky. R-materiál vzniká při opravách nebo údržbách pozemních komunikací, kdy je frézován stávající kryt netuhé vozovky, nebo další asfaltové vrstvy.

R-materiál bývá odvážen na obalovnu, kde je použit do horké asfaltové směsi. Dále je možné R-materiál odvážet do míchacího centra pro výrobu studené asfaltové směsi. Kostra těchto recyklovaných studených směsí bývá tvořena výhradně z R-materiálu (pro úpravu zrnitosti je možné použít drobné drcené kamenivo), který je stmelěn asfaltovou emulzí, cementem nebo zpeňným asfaltem. Možné je také použít kombinaci různých pojiv např. asfaltové emulze a cementu. Tyto studené asfaltové směsi jsou používány jako podkladní vrstvy málo zatížených vozovek (silnice III. třídy a místní komunikace). Možné použití těchto směsí je na účelových komunikacích, zde mohou být opatřeny nátěrem a sloužit jako krytové vrstvy.

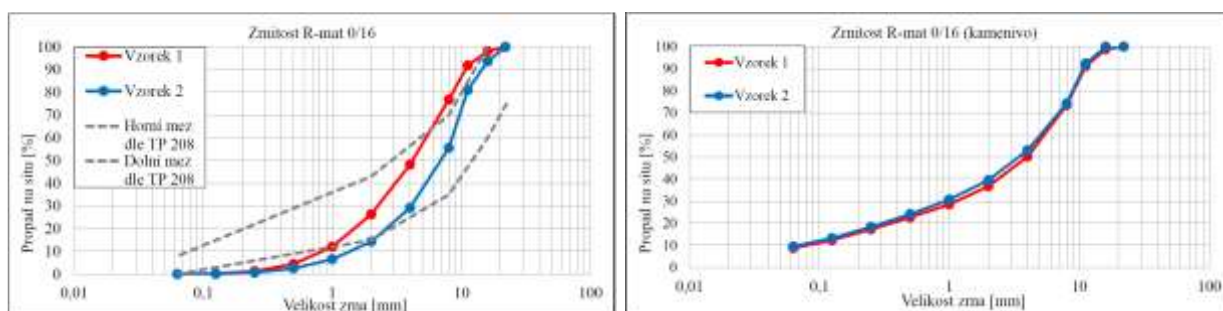
V poslední době se rozmohl trend upravovat vlastnosti zestárlého asfaltového pojiva v asfaltovém recyklátu pomocí rejuvinátorů. V silniční laboratoři byly provedeny návrhy a posouzení studených směsí s těmito „oživovači“ zoxidovaných asfaltů.

Použitý materiál na ověření vlastností studených směsí byl R-materiál frakce 0/16 mm z obalovny Rajhradice. Označení **22 RA 0/16** dle ČSN EN 13108 – 8. Dále označován jako **R-mat 0/16**.



Obrázek 17 Zkušební vzorek R-materiálu z Rajhradice

Na R-materiálu byl proveden síťový rozbor, extrakce pojiva a síťový rozbor kameniva po extrakci pojiva. Na vyextrahovaném pojivu byla stanovena penetrace jehlou a bod měknutí. Dále byla stanovena maximální objemová hmotnost a zhutnitelnost R-materiálu. Zhutnitelnost byla zjišťována metodou Proctor modifikovaný, vibračním pěchem a lisováním. Průměrný obsah zbytkového asfaltového pojiva v R-materiálu byl **5,4% hm.** a průměrný obsah jemných částic **9,2% hm.** Průměrná hodnota penetrace asfaltu v recyklátu byla **18 p.j.** (tvrdý, křehký asfalt). Průměrná hodnota bodu měknutí **KK=65**.



Obrázek 18 Čáry zrnitosti zkoušeného asfaltového recyklátu před a po extrakci

Návrh jednotlivých studených asfaltových směsí byl proveden z :

- Kamenivo: R-materiál frakce 0/16 mm (Jihomoravská obalovna s.r.o. - Rajhradice)
Označení dle ČSN EN 13108-8: 22 RA 0/16
- Pojivo: Asfaltová emulze Paramo KATEBIT C 65 B 3
Cement směsný CEM V/A (S-V) 32,5 R
- Prísady: Paramo Reju 553, Paramo Reju 182, Paramo Reju 161

Tabulka 11 Popis navržených studených asfaltových směsí

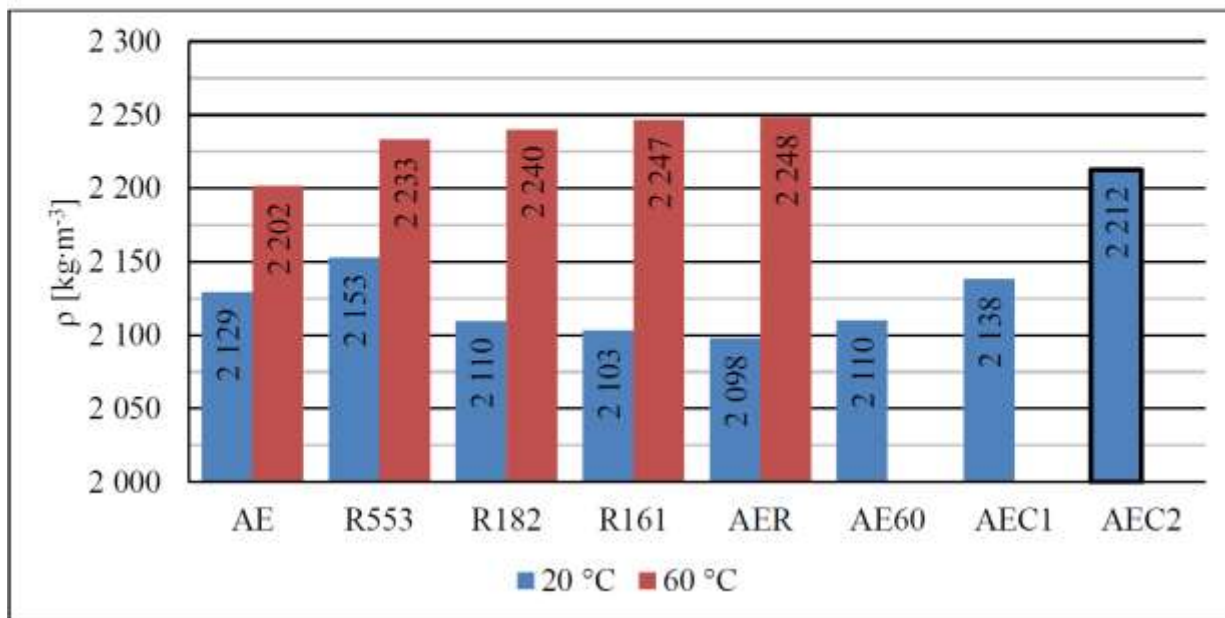
| Označení směsi | Kamenivo | | Pojivo | | Přísady | |
|----------------|------------|-------|------------------|---------|----------|---------|
| AE | R-mat 0/16 | 100 % | Katebit C 65 B 3 | 2 % hm. | - | - |
| AE60 | R-mat 0/16 | 100 % | Katebit C 65 B 3 | 2 % hm. | - | - |
| R553 | R-mat 0/16 | 100 % | - | - | Reju 553 | 2 % hm. |
| R182 | R-mat 0/16 | 100 % | - | - | Reju 182 | 2 % hm. |
| R161 | R-mat 0/16 | 100 % | - | - | Reju 161 | 2 % hm. |
| AER | R-mat 0/16 | 100 % | Katebit C 65 B 3 | 1 % hm. | Reju 553 | 1 % hm. |
| AEC1 | R-mat 0/16 | 100 % | Katebit C 65 B 3 | 2 % hm. | - | - |
| | | | CEM V/A 32,5 R | 1 % hm. | - | - |
| AEC2 | R-mat 0/16 | 100 % | Katebit C 65 B 3 | 2 % hm. | - | - |
| | | | CEM V/A 32,5 R | 3 % hm. | - | - |

Experimentální zkoušky studených asfaltových směsí byly provedeny na základě požadavků Technických podmínek TP 208 – Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena - kapitola 7.2: Stmelené směsi. V rámci práce byly navrženy dvě různé teploty hutnění směsí. Teploty hutnění byly 20 °C (laboratorní teplota) a zvýšená teplota 60 °C. Aby se daly zkoušené směsi porovnat s požadavky TP 208 byly zvoleny zkoušky stanovení objemové hmotnosti, mezerovitosti, pevnosti v příčném tahu a odolnosti proti vodě. Dle očekávání měla vyšší objemovou hmotnost tělesa vyrobená při teplotě hutnění 60 °C.

Zbytkové pojivo v R-materiálu ($s = 5,4 \%$) vlivem vyšší teploty „změklo“ a jednotlivá zrna kameniva v R-materiálu se tak do sebe mohla lépe zaklínit. Tělesa ze směsí stmelené kombinací asfaltové emulze a cementu byla vyráběna na základě zhutnitelnosti směsí AEC2. Suchá objemová hmotnost (ρ_d) směsí AEC2 byla o 20 kg·m⁻³ vyšší než suchá objemová hmotnost (ρ_d) R-materiálu, podle které byly hutněny směsi stmelené asfaltovou emulzí a směsi s rejuvenátory. Proto mají směsi s cementem o něco vyšší objemovou hmotnost než ostatní směsi hutněné při teplotě 20 °C.

S objemovou hmotností přímo souvisí mezerovitost, která byla u těles vyrobených při teplotě hutnění 60 °C do 14 %. Právě mezerovitost 14 % je podle TP 208 limitní hodnotou pro směsi stmelené asfaltovou emulzí. Tomuto požadavku vyhověla pouze tělesa vyrobená při teplotě hutnění 60 °C. U směsí stmelených kombinací asfaltové emulze a cementu se mezerovitost nesleduje.

| Teplota hutnění | Objemová hmotnost směsi ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] | | | | | | | |
|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | AE | R553 | R182 | R161 | AER | AE60 | AEC1 | AEC2 |
| 20 °C | 2 129 | 2 153 | 2 110 | 2 103 | 2 098 | 2 110 | 2 138 | 2 212 |
| 60 °C | 2 202 | 2 233 | 2 240 | 2 247 | 2 248 | - | - | - |



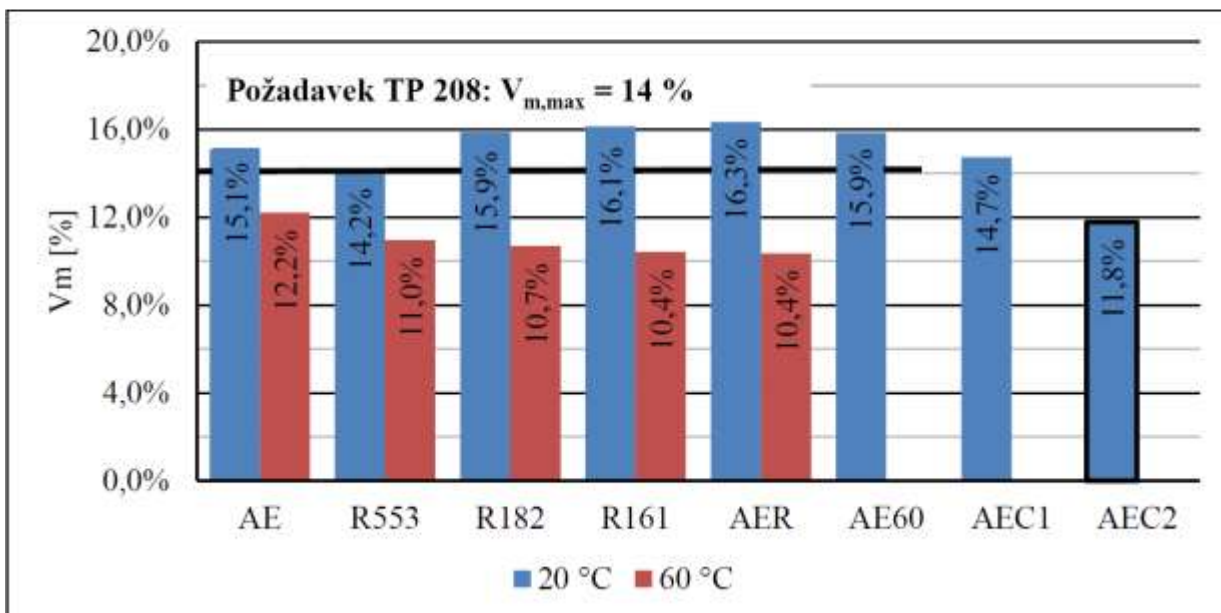
Obrázek 19 Porovnání objemových hmotností navržených studených asfaltových směsí



Obrázek 20 Přehled zkušebních válcových těles hutněných při teplotě 20 °C

Stanovení pevnosti v příčném tahu bylo provedeno podle ČSN EN 13286 – 42 – Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy. Jelikož jde o směsi z R-materiálu, postup zkoušky byl upraven podle TP 208 – Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena – Příloha B. 2. 9: Stanovení pevnosti v příčném tahu a odolnosti proti vodě. Podstatou této zkoušky je vystavit válcové zkušební těleso tlaku, který působí na dvou protilehlých tlačných páscích na obvodu tělesa, až do jeho porušení. Ze síly odečtené při porušení tělesa je vypočítána pevnost v příčném tahu.

| Teplota hutnění | Mezerovitost směsi V_m [%] | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | AE | R553 | R182 | R161 | AER | AE60 | AEC1 | AEC2 |
| 20 °C | 15,1 | 14,2 | 15,9 | 16,1 | 16,3 | 15,9 | 14,7 | 11,8 |
| 60 °C | 12,2 | 11,0 | 10,7 | 10,4 | 10,4 | - | - | - |



Obrázek 21 Porovnání mezerovitostí zkoušených studených asphaltových směsí



Obrázek 22 Zkouška pevnosti v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech

Ze získaných výsledků je patrné, že požadavkům na pevnost v příčném tahu podle TP 208 ($R_{it} \geq 0,30$ MPa) vyhověly pouze 4 navržené směsi. Tělesa vyrobená při teplota hutnění 60 °C nevykazují výrazně vyšší pevnosti oproti teplotě 20 °C.

Ohřívání R-materiálu na teplotu 60 °C je tedy neefektivní, další zkoušky budou provedeny na tělesech hutněných při 20 °C. Dále lze z grafu usoudit, že **směsi R-materiálu a rejuvenátory zdaleka nesplňují požadavek na minimální pevnost v příčném tahu**. Zajímavý je rozdíl pevností mezi směsí AE a AEC1. Obě směsi obsahují stejné množství asfaltové emulze, ve směsi AEC1 je navíc 1 % hm. Dalo by se tedy předpokládat, že tělesa z této směsi budou vykazovat vyšší odolnost proti tahovému napětí. Z těchto důvodů byly pro další zkoušení vybrány tyto směsi AE, AEC1 a AEC2, které byly vyráběny při laboratorní teplotě 20 °C. Tyto směsi jsou stmelené stejným množstvím asfaltové emulze (2 % hm.), ale v každé směsi je pak jiné množství cementu (AE = 0 % hm.; AEC1 = 1 % hm.; AEC2 = 3 % hm.). Při dalším zkoušení budou sledovány změny vlastností s rostoucím dávkováním cementu do studených asfaltových směsí.

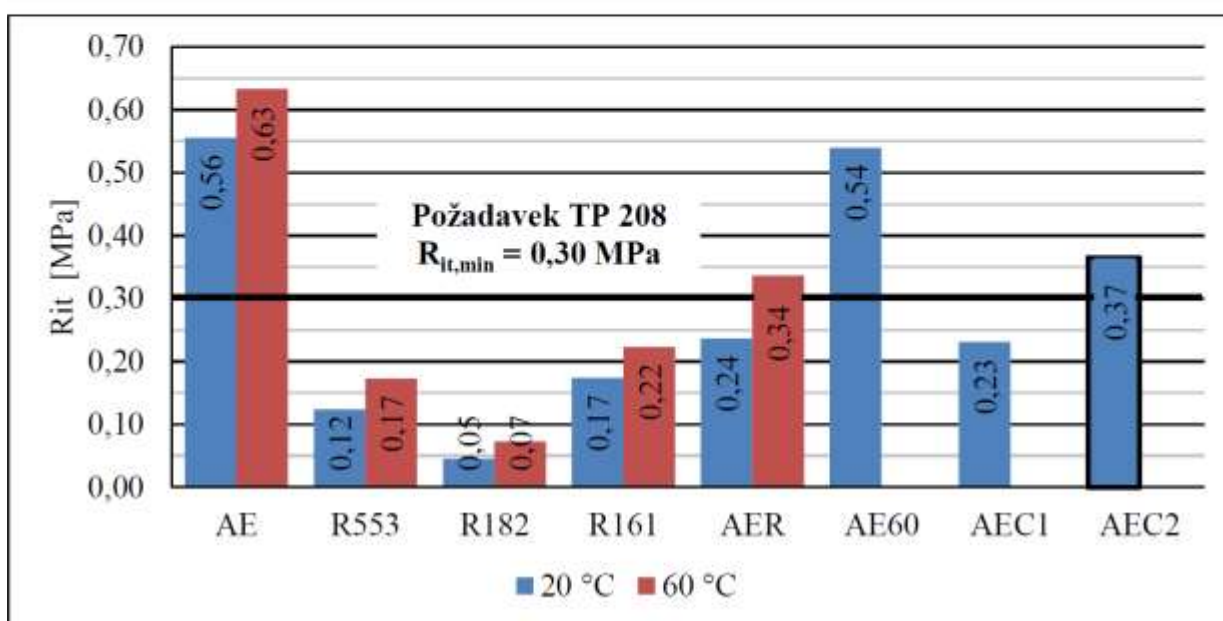


Obrázek 23 Zkušební tělesa navržených studených směsí po zkoušce pevnosti v příčném tahu (R_{it})

Stanovení odolnosti proti vodě bylo provedeno podle TP 208 – Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena – Příloha B. 2. 9: Stanovení pevnosti v příčném tahu a odolnosti proti vodě. U této zkoušky se zjišťuje vliv vody na vlastnosti studené asfaltové směsi.

Princip zatěžování zkušebních těles je stejný jako u zkoušky pevnosti v příčném tahu, pouze jsou před zkouškou tělesa saturována vodou. Výsledkem zkoušky je poměr mezi pevností v příčném tahu po saturaci k pevnosti v příčném tahu bez saturace.

| Teplota hutnění | Pevnost v příčném tahu R_{it} [MPa] | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | AE | R553 | R182 | R161 | AER | AE60 | AEC1 | AEC2 |
| 20 °C | 0,56 | 0,12 | 0,05 | 0,17 | 0,24 | 0,54 | 0,23 | 0,37 |
| 60 °C | 0,63 | 0,17 | 0,07 | 0,22 | 0,34 | - | - | - |
| Přetvoření [mm] | | | | | | | | |
| 20 °C | 2,83 | 1,99 | 1,68 | 1,78 | 2,19 | 2,67 | 1,96 | 2,00 |
| 60 °C | 2,28 | 1,88 | 1,45 | 1,69 | 1,81 | - | - | - |



Obrázek 24 Porovnání výsledných hodnot pevnosti v příčném tahu (R_{it}) studených asfaltových směsí

Tabulka 12 Výsledky odolnosti proti vodě studených asfaltových směsí

| Teplota hutnění 20 °C | AE | AEC1 | AEC2 |
|---------------------------------------|------------------|----------------|----------------|
| Pevnost v příčném tahu R_{it} [MPa] | 0,56 | 0,23 | 0,37 |
| Odolnost proti vodě [MPa] | 0,10 | 0,23 | 0,54 |
| Přetvoření [mm] | 1,49 | 1,50 | 1,36 |
| Pevnost vztahovaná k R_{it} [%] | 17,8 % | 100 % | 145,9 % |
| Požadavek 60 % z R_{it} | NESPLNĚNO | - | - |
| Požadavek 75 % z R_{it} | - | SPLNĚNO | SPLNĚNO |

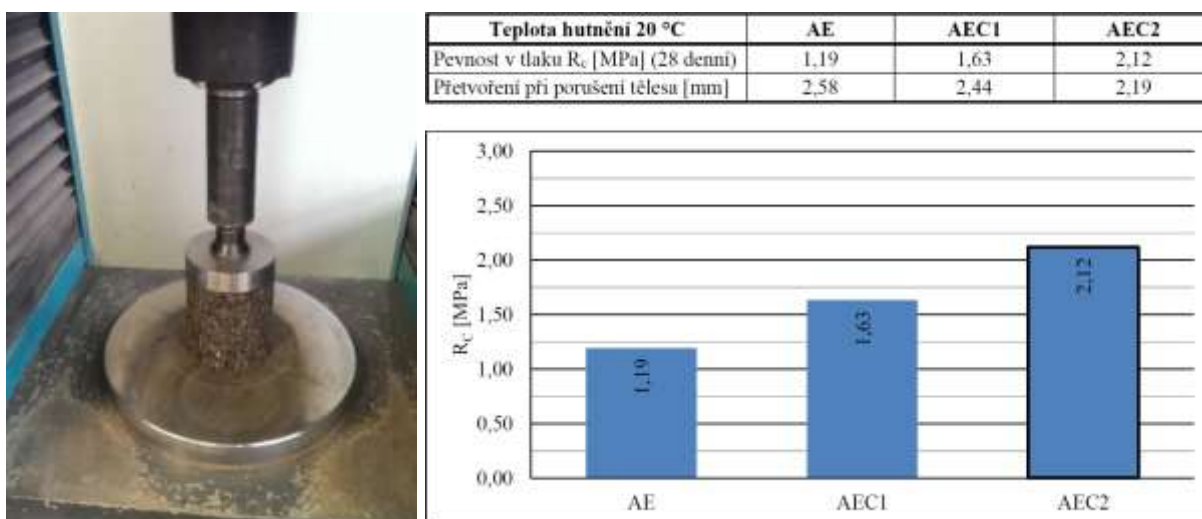
Pozn.: Směs AEC1 nevyhověla požadavku na minimální pevnost v příčném tahu $R_{it,min} = (0,30 - 0,70)$ MPa a ani nesplnila požadavek na odolnost proti vodě. Navržená směs je tedy nevhodná pro použití do vozovky.

Ze získaných hodnot je patrné že vyhověla požadavkům TP 208 na odolnost proti vodě vyhověli pouze směsi stmelené kombinací asfaltové emulze a cementu. Požadavky TP 208 na pevnost v příčném tahu (R_{it}) a zároveň na odolnost proti vodě splnila pouze směs AEC2. Asfaltová emulze s dostatečným množstvím cementu (u směsi AEC2 3 % hm.) stmelí směs natolik, že odolává tahovým napětím a zároveň účinku vody.

Je též patrné, že se pevnost těles ze směsi AEC2 po dobu zrání ve vodě ještě zvýšila. To je zapříčiněné probíhající hydratací cementu ve směsi. **Z navržených studených asfaltových směsí vyhověla průkazným zkouškám, uvedených v TP 208, pouze směs s označením AEC2. Z navržených směsí je tedy jediná vhodná pro podkladní vrstvy málo zatížených vozovek, např. komunikací III. tříd a místních komunikací.**

Experimentálním měřením ne v souladu s TP 208 byla stanovena pevnost v tlaku (R_c) a dále funkční zkouška pro zjištění dalších charakteristik studených asfaltových směsí - modul pružnosti (E_r) v cyklickém triaxiálním přístroji. Pevnost v tlaku byla provedena z důvodu hledání příčiny významného rozdílu pevností v příčném tahu u směsí AE a AEC, ale také z důvodu doplnění modulu pružnosti (E_r). Pomocí funkčních zkoušek získáváme informace o možném chování vybraných směsí po případném zabudování do konstrukce vozovky. Funkční zkoušky se snaží simulovat skutečné prostředí vozovky a také skutečné (dynamické) namáhání konstrukčních vrstev vlivem dopravního zatížení.

Stanovení pevnosti v prostém tlaku bylo provedeno podle ČSN EN 13286 – 41 – Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelých hydraulickými pojivy.

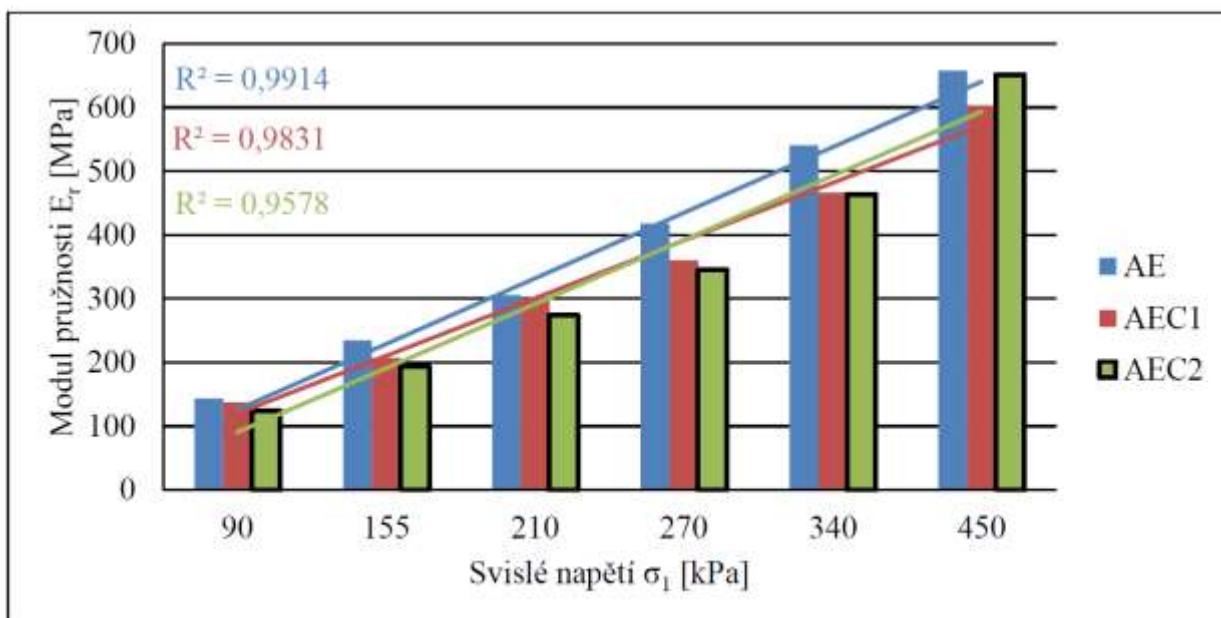


Obrázek 25 Stanovení a vyhodnocení pevnosti v tlaku na studených asfaltových směších

Stanovení modulu pružnosti bylo provedeno podle ČSN EN 13286 – 7 – Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji. Zkušební metoda B – zjednodušený režim napětí s cyklickým osovým deviátorem napětí a konstantním komorovým tlakem. Úroveň nízkého napětí simuluje pomalou těžkou nákladní dopravu o nízké intenzitě (rychlost vozidel do cca 40 km/h jedoucí např. na místních komunikacích). Při předpokládaném položení těchto směsí do vozovky jako horní podkladní vrstvy (pod dvě asfaltové vrstvy), můžeme hodnoty z modulů pružnosti odečítat při svislém zatížení $\sigma_1 = 450$ kPa.

Tabulka 13 Výsledné hodnoty modulů pružnosti E_r z dynamického namáhání v cyklickém triaxiálním přístroji (metoda B – nízké napětí)

| Komorový tlak σ_3 | Deviátor napětí σ_d | Svislé napětí σ_1 | Modul pružnosti E_r [MPa] | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | | | AE | AEC1 | AEC2 |
| [kPa] | [kPa] | [kPa] | | | |
| 20 | 70 | 90 | 143,3 | 137,6 | 123,8 |
| 35 | 120 | 155 | 234,5 | 206,9 | 193,5 |
| 50 | 160 | 210 | 305,6 | 300,5 | 273,7 |
| 70 | 200 | 270 | 417,8 | 360,4 | 345,5 |
| 100 | 240 | 340 | 540,5 | 466,4 | 463,6 |
| 150 | 300 | 450 | 657,6 | 603,0 | 651,0 |



Obrázek 26 Grafické znázornění růstu modulů pružnosti s narůstáním svislého zatížení (nízké napětí)

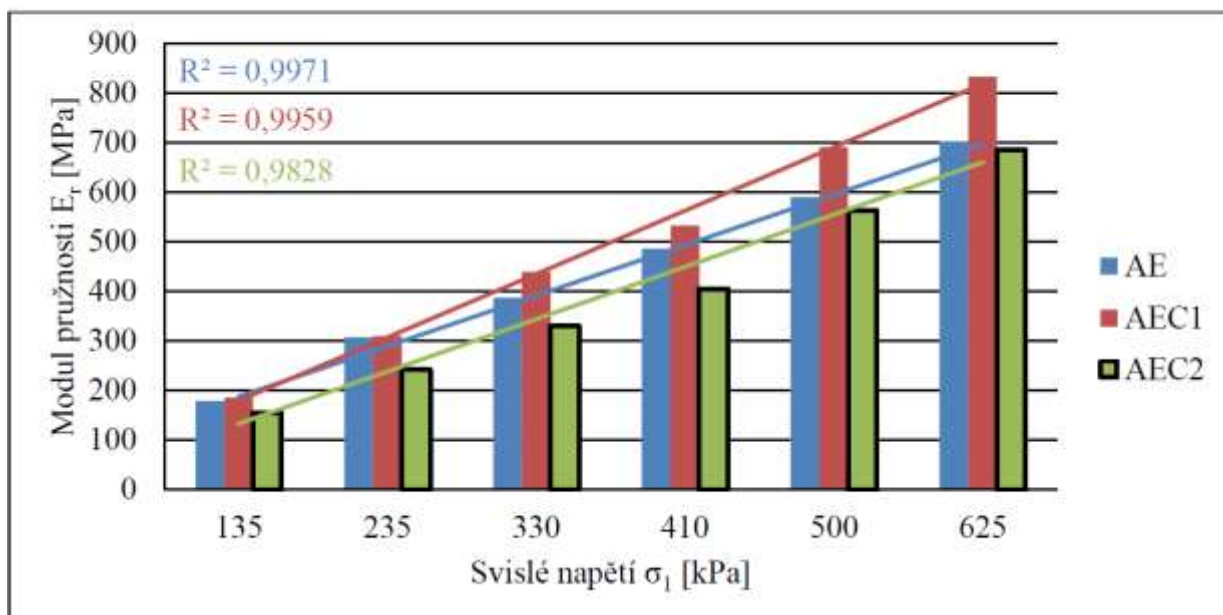
Pozn.: V České republice recyklovaná vrstva, vytvořená při recyklacích vozovek za studena na místě, obvykle tvoří právě horní podkladní vrstvu vozovky, na kterou jsou kladeny dvě asfaltové vrstvy.

Z naměřených výsledků je patrné, že moduly pružnosti jednotlivých směsí nejsou výrazně odlišné. Při svislém napětí $\sigma_1 = 450$ kPa hodnoty modulů pružnosti odpovídají nejkvalitnější nestmelené podkladní vrstvě, mechanicky zpevněnému kamenivu (MZK). Návrhová hodnota modulu pružnosti MZK je $E_r = 600$ MPa.

Úroveň vysokého napětí simuluje rychlejší těžkou nákladní dopravu o vyšší intenzitě (rychlost vozidel nad cca 40 km/h jedoucí např. na komunikacích III. třídy). Při předpokládaném položení těchto směsí do vozovky jako horní podkladní vrstvy, převážně na komunikacích III. třídy, můžeme hodnoty z modulů pružnosti odečítat při svislém zatížení $\sigma_1 = 625$ kPa.

Tabulka 14 Výsledné hodnoty modulů pružnosti E_r z dynamického namáhání v cyklickém triaxiálním přístroji (metoda B – vysoké napětí)

| Komorový tlak σ_3 | Deviátor napětí σ_d | Svislé napětí σ_1 | Modul pružnosti E_r [MPa] | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | | | AE | AEC1 | AEC2 |
| [kPa] | [kPa] | [kPa] | | | |
| 20 | 115 | 135 | 178,9 | 185,6 | 154,7 |
| 35 | 200 | 235 | 307,6 | 309,6 | 241,8 |
| 50 | 280 | 330 | 386,8 | 439,3 | 329,5 |
| 70 | 340 | 410 | 485,9 | 532,8 | 404,6 |
| 100 | 400 | 500 | 590,3 | 690,4 | 563,1 |
| 150 | 475 | 625 | 702,4 | 833,1 | 685,8 |



Obrázek 27 Grafické znázornění růstu modulů pružnosti s narůstáním svislého zatížení (vysoké napětí)

Z naměřených hodnot při cyklické zatěžovací zkoušce v triaxiálním přístroji, metoda B – úroveň vysokého napětí je zřejmé, že při nejvyšším svislém napětí $\sigma_1 = 625$ kPa má nejvyšší hodnotu modulu pružnosti směs AEC1.

Je překvapivé, že výsledky cyklické zatěžovací zkoušky v triaxiálním přístroji, metoda B – úroveň nízkého napětí, jsou opačné. Směs AEC1 má nejnižší modul pružnosti. Shodně všechny směsi mají, při nejvyšším svislém napětí, modul pružnosti o něco vyšší než je návrhový modul pružnosti MZK ($E_r = 600 \text{ MPa}$).[9]

Shrnutí návrhu a posouzení studených asfaltových směsí:

Při zjišťování zhutnitelnosti R-materiálu se ukázalo, že rázová metoda (Proctor modifikovaný) a vibrační metoda (vibrační pěch), běžně používané metody pro stanovení zhutnitelnosti stmelených směsí, nejsou pro hutnění vhodné. R-materiál je hrubozrný s malým obsahem jemných částic. Při rázovém, nebo vibračním hutnění, se zrna nejsou schopna do sebe dostatečně zaklínit. Při hutnění R-materiál těmito metodami jednotlivá zrna odskakovala a vylétávala ven z formy, ale také z formy vytékala přebytečná voda. Z těchto důvodů nebylo možné stanovit zhutnitelnost pomocí doporučené metody uvedené v TP 208, Proctorem modifikovaným. Zhutnitelnost R-materiálu byla zjištěna pomocí statického lisování. Maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 2\,100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ byla dosažena při optimální vlhkosti $w_{\text{opt}} = 3,0 \%$. Navržených 8 studených asfaltových směsí bylo vyráběno při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (laboratorní teplota). Dále 5 směsí bylo vyráběno za zvýšené teploty $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Celkem tedy 13 studených asfaltových směsí. Z naměřených výsledků je zřejmé, že zvýšením teploty při výrobě směsí o $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (na $60 \text{ }^\circ\text{C}$) docílíme nižší mezerovitosti, avšak pevnost v příčném tahu těchto směsí není vyšší natolik, aby bylo zahřívání efektivní. Dále je z naměřených výsledků zkoušky pevnosti v příčném tahu (R_{it}) zjevné, že směsi s rejuvenátory nedosáhli požadované pevnosti ($R_{it, \text{min}} = 0,30 \text{ MPa}$). Proto lze usoudit, že běžné rejuvenátory používané do horkých asfaltových směsí nejsou pro studené asfaltové směsi vhodné. Pro oživení zestárlého asfaltového pojiva je pravděpodobně zapotřebí vyšší teplota jak $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Z naměřených výsledků při zkouškách studených asfaltových směsí je patrné, že jediná vhodná receptura směsí pro podkladní vrstvy málo zatížených vozovek je ta s pracovním označením AEC2, vyráběna a hutněna při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Receptura této směsí, byla navržena podle dosavadních zkušeností při provádění technologie recyklace za studena na místě s použitím kombinace dvou pojiv, asfaltové emulze a cementu. Cílem zařazení této směsí do laboratorního měření bylo získání tzv. referenčních výsledků. K těmto výsledkům byly ostatní výsledky dalších směsí vztaženy pro porovnání.

Experimentální měření vybraných směsí

Pro experimentální měření byly vybrány tyto směsi: AE, AEC1 a AEC2. Tyto směsi byly zvoleny záměrně pro sledování vlivu cementu na studenou asfaltovou směs. Při experimentálním měření byly zjištěny další charakteristiky studených asfaltových směsí. Pevnost v tlaku a modul pružnosti. Z naměřených hodnot pevností v tlaku je dle očekávání patrné, že s rostoucím dávkováním cementu do směsí roste i pevnost v tlaku.

Zároveň studené asfaltové směsi stmelené kombinací asfaltové emulze a cementu ztrácejí pružnost a jsou více křehké, než směsi stmelené pouze asfaltovou emulzí. Moduly pružnosti směsí byly stanoveny cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji. Naměřené hodnoty modulů pružnosti vybraných směsí jsou cca $E_r \approx 650$ MPa. Uváděný návrhový modul pružnosti mechanicky zpevněného kameniva (MZK) je $E_r = 600$ MPa. Zkoušené studené asfaltové směsi, naměřenými moduly pružnosti, odpovídají nejkvalitnější nestmelené směsi pro podkladní vrstvy vozovek (MZK). Ze získaných hodnot modulů pružnosti nelze stanovit korelaci mezi modulem pružnosti a množstvím cementu ve studených asfaltových směsích. Pro stanovení této korelace by bylo zapotřebí provést další měření, například na tělesech s různou dobou zrání (pro sledování vlivu hydratace cementu ve směsi). Také by bylo vhodné měření provádět na více zkušebních těles, pro snížení odchylek při měření. [9]

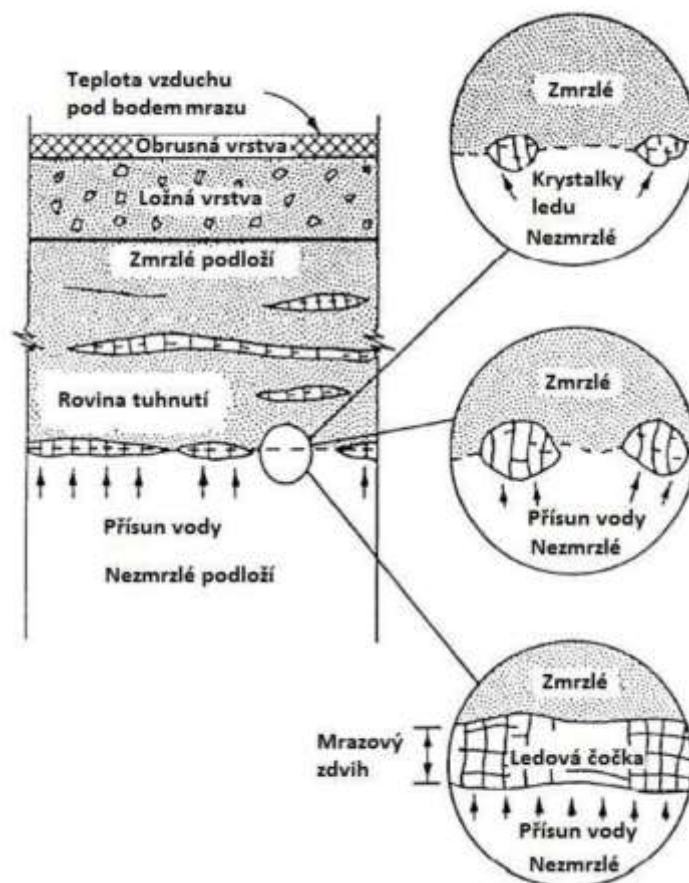
6 POPÍLKÝ JAKO POJIVO NEVHODNÝCH ZEMIN PODLOŽÍ VOZOVEK

Intenzivnějšímu používání popílků a popílkových stabilizátů do podloží vozovek pozemních komunikací brání především vysoká nasákavost a namrzavost popílkových směsí ve zhutněných technologických vrstvách podloží vozovky. V silniční laboratoři byly provedeny laboratorní zkoušky na ověření možnosti použití popílků jako pojiva do nevhodných zemin a tím ušetřit značné finanční prostředky v případě používání těchto vedlejších energetických produktů.

Teplota a vlhkost jsou základní parametry pro popis podmínek v podloží vozovky. Ve většině případů vysoký obsah vlhkosti, zejména v jemnozrnných zeminách, znamená snížení únosnosti a následně kratší životnost konstrukce pozemní komunikace. Zmrzlé vozovky mají vyšší únosnost než odpovídající konstrukce na jaře nebo koncem podzimu. Nicméně, jejich zmrazení vyvolává napětí ve vozovce, jehož výsledkem mohou být její vertikální posuny v různém rozsahu a v různých směrech, definované jako mrazové zdvihy. Mrznutí a tání, a zejména jejich cyklické střídání, ovlivňují mechanické vlastnosti vozovek dvěma nesouvisejícími, ale vzájemně se doplňujícími způsoby:

- Rozpadem částic nebo vazeb mezi částicemi v důsledku teplotního namáhání a/nebo silového působení při mrznutí vody a nárůstu jejího objemu. Tento proces je výsledkem opakovaných dějů mrznutí a tání a je pozorovatelný po delším časovém úseku.
- Zmrznutím namrzavé zeminy za přítomnosti zdroje vody a následným vznikem mrazového zdvihu, zvýšením obsahu vlhkosti a ztrátě únosnosti při tání.

Při teplotách pod bodem mrazu je za vznik ledových čoček v nebezpečně namrzavých zeminách odpovědný zejména přísun vody z teplejších zemin v hlouběji usazených oblastech podloží směrem k nulové izotermě.



Obrázek 28 Schéma postupného vzniku mrazového zdvihu, Zdroj:[9]

Pro návrhy úpravy zeminy do podloží vozovky bylo použito:

Jemnozrná zemina: F6CI jííl se střední plasticitou, frakce 0/8 mm, $f=78\%$, $s=19\%$, $g=3\%$, $w_L=42\%$, $w_P=19\%$, $I_P=23\%$, podmíněčně vhodná do násypu, nevhodná do aktivní zóny (podle ČSN 73 6133)

Popílky jako přísada: hnědohelný popílek ECHVA (ČEZ, a.s., tepelná elektrárna Chvaletice)
 černohelný popílek EDE (ČEZ, a.s., tepelná elektrárna Dětmarovice)
 fluidní popílek EPO (ČEZ, a.s., tepelná elektrárna Počerady)

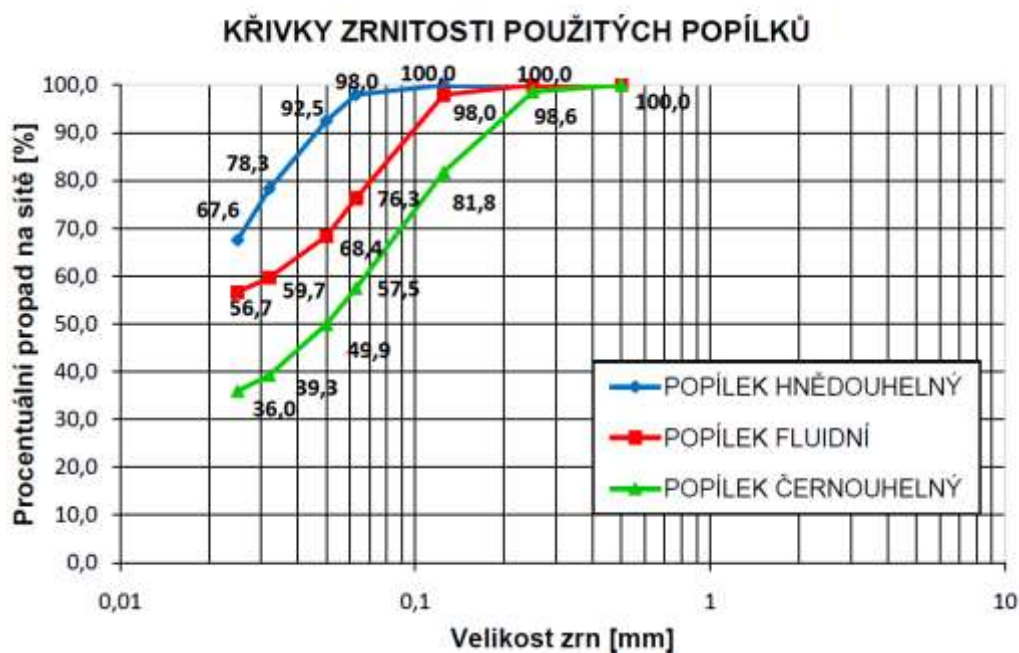
Pojivo: vzdušné vápno CL 90.

Pro každou směs byla, z důvodů relevantního porovnání vlastností, použita stejná zemina, jííl se střední plasticitou F6 CI. Zemina byla míchána s pojivy a přísadami dle receptur.

Množství vzdušného vápna bylo stanoveno na základě zkušeností a běžným použitím v praxi. Pro směsi s popílky bylo dávkování 15% a 25% hm. zvoleno na základě laboratorních zkoušek a vyhovujících výsledků stanovení poměru únosnosti CBR.



Obrázek 29 Křivka zrnitosti zkoušené upravované jemnozrné zeminy klasifikované F6 CI



Obrázek 30 Křivky zrnitosti zkoušených elektrárenských popílků

Návrh receptur upravené zeminy vápnem a popílků:

- | | |
|----------|---|
| Směs č.1 | Zemina F6 CI |
| Směs č.2 | Zemina F6 CI zlepšená 2 % vápna |
| Směs č.3 | Zemina F6 CI s 15 % popílku hnědouhelného ECHVA |
| Směs č.4 | Zemina F6 CI s 25 % popílku hnědouhelného ECHVA |
| Směs č.5 | Zemina F6 CI s 15 % popílku černouhelného EDE |
| Směs č.6 | Zemina F6 CI s 25 % popílku černouhelného EDE |
| Směs č.7 | Zemina F6 CI s 15 % popílku fluidního EPO |
| Směs č.8 | Zemina F6 CI s 25 % popílku fluidního EPO |
| Směs č.9 | Popílek hnědouhelný ECHVA |

Na těchto devíti zkušebních vzorcích byly následně provedeny mechanické a funkční laboratorní zkoušky, a to zkouška zhutnitelnosti, namrzavosti, stanovení Kalifornského poměru únosnosti a okamžitého indexu únosnosti a cyklická triaxiální zkouška pro určení modulu pružnosti po 7 dnech zrání zhutněných zkušebních válcových tělesech.

6.1 Metody zkoušení vlastností upravené jemnozrnné zeminy vápnem a popílkou

Zkušební postup vycházel z předpokladu, že experimentálně sledované směsi budou v podloží vozovky jako technologická vrstva aktivní zóny. Z tohoto důvodu byly zvoleny pro ověření vlastností výše uvedené laboratorní zkoušky.

A. Stanovení zhutnitelnosti upravených zemin pro podloží vozovky

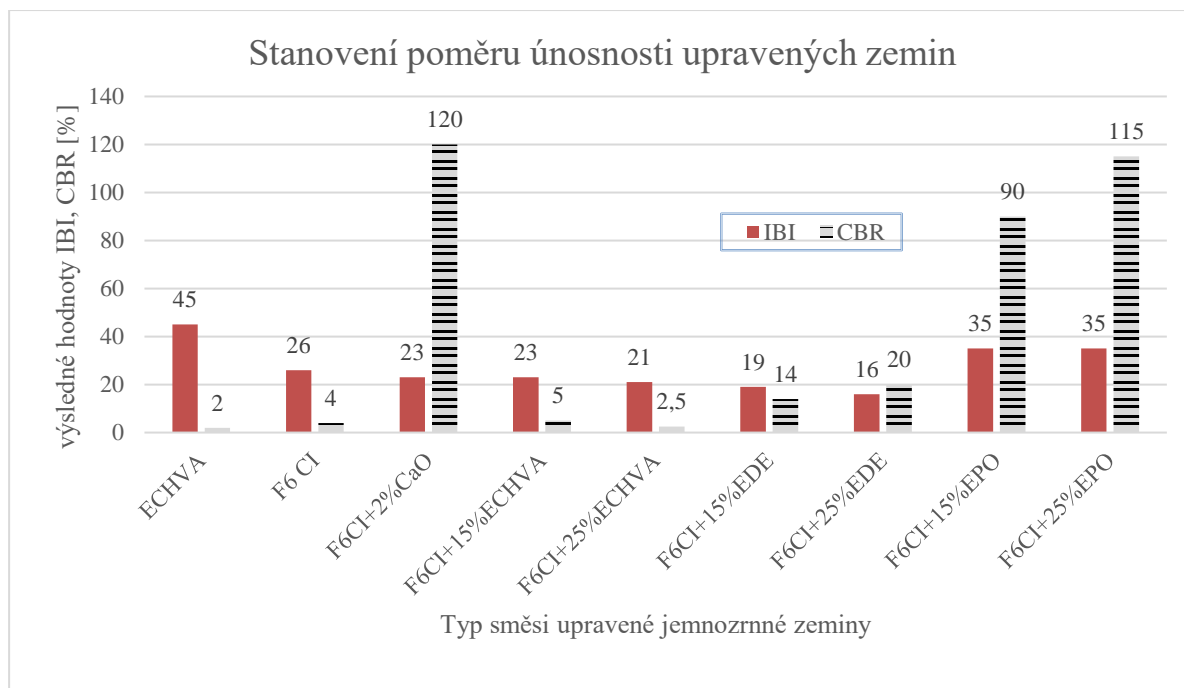
Stanovení závislosti objemové hmotnosti zhutněné upravené zeminy pojivem a optimální vlhkosti bylo provedeno metodou Proctor standard v souladu s ČSN EN 13286-2. Zemina F6 CI byla u osmi z navržených devíti směsí navlhčena po jednotlivých dávkách s intervalem +2% vlhkosti předchozího dílčího vzorku. Zrání navlhčených dílčích vzorků jemnozrnné zeminy bez pojiva bylo 24 hodin při relativní vzdušné vlhkosti větší než 90%. Pojivo bylo do jednotlivých dílčích vzorků dodáno cca 15 min. před zhutněním do válcové zkušební formy typu A.

B. Stanovení okamžitého indexu únosnosti (IBI) a kalifornského poměru únosnosti CBR

Stanovení závislosti zatlačení ocelového trnu průměru 50 mm do zhutněné upravené zeminy ve formě typu B o průměru 150 mm a výšce 120 mm a odporové síle stanovené v kN bylo v souladu s ČSN EN 13286-47.



Obrázek 31 Zkušební vzorky F6 CI a F6 CI+25%EDE po zkoušce IBI



Obrázek 32 Porovnání výsledných hodnot poměrů únosnosti IBI a CBR sledovaných úprav

C. Stanovení namrzavosti upravených zemin vápnem a popílky

Přímá zkouška namrzavosti zhutněných válcových zkušebních těles byla provedena podle ČSN 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin. Zkušební válcová tělesa byla zhutněna při optimální vlhkosti na maximální objemovou hmotnost metodou Proctor standard pro každou zkoušenou směs. Všechna zkušební tělesa devíti směsí zrála po zhutnění v klimatizované komoře při relativní vzdušné vlhkosti min. 90% po dobu 28 až 30 dní. Před vlastní přímou zkouškou namrzavosti podle výše popsané normy byla zkušební válcová tělesa ve zkušebním přístroji saturována vodou při teplotě 5 °C po dobu 17-24 hodin.



Obrázek 33 Zrání zkušebních válcových zkušebních těles na roštích v klimatizované komoře

D. Stanovení modulu pružnosti z cyklické triaxiální zkoušky

Stanovení modulu pružnosti bylo provedeno podle ČSN EN 13286–7, zkušební metodou B – zjednodušený režim napětí s cyklickým osovým deviátorem napětí a konstantním komorovým tlakem.

Modul pružnosti byl stanoven pouze na vzorcích jemnozrné zeminy F6 CI (směs č.1), jemnozrné zeminy F6 CI upravené 2 % hm. vápna (směs č.2) a jemnozrné zeminy F6 CI s 25 % hm. ECHVA (směs č.4), černouhelného (směs č.6) a fluidního popílku (směs č.8). Moduly pružnosti zvolených směsí s větším podílem popílků se měly projevit výraznější změnou pružného chování směsi. Zkoušeny byly vždy tři zkušební tělesa jedné směsi, zhutněné při optimální vlhkosti stanovené Proctorovou standardní zkouškou a zhutněné pomocí ručního hydraulického lisu do forem válcového tvaru o průměru 100 mm a výšce 200 mm. Maximální tlak lisu pro hutnění byly 180 kg/cm^2 a vzorky byly lisovány cyklováním 3×5 minut. Zhutněná zkušební tělesa byla ponechána v klimatizované komoře při vysoké relativní vzdušné vlhkosti po dobu 7 dní. Následně byla na každém zkušebním tělese provedena cyklická triaxiální zkouška s impulzním zatížením frekvencí 1 s. Pro zkoušení všech zkušebních těles uvedených směsí byla použita metoda B s konstantním stálým bočním tlakem 20 kPa. Zvolená metoda odpovídá umístění zkoušené směsi v aktivní zóně podloží vozovky. Úroveň nízkého napětí simuluje pomalou těžkou nákladní dopravu o nízké intenzitě (rychlost vozidel do cca 40 km/h jedoucí např. na místních komunikacích).

6.2 Zhodnocení výsledků a posouzení namrzavosti upravených zemin

Míra namrzavosti vychází u většiny výsledků zkoušených směsí upravených zemin, stanovená přímou metodou podle ČSN 72 1191, jako nebezpečně namrzavá (viz. tabulka 15). Citlivost na vývoj mrazových zdvihů a porušení zhutněné vrstvy se nezmění přidáním jakéhokoliv popílku, jako hydraulického pojiva do nevhodné zeminy typu sprašová hlína. Naopak v polovině případů dochází ke zvýšení koeficientu β . To je způsobeno zejména vysokým obsahem jemnozrných částic výsledných úprav zemin a stejnozrným charakterem částic, ze kterých je složen popílek. Ty jsou důvodem vysoké nasákavosti, tak charakteristické pro popílků. Vysoká hodnota nasákavosti zapříčiní saturaci velkého objemu vody, který je poté k dispozici při působení teplot pod bodem mrazu a vytváření zdvihů. Lze pozorovat, že koeficient β směsí zeminy s popílkem hnědouhelným, který má nejjemnější zrnitost dosahuje nejvyšších hodnot namrzavosti a naopak hodnota namrzavost (β) směsí s popílkem černouhelným, který má ze zkoušených popílků největší zrna, je relativně nejnižší. Při úpravě jemnozrné zeminy přidáním 2 % hm. vzdušného vápna došlo podle očekávání ke snížení hodnoty koeficientu namrzavosti β a zemina se stala mírně namrzavou až namrzavou.

Tento výsledek potvrzuje známý fakt, že se namrzavost zeminy upraví přidáním hydraulického pojiva jako je vápno, ale toto tvrzení nelze bez ověření aplikovat na jakékoliv hydraulické pojivo, což se potvrdilo například výsledkem namrzavosti zeminy upravené, hydraulicky velmi aktivním, fluidním popílkem. Z výsledků nelze uspokojivě stanovit závislost mezi mírou namrzavosti zkoušených upravených zemin a jejich ostatními běžně zkoušenými charakteristikami. Jediná možná spojitost je mezi hodnotami CBR a modulem pružnosti zeminy upravené popílkem a vápnem, kdy se při snižující se hodnotě CBR směsí snižuje i hodnota modulu pružnosti E_r . Zemina s vápnem má nejvyšší hodnotu CBR i modulu pružnosti, což potvrzuje také nejčastější použití této úpravy v praxi.

Tabulka 15 Shrnutí výsledků laboratorních zkoušek provedených na upravené zemině vápnem a popílkem

| Směs upravené zeminy č. | | $\rho_{d,max}$ [kg/m ³] | W_{opt} [%] | IBI [%] | CBR [%] | β | E_r [MPa] |
|-------------------------|---------------------|--|------------------|------------|------------|---------|----------------|
| 1 | F6 CI | 1750 | 14,5 | 26 | 4 | 0,55 | 130-180 |
| 2 | F6 CI+2% hm. CaO | 1760 | 16,0 | 23 | 120 | 0,32 | 200-300 |
| 3 | F6 CI+15% hm. ECHVA | 1637 | 15,0 | 23 | 5 | 1,07 | - |
| 4 | F6 CI+25% hm. ECHVA | 1565 | 16,0 | 21 | 2,5 | 0,69 | 65-160 |
| 5 | F6 CI+15% hm. EDE | 1725 | 16,5 | 19 | 14 | 0,53 | - |
| 6 | F6 CI+25% hm. EDE | 1660 | 15,5 | 16 | 20 | 0,49 | 130-190 |
| 7 | F6 CI+15% hm. EPO | 1560 | 16,5 | 35 | 90 | 0,53 | - |
| 8 | F6 CI+25% hm. EPO | 1480 | 18,5 | 35 | 115 | 0,83 | 160-220 |
| 9 | ECHVA | 1240 | 33,0 | 45 | 2 | 0,59 | - |

Pozn.
 $\rho_{d,max}$ maximální objemová hmotnost suché zeminy podle ČSN EN 13286-2 (Proctor standard)
 W_{opt} optimální vlhkost pro maximální zhutnění zeminy podle ČSN EN 13286-2 (Proctor standard)
IBI okamžitý index únosnosti podle ČSN EN 13286-47
CBR kalifornský index únosnosti podle ČSN EN 13286-47
 β součinitel míry namrzavosti stanovený přímou metodou měření mrazových zdvihů zkušebních válcových těles podle ČSN 72 1191, $\beta \leq 0,25$ zemina nenamrzává, $0,25 < \beta \leq 0,50$ zemina mírně namrzává až namrzává, $\beta > 0,50$ zemina nebezpečně namrzává

Dle očekávání bylo zkouškou namrzavosti zjištěno, že úpravou zeminy vápnem dojde ke snížení míry namrzavosti z nebezpečně namrzavé zeminy na zeminu mírně namrzavou. Při úpravě jemnozrnné zeminy popílkem tomu tak však nebylo. Všechny směsi byly po zkoušce vyhodnoceny jako nebezpečně namrzavé, až na směs zeminy s 25 % popílkem černouhelného, která byla hodnocena na hranici mírně namrzavé a nebezpečně namrzavé zeminy. Přestože některé popílkem (zejména fluidní) vykazují vlastnosti hydraulického pojiva, jejich užití k úpravě zeminy nepřinese snížení její namrzavosti.

Naopak u poloviny zkoušených směsí s popílky se hodnota namrzavosti zvýšila, týkalo se to zejména směsí zeminy s popínkem hnědouhelným, který je z používaných popílků nejjemnější. Potvrdilo se tedy, že namrzavost souvisí se zrnitostí materiálu, zejména s obsahem jemných částic, který ji negativně ovlivňuje, a větší množství použitých popílků ve směsi působí jako plnivo jemných částic. Dále byl v praktické části práce zkoušen okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR. Kromě hodnocení únosnosti směsí upravených zemin je někdy tento parametr nesprávně používán pro nepřímé hodnocení namrzavosti zemin a upravených zemin. Nejvyšších hodnot IBI dosáhl vzorek samotného popínku hnědouhelného a to IBI 45 %. Druhých nejvyšších hodnot IBI potom dosahovaly směsi zeminy s popínkem fluidním a nejnižších hodnot dosáhly vzorky zeminy s popínkem černouhelným. Výrazně nejvyšších hodnot CBR dosáhly vzorky zeminy upravené vápnem a zeminy s 15 % a 25 % fluidního popínku, přičemž hodnoty CBR se oproti hodnotám IBI zvýšily přibližně 5x u zeminy upravené vápnem a průměrně 3x u zeminy s fluidním popínkem. Tento nárůst únosnosti lze tedy přičítat hydratačním reakcím vápna během doby zrání vzorků. Únosnost samotného popínku hnědouhelného značně klesla po době zrání a saturaci ve vodě, kdy z původní výrazně nejvyšší hodnoty IBI 45% došlo k poklesu poměru únosnosti na CBR 2%, příčinou je velká nasákavost popílků ve ztuhnutém stavu. Hodnoty CBR vzorků zeminy s 15 % a 25 % popínku hnědouhelného také zřetelně klesly oproti hodnotám IBI. Pro upravené zeminy byl experimentálně stanoven modul pružnosti E_r , jehož výsledná hodnota byla stanovena jako interval hodnot, kterých modul pružnosti směsí nabýval při zatížení vzorku různými hodnotami svíslého napětí při komorovém tlaku 20 kPa, což je vodorovné napětí působící v konstrukci vozovky od těžké dopravy právě v úrovni podloží vozovky. Zkouška byla provedena pouze na vzorcích zeminy, zeminy upravené vápnem a na vzorcích zeminy s 25 % podílem jednotlivých popílků. Nejvyšších hodnot modulů pružnosti dosahovala směs zeminy upravená vápnem a to 200 až 300 MPa a druhých nejvyšších hodnot dosáhla směs zeminy s fluidním popínkem 160 až 220 MPa. Tento nárůst lze opět vysvětlit vyšším obsahem volného vápna reagujícího v upravené zemině. Obsah popínku hnědouhelného v zemině zapříčinil pokles hodnot modulů pružnosti. Při snižující se hodnotě CBR směsí se snižovala i hodnota modulu pružnosti E_r . Zemina s vápnem má tedy nejvyšší hodnotu CBR i modulu pružnosti.

7 SPALOVENSKÁ ŠKVÁRA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Součástí úvodních analýz bylo ověření možnosti využití spalovenské škváry (bottom ash) jako samostatného materiálu ztuhnutého do vrstvy, např. jako náhrada nevhodné zeminy v podloží vozovky. Nejdříve byly provedeny zkoušky pevností v tlaku pro posouzení možnosti použití jako stabilizované směsi do podloží vozovky.

Po převzetí zkušební vzorku v celkové hmotnosti 76 kg v uzavřeném plastovém obalu bez přístupu vzduchu byl vysušený zkušební vzorek spalovenské škváry ve frakci 0/32 mm zhomogenizován v souladu s ČSN EN 932-2. Po homogenizaci byla provedena dne 2.9.2015 laboratorní zkouška stanovení zhutnitelnosti Proctor modifikovaný v souladu s ČSN EN 13286-2. Na základě výsledku zkoušky zhutnitelnosti byla směs škváry navlhčena na optimální vlhkost pro hutnění válcových zkušebních vzorků průměru 100 mm, výšky 100 mm pro zkoušku pevností v prostém tlaku podle ČSN EN 13286-41. Zkušební vzorky byly připraveny lisováním při maximálním tlaku 100 kg/cm². Celkem bylo vyrobeno 12 zkušebních válcových těles. Polovina (6 ks) byla uložena v silniční laboratoři při teplotě 22 °C a relativní vzdušné vlhkosti 47 %. Druhá polovina byla uložena při teplotě 20 °C při relativní vzdušné vlhkosti 92 %. Stanovení pevnosti v prostém tlaku bylo provedeno v první fázi po 7 dnech výše uvedeného zrání (viz. dílčí výsledky). Ve druhé fázi zkoušení se předpokládá zkoušení pevnosti v prostém tlaku zbylých vzorků po 28 dnech. [11]

Tabulka 16 Výsledné průměrné hodnoty pevností v tlaku po 7 a 28 dnech na zkušebních válcových tělesech ze spalovenské škváry

| Číslo zkušební vzorku/ doba zrání/ relativní vzdušná vlhkost | Hmotnost zhutněného vzorku [g] | Pevnost v prostém tlaku [MPa] 7 denní | Pevnost v prostém tlaku [MPa] 28 denní |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 0/7/47 | 1371 | 1,64 | - |
| 1/7/47 | 1360 | 1,47 | - |
| 4/7/47 | 1414 | 1,63 | - |
| 2/7/92 | 1424 | 0,71 | - |
| 3/7/92 | 1424 | 0,67 | - |
| 5/7/92 | 1423 | 0,69 | - |
| 6/28/47 | 1426 | - | 2,23 |
| 7/28/47 | 1421 | - | 2,12 |
| 8/28/47 | 1424 | - | 2,07 |
| 9/28/92 | 1425 | - | 1,02 |
| 10/28/92 | 1431 | - | 0,97 |
| 11/28/92 | 1422 | - | 1,07 |

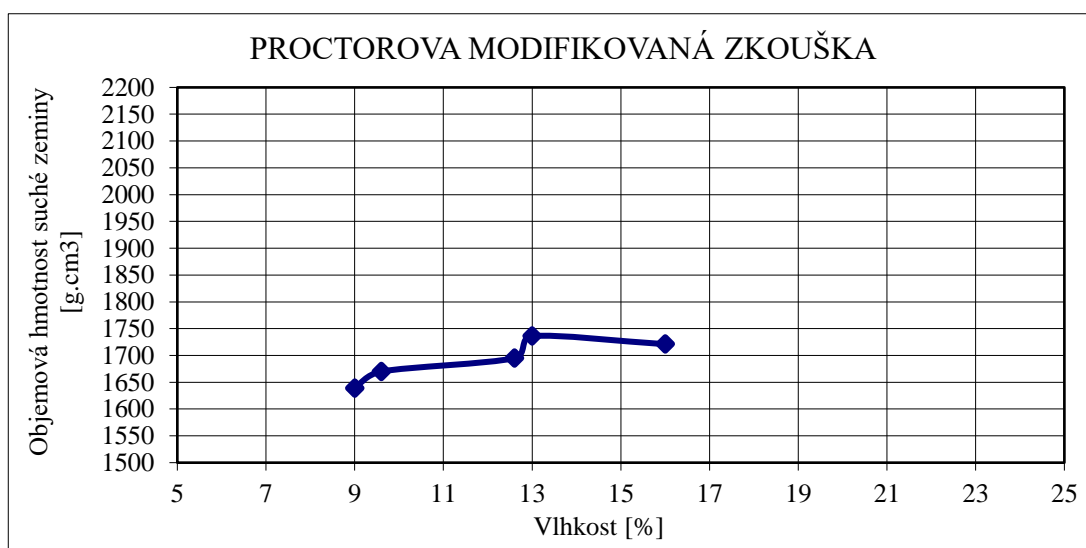
Pozn. Podle platných předpisů pro směsi stmelené hydraulickým pojivem je možné do konstrukce vozovky použít směs, která vykazuje pevnosti v tlaku po 28 dnech větší než 2 MPa.

Z doposud provedených zkoušek pevností v prostém tlaku vyplývá zajímavý závěr. Větší hodnoty pevností v tlaku vykazují směsi se zráním při běžné vlhkosti a teplotě okolí. Naopak zkušební vzorky, které byly vystaveny vlhkému prostředí mají hodnoty pevností v tlaku na polovičních hodnotách, navíc se na povrchu vzorků objevili drobné spojitě trhliny napříč výšky vzorku (viz. fotodokumentace). Je možné, že vlhké prostředí vyvolává ve zkoušeném materiálu spalovenské škváry objemové změny zapříčiněné s největší pravděpodobností chemickými reakcemi složek směsi.

Ze zrnitostního rozboru byla hodnocena spalovenská škvára Scheibleho kritériem jako nenamrzavá až mírně namrzavá. Klasifikace spalovenské škváry podle ČSN 73 6133 byla označena jako **štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy G3 G-F**.

Jedná se o materiál podmíněčně vhodný do aktivní zóny pod konstrukci vozovky (podle ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemní komunikace). Pro potvrzení vhodnosti použití spalovenské škváry do aktivní zóny (pod konstrukci vozovky) byla provedena zkouška zhutnitelnosti Proctor modifikovaný (obrázek 34). Optimální vlhkost byla stanovena na **13%** a maximální objemová hmotnost suché škváry je $\rho_{d, \max} = 1736 \text{ kg/m}^3$. Poté byla provedeno stanovení poměru únosnosti CBR v saturaci podle ČSN EN 13286-47.

Při zkoušce CBR a současném měření lineárního bobtnání bylo zjištěno, že škvára ve zhutněném stavu vykazuje 7%-ní zdvih (8,2 mm) při uložení na 4 dny ve vodě při teplotě 20°C.



Obrázek 34 Grafické vyhodnocení zkoušky zhutnitelnosti Proctor modifikovaný – spalovenská struska



Obrázek 35 Rozdíl při způsobu zrání popsany výše je vidět i vizuálně na zkušebních tělesech před zkouškou pevnosti v tlaku. První ozn. 5/S ve vlhkém prostředí s trhlinkami, druhý vzorek ozn. 1/S - suchý bez viditelných trhlinek

Pro ověření využitelnosti škváry, produkované společností SAKO Brno, a.s. byla v této části práce pozornost zaměřena na doporučené receptury, dodané objednatelem.

Pro následné hodnocení chování zkoušených směsí v laboratorních podmínkách je velmi důležité kvalitně analyzovat použité suroviny. V následujících kapitolách tak budou zhodnoceny parametry objemové hmotnosti, měrné hmotnosti, měrného povrchu, zrnitosti, a dalších mechanických zkoušek.

Pro vyrovnávací (podkladovou) vrstvu minerálního těsnění

Škvárový stabilizát ŠS V1

| | Dávka kg/m ³ |
|--|-------------------------|
| 1. Vytříděná škvára SAKO vlhká fr. 0 - 22 mm (w = 19%) | 820 |
| 2. Jílové kaly z čiručů vod Teplárna Brno (w = 40%) | 475 |
| 3. Mikrofiller Cementárna Mokrá | 85 |
| 4. END produkt odlučovačů SAKO | 60 |
| 5. Voda | 250 |
| Celkem | 1690 |

Pro vyrovnávací (podkladovou) vrstvu minerálního těsnění

Škvárový stabilizát ŠS V2

| | Dávka kg/m ³ |
|--|-------------------------|
| 1. Vytříděná škvára SAKO vlhká fr. 0 – 22 mm (w = 19%) | 815 |
| 2. Fluidní popílek Teplárna Olomouc | 300 |
| 3. Jílové kaly z čiručů vod Teplárna Brno (w = 40%) | 355 |
| 4. END produkt odlučovačů SAKO | 20 |
| 4. Voda | 265 |
| Celkem | 1755 |

Pro střední vrstvu minerálního těsnění

Škvárový stabilizát ŠS S1

| | Dávka kg/m ³ |
|--|-------------------------|
| 1. Vytříděná škvára SAKO vlhká fr. 0 – 22 mm (w = 19%) | 730 |
| 2. Fluidní popílek Teplárna Olomouc | 470 |
| 3. Mikrofiller Cementárna Mokrá | 130 |
| 4. Cement CEM II/B - S 32,5 | 80 |
| 5. Voda | 370 |
| Celkem | 1680 |

Pro uzavírací vrstvu minerálního těsnění

Škvárový stabilizát ŠS U1

| | Dávka kg/m ³ |
|---|-------------------------|
| 1. Vytříděná škvára SAKO vlhká fr. 0 – 22 mm (w = 19%) | 680 |
| 2. Fluidní popílek Teplárna Olomouc | 530 |
| 3. Odpadní křemičité úlety - mikrosilika | 25 |
| 4. Cement II/B - S - 32,5 | 120 |
| 5. Odpadní výplachová voda z čištění lahví – 3% hydroxid sodný (louh sodný) | 380 |
| Celkem | 1735 |

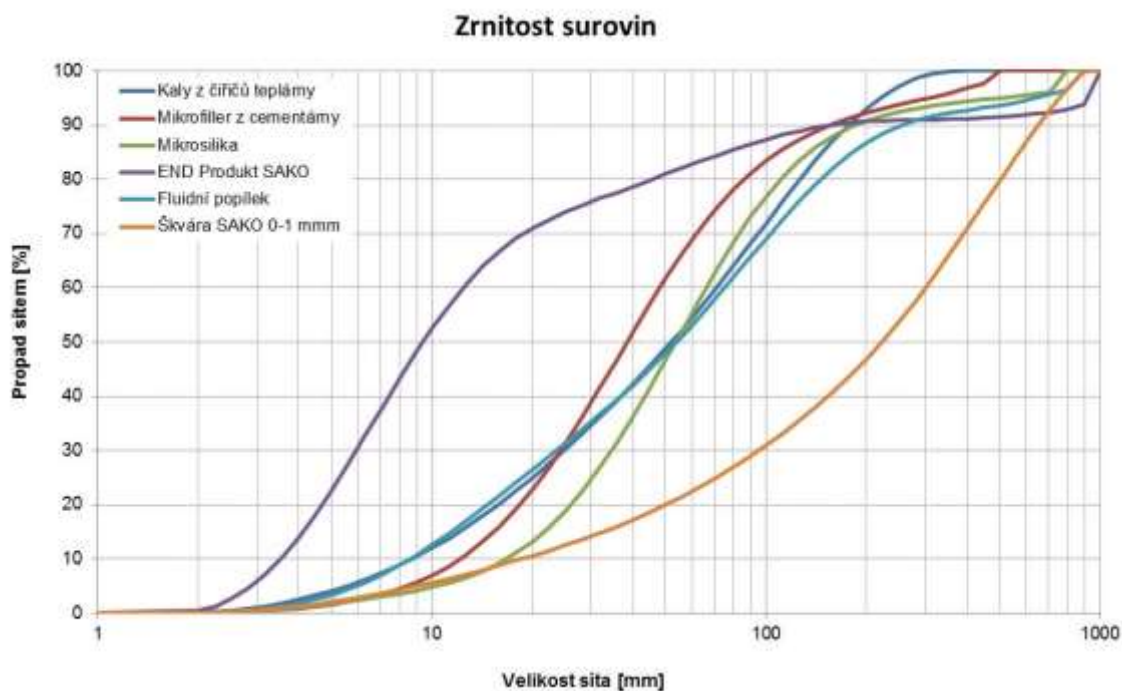
Pro potvrzení vhodnosti použití spalovenské škváry do aktivní zóny byla provedena zkouška únosnosti CBR v saturaci podle ČSN EN 13286-47. Při zkoušce CBR a současném měření lineárního bobtnání bylo zjištěno, že škvára ve zhuštěném stavu vykazuje 7 %-ní zdvih (8,2 mm) při uložení na 4 dny ve vodě při teplotě 20°C. Na základě tohoto zjištění byly ve druhé části projektu sledovány již směsi stmelené hydraulickými pojivy.

Tabulka 17 Výsledky měrných a objemových hmotností

| Vzorek | Objemová hmotnost [g.cm ⁻³] | Měrný povrch [m ² .g ⁻¹] | Měrná hmotnost [g.cm ⁻³] |
|--------------------------|---|---|--------------------------------------|
| Kaly z čířičů teplárny | 1,875 | 0,365 | 2,118 |
| Mikrofiller z cementárny | 1,316 | 0,198 | 2,000 |
| Mikrosilika | 1,667 | 0,111 | 2,750 |
| END Produkt SAKO | 1,750 | 0,134 | 2,125 |
| Fluidní popílek | 2,000 | 0,134 | 2,857 |
| Škvára SAKO | 2,368 | 0,445 | 2,667 |

Tabulka 18 Výsledky zrnitosti jednotlivých komponentů

| Surovina | Zbytek na síť 0,063 mm [%] | Propad sítem 0,063 mm [%] |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Kaly z čířičů teplárny | 0,57 | 99,43 |
| Mikrofiller z cementárny | 20,80 | 79,20 |
| Mikrosilika | 0,96 | 99,04 |
| END Produkt SAKO | 9,40 | 90,60 |
| Fluidní popílek | 45,11 | 54,89 |
| Škvára SAKO | 12,76 | 87,24 |



Obrázek 36 Zrnitostní rozbor jednotlivých složek směsi se spalovenskou škvárou

Tabulka 19 Tabulkové znázornění podílů surovin ve směsích V1, V2, S1, U1

| Suroviny | Jednotka | Podíl surovin ve směsi | | | |
|---|--------------------|------------------------|------|------|-------|
| | | V1 | V2 | S1 | U1 |
| Vytríděná škvára SAKO | % | 56,9 | 54,7 | 51,8 | 49,8 |
| Jílové Kaly z čířičů vod Teplárna Brno | % | 33,0 | 23,8 | | |
| Mikrofiller Cementárna Mokrá | % | 5,9 | | 9,2 | |
| END produkt odlučovačů SAKO | % | 4,2 | 1,3 | | |
| Fluidní popílek Teplárna Olomouc | % | | 20,1 | 33,3 | 38,8 |
| Cement II/B - S - 32,5 | % | | | 5,7 | 8,8 |
| Odpadní křemičité úlety - mikrosilika | % | | | | 1,8 |
| Hydroxid sodný (louh sodný) – podíl z roztoku | % | | | | 0,8 |
| Voda | kg.m ⁻³ | 250 | 265 | 370 | 368,6 |

Výchozí receptury směsí doporučené firmou SAKO jako většinou těsnící vrstvy byly doplněny o směsi stmelené hydraulickými pojivy podle silničních zvyklostí návrhu podkladních vrstev stmelěných :

Směs stmelená hydraulickým pojivem SC, třída pevnosti C3/4

| SC1-C4 | Dávka kg/m ³ |
|--|-------------------------|
| 1. Vytríděná škvára SAKO vlhká fr. 0 / 22 mm (w = 19%) | 930 |
| 2. Fluidní popílek Teplárna Olomouc | 270 |
| 3. END produkt odlučovačů SAKO | 80 |
| 4. Cement II/B - S - 32,5 | 120 |
| 5. Voda | 370 |
| Celkem | 1770 |

Stabilizovaná směs do aktivní zóny podloží vozovky, třída pevnosti C1,5/2

| SC2-C2 | Dávka kg/m ³ |
|--|-------------------------|
| 1. Vytríděná škvára SAKO vlhká fr. 0 / 22 mm (w = 19%) | 1130 |
| 2. Fluidní popílek Teplárna Olomouc | 200 |
| 3. Vzdušné vápno CL90 | 120 |
| 4. Voda | 320 |
| Celkem | 1770 |

Pozn.: Směsi SC1-C4 a SC2-C2 byly doplněny k návrhu předchozích směsí z hlavním zaměřením na využití maximálního množství škváry. Návrhy těchto směsí sledují možnost využití do stabilizované aktivní zóny podloží vozovky a spodní podkladní vrstvy vozovky stmelené hydraulickým pojivem. Po složení jednotlivých směsí z jednotlivých složek podle výše uvedeného množství byla provedena pro všechny směsi zkouška zhutnitelnosti Proctor modifikovaný podle ČSN EN 13286-2. Výsledkem bylo stanovení maximální objemové hmotnosti suché směsi a optimální vlhkosti důležité pro maximální zhutnění sestavených stmelěných směsí se škvárou.

U všech navržených směsí byla provedena zkouška stanovení poměru únosnosti CBR_{sat} . Pro směsi stmelené hydraulickým pojivem navrženým do konstrukčních vrstev vozovky je tato zkouška jen orientační. V případě použití do podloží vozovky je naopak referenční. Podle složení navržených kompozitních směsí je stanovená výsledná hodnota CBR důležitá především pro směsi označené jako ŠS V1 a ŠS V2.



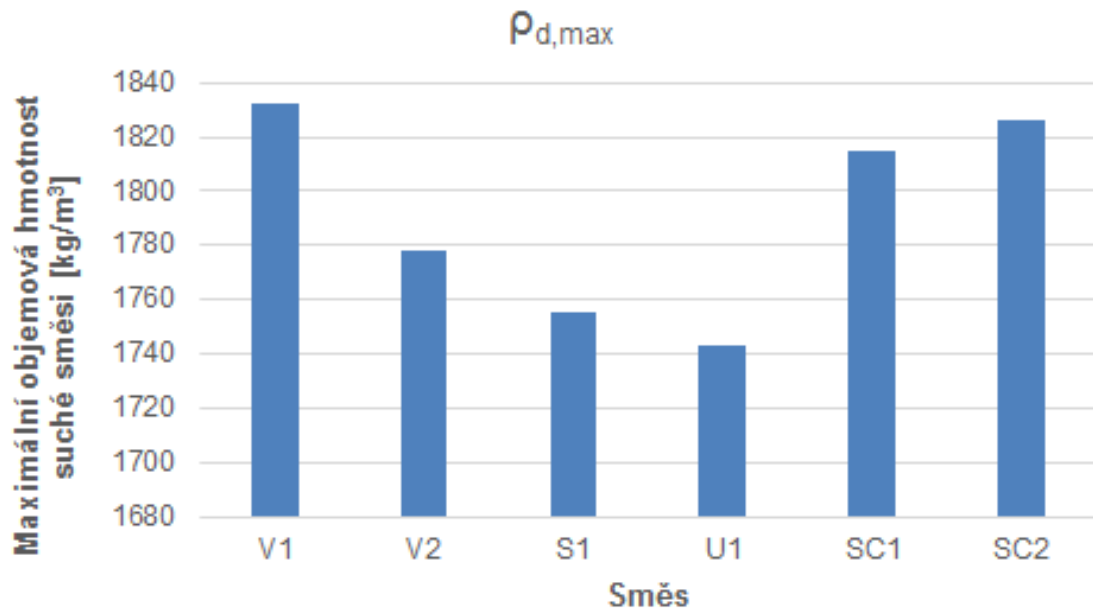
Obrázek 37 Zhutněná zkušební tělesa směsi V1 do stmelených podkladních vrstev

Obrázek 38 Zhutněná zkušební tělesa směsi S1 do stmelených podkladních vrstev

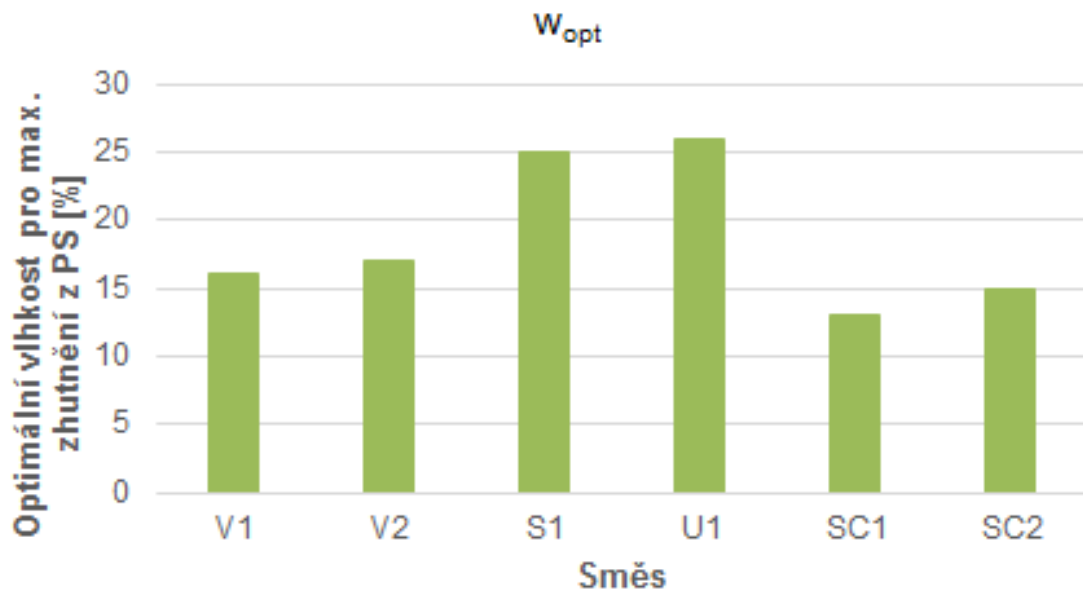
Obrázek 39 Zhutněná zkušební tělesa směsi U1 a V2 do stmelených podkladních vrstev

Zhutnitelnost a poměr únosnosti

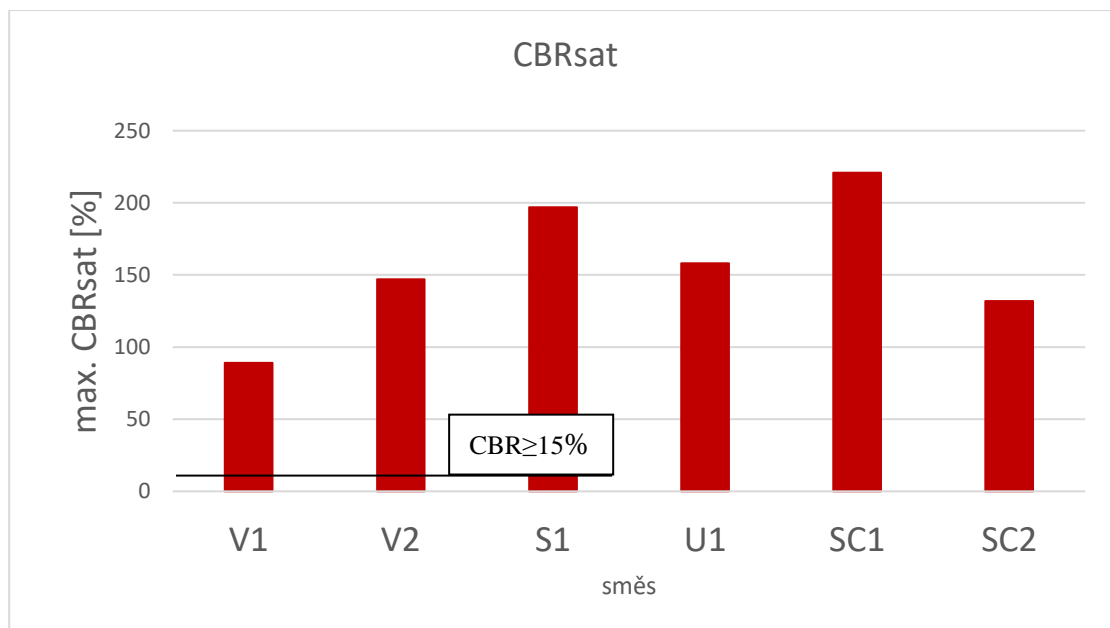
Stanovení zhutnitelnosti stmelených směsí bylo provedeno podle požadavků předpisů pro návrh stmelených směsí do podkladních vrstev vozovek zkouškou podle ČSN EN 13286-2 Proctor modifikovaný.



Obrázek 40 Maximální objemová hmotnost vzorků ze zkoušky Proctor standard



Obrázek 41 Optimální vlhkost vzorků ze zkoušky Proctor standard



Obrázek 42 Kalifornský poměr únosnosti CBR

Pevnost v prostém tlaku

Pro využití stmelěných směsí do konstrukčních podkladních vrstev vozovek je důležité posoudit navržené směsi na pevnost v prostém tlaku. Podle ČSN EN 13286-41 se zkoušení pevnosti provádí na zkušebních válcových tělesech zhutněných hutnicí energií Proctor modifikovaný při optimální vlhkosti. Samotná zkouška pevnosti byla provedena po předepsaných 28 dnech zrání (obrázek 44). Posouzení odolnosti proti mrazu a vodě bylo provedeno v souladu s ČSN 73 6124-1. Hodnocení odolnosti proti mrazu se provádí porovnáním pevnosti v prostém tlaku na válcových zkušebních tělesech po 28 dnech zrání (R_c) s pevností v tlaku po 28 dnech zrání a určitým počtem mrazových cyklů, 6 hodin zmrazování saturovaných vzorků, 18 hodin teploty při laboratorní teplotě. Výsledná hodnota pevnosti v tlaku po mrazových cyklech je označena R_{cf} . Podle klimatických podmínek místa uložení směsi (Brno) bylo použito podle ČSN 73 6124-1 deseti zmrazovacích cyklů při teplotě -20°C . Hodnotící kritérium vhodnosti navržené směsi je min. hodnota $R_{cf} = 0,85R_c$. Pro navržené směsi vyhovuje směs s označením ŠS S1.

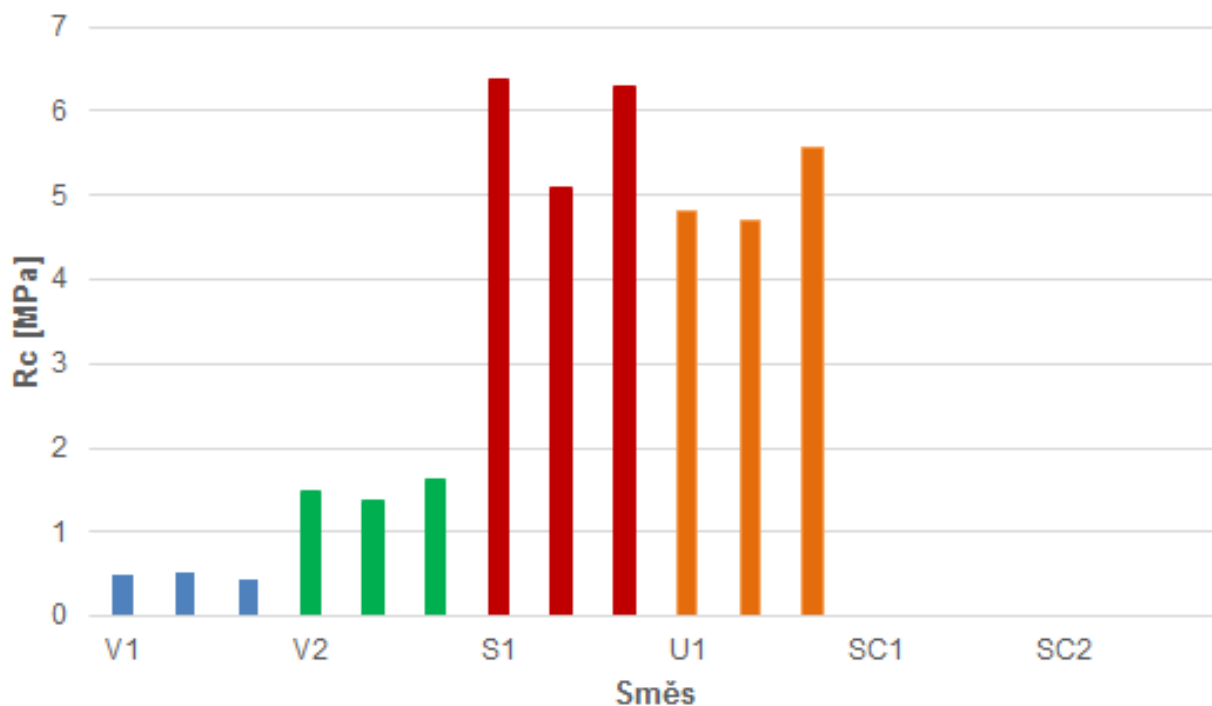


Obrázek 43 Porušená zkušební tělesa ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku – V1; V2; S1; U1

V tabulce 20 je zvýrazněna červenou barvou. V případě vyhovujících zkoušek vyluhovatelnosti je možné tuto směs podle požadavků ČSN 73 6124-1 do vrstvy stmelené hydraulickým pojivem v konstrukci vozovky (třída pevnosti C_{3/4}).

Tabulka 20 Výsledky stanovení pevnosti v prostém tlaku vzorků

| Směs | F _{max} [kN] | d _{max} [mm] | R _c [MPa] | ØR _c | R _{cf} [MPa] | 85% R _c | Odolnost proti mrazu |
|------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|--|
| V1 | 3,864 | 3,02 | 0,49 | 0,48 | 0,17 | 0,41 | R _{cf} <85%R _c nevyhovuje |
| | 4,132 | 2,3 | 0,53 | | 0,11 | | |
| | 3,43 | 3,02 | 0,44 | | | | |
| V2 | 11,61 | 1,88 | 1,48 | 1,5 | 0,87 | 1,28 | R _{cf} <85%R _c nevyhovuje |
| | 10,87 | 2,15 | 1,38 | | 0,92 | | |
| | 12,8 | 1,97 | 1,63 | | 0,89 | | |
| S1 | 50,11 | 2,08 | 6,38 | 5,92 | 5,5 | 5,03 | R _{cf} > 85%R _c vyhovuje |
| | 40,09 | 2,05 | 5,1 | | 4,3 | | |
| | 49,31 | 1,4 | 6,28 | | 5,2 | | |
| U1 | 37,78 | 2,5 | 4,81 | 5,02 | 4 | 4,27 | R _{cf} <85%R _c nevyhovuje |
| | 36,94 | 2,49 | 4,7 | | 3,6 | | |
| | 43,68 | 2,32 | 5,56 | | 3,8 | | |



Obrázek 44 Výsledky pevnosti v prostém tlaku



Obrázek 45 Anomálie od běžných stmelených směsí (směs S1);



Obrázek 46 Anomálie od běžných stmelených směsí (směs U1, V1, V2)

Obrázek 47 Detail anomálie od běžných stmelených směsí U1

Při provádění uvedených laboratorních zkoušek, zejména v případě zrání, vykazovala zkušební tělesa jednotlivých směsí určité povrchové změny. Směs V1 (s významným obsahem jílových kalů z čířičů) byla problematicky zpracovatelná a na některých zkušebních tělesech je patrná nehomogenita ručního promíchávání. U směsi V1 je patrný efekt vytlačení jílovitých složek směsi k obvodu formy vzniklé při statickém lisování zkušebních těles. Směs U1 byla pokryta v době zrání „závojem“ z krystalů, což je s největší pravděpodobností způsobeno reakcí hydroxidu sodného z odpadní vody ve vlhkém prostředí zrání.

U směsi V2 se v době 28 denního zrání ve vlhkém prostředí objevilo drobné olupování povrchu vzorku doplněné drobnými trhlinkami. Směs S1 působila ze všech posuzovaných směsí nejkompaktněji. Před vlastní zkouškou pevnosti v prostém tlaku se na některých zkušebních tělesech objevili „odpoukliny“ a „vystřelující“ zrnka. Z DTA bylo později zjištěno, že se jedná o hlinitanovou reakci nejčastěji skleněných zbytků ve škváře.



Obrázek 48 Anomálie od běžných stmelených směsí (směsi U1 a V1)

8 Z Á V Ě R

Závěry z výzkumu kameniva z recyklovaného betonu do asfaltové směsi

Po provedení zkoušek recyklovaného kameniva se potvrdily zkušenosti, že betonový recyklát má **nižší odolnost proti drcení, vysokou nasákavost** a s ní spojenou **horší odolnost proti teplotě a zvětrávání**. Geometrické vlastnosti jsou vyhovující. Tyto problémy jsou pravděpodobně částečně zapříčiněny nehomogenním složením recyklátu, přítomností i malého množství rozdrčených cihel, které mají vyšší nasákavost a celkově nižší pevnost a trvanlivost. Dle výsledků zkoušek kameniva by další použití tohoto kameniva z běžného směsného betonového recyklátu nebylo vhodné nebo spíše nemožné.

Shrnutí výsledků směsi ACO 8 CH, 50/70:

- směs kameniva dle TP 210 i ČSN EN 13108-1 **nesplňuje** požadavky především na obsah jemných částic v hrubém kamenivu, nasákavost a odolnost proti zmrazování a rozmrazování (mrazuvzdornost lze ale považovat za splněnou s ohledem na téměř vyhovující trvanlivost síranem hořečnatým);
- zhutněná směs má dle svých požadavků problém pouze se **zvýšenou mezerovitostí**;
- ve srovnání s požadavky na běžné asfaltové směsi nesplňuje navíc požadavek na ITSR (chybí 3,5 % do směsi s označením „+“);

- posuzování dle funkčního přístupu má stejné nedostatky jako při srovnání požadavků empirického přístupu se směsí s označením „+“ (mezerovitost, ITSR)

Při srovnání vlastností betonového recyklátu jako kameniva s požadavky platných předpisů zůstává problém především s vyšší hodnotou nasákavosti, která neúměrně zvyšuje spotřebu pojiva. Další komplikací je nižší trvanlivost recyklovaného kameniva. Může to přinášet finanční náklady spojené s ochranou vrstvy před vniknutím vody a účinky mrazu (např. provedením nátěru, impregnačních postříků). Z výše uvedených důvodů je nevhodné použití betonových recyklátů do asfaltových směsí.

Závěry z výzkumu využití směsných recyklátů do upraveného podloží pozemních komunikací

Směsný recyklát je typickým materiálem pro kvalitní aktivní zóny podloží pozemních komunikací i pro velmi vysoké zatížení těžkou nákladní dopravou. Nehomogenita směsného recyklátu byla eliminována dávkováním pojiva a výzkumem přidáním PET vláken, drcené pryže a slévárenskými zbytky z jader. Z výsledků provedených zkoušek lze konstatovat že:

- zkoušený směsný recyklát vyhovoval svou zrnitostí pro použití ve stmelovaných směsích;
- drcená odpadní pryž se v cementem stmelené směsi neosvědčila (vyrobené zkušební vzorky nebyly vhodné ke zkoušení z důvodu vzniklých trhlin);
- cementem stmelené směsi se slévárenskou skořepinou dosahovaly vyšších hodnot IBI i CBR oproti referenční směsi;
- směsi, u kterých byla použita PET vlákna, mají tendenci ke snižování únosnosti při zvyšování procentuálního zastoupení vláken;
- nejvyšší hodnoty pevnosti v tlaku dosahovala referenční směs, ostatní směsi dosahovaly v důsledku přidání druhotných surovin nižších pevností;
- směsi s přídavkem 3 a 5% PET vláken se při zkoušce pevnosti v prostém tlaku chovaly značně pružně (po odtížení se zkušební vzorky vracely do původní polohy) a během zkoušky nedošlo k jejich porušení (všechny ostatní směsi lze zařadit do třídy pevnosti C_{3/4});
- zkouškou odolnosti proti mrazu a vodě byla zjištěna značná náchylnost cementem stmelovaných směsí ke ztrátě pevnosti (normou předepsané kritérium 85% pevnosti v tlaku nebylo v případě těchto směsí splněno – hodnoty se pohybovaly v rozmezí 69 – 82%);
- zkoušce odolnosti proti mrazu a vodě vyhověla pouze směs, kde bylo jako pojivo použito Doroportu TB25;
- směs s příměsí slévárenské skořepiny, vykazovala vyšší hodnoty modulu pružnosti než referenční směs I (při hodnotě svíslého napětí 90 kPa došlo přidáním 10% hm. slévárenské skořepiny k nárůstu modulu pružnosti až o 67%, přidáním 15% hm. to bylo dokonce o 77%);

- přidáním 1% PET vláken (směs IV-1) došlo k nárůstu E_r o 49%;
- směs s pojivem Doroport TB25 dosahuje nižšího modulu pružnosti než směs s cementem, přičemž zvětšováním hodnoty deviátoru napětí je tento rozdíl výraznější;
- srovnáním laboratorně a reálně zjištěných modulů pružnosti bylo zjištěno, že stmelené směsi se směsným recyklátem dosahují výrazně nižších hodnot, než jakých bylo dosaženo v případě směsí s betonovým recyklátem použitých na zkušebním úseku účelové komunikace v Brně Černovicích (zkušební polygon).

Závěry z výzkumu využití studených asfaltových směsí z R-materiálu

Při zjišťování zhutnitelnosti R-materiálu se ukázalo, že rázová metoda (Proctor modifikovaný) a vibrační metoda (vibrační pěch), běžně používané metody pro stanovení zhutnitelnosti stmelovaných směsí, nejsou pro hutnění vhodné. R-materiál je hrubozrnný s malým obsahem jemných částic. Při rázovém, nebo vibračním hutnění, se zrna nejsou schopna do sebe dostatečně zaklínit. Při hutnění R-materiál těmito metodami jednotlivá zrna odskakovala a vylétávala ven z formy, ale také z formy vytékala přebytečná voda. Z těchto důvodů nebylo možné stanovit zhutnitelnost pomocí doporučené metody uvedené v TP 208, Proctorem modifikovaným.

Zhutnitelnost R-materiálu byla zjištěna pomocí statického lisování. Maximální suchá objemová hmotnost $\rho_d = 2\ 100\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ byla dosažena při optimální vlhkosti $w_{\text{opt}} = 3,0\ \%$. Navržených 8 studených asfaltových směsí bylo vyráběno při teplotě $20\ ^\circ\text{C}$ (laboratorní teplota). Dále 5 směsí bylo vyráběno za zvýšené teploty $60\ ^\circ\text{C}$. Celkem tedy 13 studených asfaltových směsí. Z naměřených výsledků je zřejmé, že zvýšením teploty při výrobě směsí o $40\ ^\circ\text{C}$ (na $60\ ^\circ\text{C}$) docílíme nižší mezerovitosti, avšak pevnost v příčném tahu těchto směsí není vyšší natolik, aby bylo zahřívání efektivní. Dále je z naměřených výsledků zkoušky pevnosti v příčném tahu (R_{it}) zjevné, že směsi s rejuvenátory nedosáhli požadované pevnosti ($R_{it, \text{min}} = 0,30\ \text{MPa}$). Proto lze usoudit, že běžné rejuvenátory používané do horkých asfaltových směsí nejsou pro studené asfaltové směsi vhodné. Pro oživení zestárlého asfaltového pojiva je pravděpodobně zapotřebí vyšší teplota jak $60\ ^\circ\text{C}$. Z naměřených výsledků při zkouškách studených asfaltových směsí je patrné, že jediná vhodná receptura směsi pro podkladní vrstvy málo zatížených vozovek je ta s pracovním označením AEC2, vyráběna a hutněna při teplotě $20\ ^\circ\text{C}$. Receptura této směsi, byla navržena podle dosavadních zkušeností při provádění technologie recyklace za studena na místě s použitím kombinace dvou pojiv, asfaltové emulze a cementu. Cílem zařazení této směsi do laboratorního měření bylo získání tzv. referenčních výsledků. K těmto výsledkům byly ostatní výsledky dalších směsí vztaženy pro porovnání.

Experimentální měření vybraných směsí

Pro experimentální měření byly vybrány tyto směsi: AE, AEC1 a AEC2. Tyto směsi byly zvoleny záměrně pro sledování vlivu cementu na studenou asfaltovou směs.

Při experimentálním měření byly zjištěny další charakteristiky studených asfaltových směsí. Pevnost v tlaku a modul pružnosti. Z naměřených hodnot pevností v tlaku je dle očekávání patrné, že s rostoucím dávkováním cementu do směsi roste i pevnost v tlaku. Zároveň studené asfaltové směsi stmelené kombinací asfaltové emulze a cementu ztrácejí pružnost a jsou více křehké, než směsi stmelené pouze asfaltovou emulzí. Moduly pružnosti směsí byly stanoveny cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji. Naměřené hodnoty modulů pružnosti vybraných směsí jsou cca $E_r \approx 650$ MPa. Uváděný návrhový modul pružnosti mechanicky zpevněného kameniva (MZK) je $E_r = 600$ MPa. Zkoušené studené asfaltové směsi, naměřenými moduly pružnosti, odpovídají nejkvalitnější nestmelené směsi pro podkladní vrstvy vozovek (MZK). Ze získaných hodnot modulů pružnosti nelze stanovit korelaci mezi modulem pružnosti a množstvím cementu ve studených asfaltových směsích. Pro stanovení této korelace by bylo zapotřebí provést další měření, například na tělesech s různou dobou zrání (pro sledování vlivu hydratace cementu ve směsi). Také by bylo vhodné měření provádět na více zkušebních tělech, pro snížení odchylek při měření.

Závěry výzkumu problematických vlastností popílků a popílkových stabilizátů pro úpravu podloží vozovek pozemních komunikací

Míra namrzavosti vychází u většiny výsledků zkoušených směsí upravených zemin popílkou, stanovená přímou metodou podle ČSN 72 1191, jako nebezpečně namrzavá. Citlivost na vývoj mrazových zdvihů a porušení ztuhlé vrstvy se nezmění přidáním jakéhokoliv popílku, jako hydraulického pojiva do nevhodné zeminy typu sprašová hlína. Naopak v polovině případů dochází ke zvýšení koeficientu β . To je způsobeno zejména vysokým obsahem jemnozrnných částic výsledných úprav zemin a stejnozrnným charakterem částic, ze kterých je složen popílek. Ty jsou důvodem vysoké nasákavosti, charakteristické pro popílkou. Vysoká hodnota nasákavosti zapříčiní saturaci velkého objemu vody, který je poté k dispozici při působení teplot pod bodem mrazu a vytváření mrazových zdvihů. Lze pozorovat, že koeficient β směsí zemin s popílkem hnědouhelným, který má nejjemnější zrnitost, dosahuje nejvyšších hodnot namrzavosti a naopak hodnota namrzavost (β) směsí s popílkem černouhelným, který má ze zkoušených popílků největší zrna, je relativně nejnižší. Při úpravě jemnozrnné zeminy přidáním 2 % hm. vzdušného vápna došlo podle očekávání ke snížení hodnoty koeficientu namrzavosti β a zemina se stala mírně namrzavou až namrzavou. Tento výsledek potvrzuje známý fakt, že se namrzavost zeminy upraví přidáním hydraulického pojiva jako je vápno, ale toto tvrzení nelze bez ověření aplikovat na jakékoliv hydraulické pojivo, což se potvrdilo například výsledkem namrzavosti zeminy upravené, hydraulicky velmi aktivním, fluidním popílkem. Z výsledků nelze uspokojivě stanovit závislost mezi mírou namrzavosti zkoušených upravených zemin a jejich ostatními běžně zkoušenými charakteristikami. Jediná možná spojitost je mezi hodnotami CBR a modulem pružnosti zeminy upravené popílkou a vápnem, kdy se při snižující se hodnotě CBR směsí snižuje

i hodnota modulu pružnosti E_r . Zemina s vápnem má nejvyšší hodnotu CBR i modulu pružnosti, což potvrzuje také nejčastější použití této úpravy v praxi. Dle očekávání bylo zkouškou namrzavosti zjištěno, že úpravou zeminy vápnem dojde ke snížení míry namrzavosti z nebezpečně namrzavé zeminy na zeminu mírně namrzavou. Při úpravě jemnozrnné zeminy popílkou tomu tak však nebylo. Všechny směsi byly po zkoušce vyhodnoceny jako nebezpečně namrzavé, až na směs zeminy s 25 % popílkou černouhelného, která byla hodnocena na hranici mírně namrzavé a nebezpečně namrzavé zeminy. Přestože některé popílkou (zejména fluidní) vykazují vlastnosti hydraulického pojiva, jejich užití k úpravě zeminy nepřinese snížení její namrzavosti. Naopak u poloviny zkoušených směsí s popílkou se hodnota namrzavosti zvýšila, týkalo se to zejména směsí zeminy s popílkem hnědouhelným, který je z používaných popílkou nejjemnější. Potvrdilo se tedy, že namrzavost souvisí se zrnitostí materiálu, zejména s obsahem jemných částic, který ji negativně ovlivňuje, a větší množství použitých popílkou ve směsi působí jako plnivo jemných částic. Dále byl v praktické části práce zkoušen okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR. Kromě hodnocení únosnosti směsí upravených zemin je někdy tento parametr nesprávně používán pro nepřímé hodnocení namrzavosti zemin a upravených zemin. Nejvyšších hodnot IBI dosáhl vzorek samotného popílkou hnědouhelného a to IBI 45 %. Druhých nejvyšších hodnot IBI potom dosahovaly směsi zeminy s popílkem fluidním a nejnižších hodnot dosáhly vzorky zeminy s popílkem černouhelným. Výrazně nejvyšších hodnot CBR dosáhly vzorky zeminy upravené vápnem a zeminy s 15 % a 25 % fluidního popílkou, přičemž hodnoty CBR se oproti hodnotám IBI zvýšily přibližně 5x u zeminy upravené vápnem a průměrně 3x u zeminy s fluidním popílkem. Tento nárůst únosnosti lze tedy přičítat hydratačním reakcím vápna během doby zrání vzorků. Únosnost samotného popílkou hnědouhelného značně klesla po době zrání a saturaci ve vodě, kdy z původní výrazně nejvyšší hodnoty IBI 45% došlo k poklesu poměru únosnosti na CBR 2%, příčinou je velká nasákavost popílkou ve ztuhnutém stavu. Hodnoty CBR vzorků zeminy s 15 % a 25 % popílkou hnědouhelného také zřetelně klesly oproti hodnotám IBI. Pro upravené zeminy byl experimentálně stanoven modul pružnosti E_r , jehož výsledná hodnota byla stanovena jako interval hodnot, kterých modul pružnosti směsí nabýval při zatížení vzorku různými hodnotami svíslého napětí při komorovém tlaku 20 kPa, což je vodorovné napětí působící v konstrukci vozovky od těžké dopravy právě v úrovni podloží vozovky. Zkouška byla provedena pouze na vzorcích zeminy, zeminy upravené vápnem a na vzorcích zeminy s 25 % podílem jednotlivých popílkou. Nejvyšších hodnot modulů pružnosti dosahovala směs zeminy upravená vápnem a to 200 až 300 MPa a druhých nejvyšších hodnot dosáhla směs zeminy s fluidním popílkem 160 až 220 MPa. Tento nárůst lze opět vysvětlit vyšším obsahem volného vápna reagujícího v upravené zemině. Obsah popílkou hnědouhelného v zemině zapříčinil pokles hodnot modulů pružnosti. Při snižující se hodnotě CBR směsí se snižovala i hodnota modulu pružnosti E_r . Zemina s vápnem má tedy nejvyšší hodnotu CBR i modulu pružnosti.

Závěry z výzkumu použití spalovenské strusky do pozemních komunikací

Pro využití stmelných směsí do konstrukčních podkladních vrstev vozovek je důležité posoudit navržené směsi na pevnost v prostém tlaku. Podle ČSN EN 13286-41 se zkoušení pevnosti provádí na zkušebních válcových tělesech zhutněných hutnící energií Proctor modifikovaný při optimální vlhkosti. Samotná zkouška pevnosti byla provedena po předepsaných 28 dnech zrání. Posouzení odolnosti proti mrazu a vodě bylo provedeno v souladu s ČSN 73 6124-1. Hodnocení odolnosti proti mrazu se provádí porovnáním pevnosti v prostém tlaku na válcových zkušebních tělesech po 28 dnech zrání (R_c) s pevností v tlaku po 28 dnech zrání a určitým počtem mrazových cyklů, 6 hodin zmrazování saturovaných vzorků, 18 hodin temperace při laboratorní teplotě. Výsledná hodnota pevností v tlaku po mrazových cyklech je označena R_{cf} . Podle klimatických podmínek místa uložení směsi (Brno) bylo použito podle ČSN 73 6124-1 deseti zmrazovacích cyklů při teplotě -20°C . Hodnotící kritérium vhodnosti navržené směsi je min. hodnota $R_{cf}=0,85R_c$. Pro navržené směsi vyhovuje směs s označením ŠS S1. Při provádění uvedených laboratorních zkoušek, zejména v případě zrání, vykazovala zkušební tělesa jednotlivých směsí určité povrchové změny. Směs V1 (s významným obsahem jílových kalů z čiričů) byla problematicky zpracovatelná a na některých zkušebních tělesech je patrná nehomogenita ručního promíchávání. U směsi V1 je patrný efekt vytlačení jílovitých složek směsi k obvodu formy vzniklé při statickém lisování zkušebních těles. Směs U1 byla pokryta v době zrání „závojem“ z krystalů, což je s největší pravděpodobností způsobeno reakcí hydroxidu sodného z odpadní vody ve vlhkém prostředí zrání. U směsi V2 se v době 28 denního zrání ve vlhkém prostředí objevilo drobné olupování povrchu vzorku doplněné drobnými trhlinkami. Směs S1 působila ze všech posuzovaných směsí nejkompaktněji. Před vlastní zkouškou pevnosti v prostém tlaku se na některých zkušebních tělesech objevili „odpoukliny“ a „vystřelující“ zrnka. Z DTA bylo později zjištěno, že se jedná o hlinitanovou reakci nejčastěji skleněných zbytků ve škváře. Z důvodů kolísání množství jednotlivých chemických sloučenin a prvků ve vstupních materiálech spalovenské strusky je velmi komplikované vytvořit kompozit využitelný jako stavební materiál nebo surovina pro technologické a konstrukční vrstvy vozovek pozemních komunikací. Zejména s ohledem na kontrolní předpisy MŽP. Nejdále se postoupilo s výzkumem využitelnosti recyklátů z SDO do konstrukčních vrstev vozovek pozemních komunikací. Postupně vzniká „Katalog využitelnosti recyklátů a vedlejších energetických produktů do pozemních komunikací“. První část navrhovaných katalogových listů je uvedena níže v kap. Závěr. Pro každý recyklát nebo druhotnou surovinu apod. bude zpracován stručný katalogový list, který bude obsahovat důležité informace o vlastnostech sledovaného materiálu, o možnostech využití v pozemních komunikacích a bude popisovat výhody a nevýhody (problémy) daného materiálu.

Označení**Recyklát směsný**

frakce 32/63 mm

Popis:

Směsný recyklovaný stavební materiál obsahující úlomky cihel, betonu, keramických stavebních prvků, omítek a cizorodých částic do 10% objemu (dřevo, textil, pryž, plast, apod.).

Pozn. Na obrázku extrémní případ obsahu cizorodých částic.

Základní charakteristika:

Směsný charakter stavebního materiálu s obsahem větších cihelných kusů, betonu a omítek má obvykle vysokou nasákavost (10 až 25%) v závislosti na obsahu cihelných částic. Velmi často jsou součástí cizorodých částic směsného recyklátu úlomky dřeva ze zbytků starých rámců oken a dveří, případně stropních a střešních konstrukcí. Tyto organické zbytky je nutné odstranit v maximální míře. Vlivem velkého množství cihelných a keramických zbytků, které jsou křehké, je směsný recyklát méně odolný proti drcení zrn, zejména při vibračním hutnění středně těžkými a těžkými válci nad 12 t.

Možnosti vhodného použití:

Úpravy nevhodné zeminy v podloží vozovek nebo technologických vrstev násypů pozemních komunikací.

Zásypy rýh a výkopů s požadavkem drenáže a trativodu.

Zpevnění povrchu účelových komunikací (polních a lesních cest).

Jako kostra podkladní vrstvy vsypného makadamu, vibrovaného štěrku nebo kaleného štěrku pro vozovky účelových komunikací s nestmeleným krytem.

Spodní (sanační) podkladní vrstva pro parkoviště s vyloučením těžké nákladní dopravy.

Spodní podkladní vrstva pro jiné dopravní plochy s vyloučením těžké nákladní dopravy.

Nevhodné použití:

Není vhodné do krytových vrstev vozovek pozemních komunikací.

Není vhodné použití do horních podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací.

Do betonů a betonových konstrukcí používaných na stavebních objektech pozemních komunikací.

Další možné využití:

Separace cizorodých částic a využití jako sanačních vrstev obsypů inženýrských sítí.

Sekundární drcení na drobnější frakce 0/32 nebo 0/22,4 a 0/16 a využití pro vrstvy stmelené hydraulickými pojivy.

Označení**Recyklát směsný**

frakce 0/16 mm; 0/32 mm

Popis:

Směsný recyklovaný stavební materiál obsahující úlomky cihel, betonu, keramických stavebních prvků, omítek a cizorodých částic do 10% objemu (dřevo, textil, pryž, plast, apod.).

Základní charakteristika:

Směsný charakter stavebního materiálu s obsahem cihelných kusů, betonu a omítek má obvykle vysokou nasákavost (10 až 25%) v závislosti na obsahu cihelných částic. Tento směsný recyklát frakce 0/16 nebo 0/32 mm má často velmi nehomogenní obsah jemných částic menších než 0,063 mm. V případech běžné výroby, bez separace hlinitých částic, se pohybuje obsah jemných částic $f = 12$ až 25% hm. výjimečně i přes 30% hm. V případě optimalizované výroby, nejčastěji po sekundárním třídění může klesnout obsah hlinitých příměsí f na 3 až 10% hm. v závislosti na kvalitě tříděného materiálu a způsobu třídění. Stele častější využití ve frakcích 0/32 a 0/63 mm jako některé typy směsí pro nestmelené vrstvy vozovek.

Možnosti vhodného použití:

Mechanické úpravy nevhodného podloží vozovky a technologických vrstev násypů pozemních komunikací.

Úpravy podloží vozovek směsí recyklátu s hydraulickým pojivem – stabilizace nevhodného podloží vozovky (jako pojivo cement směsný, hydraulická silniční pojiva).

Materiál pro prosté a vrstevnaté násypy.

Zásypy rýh a výkopů inženýrských sítí, včetně drenáží a trativodů.

Zpevnění povrchu účelových komunikací (polních a lesních cest).

Výplňový materiál pro šterkové podkladní vrstvy provizorních pozemních komunikací.

Spodní (sanační) podkladní vrstva pro parkoviště s vyloučením nákladní dopravy.

Spodní podkladní vrstva pro jiné dopravní plochy s vyloučením těžké nákladní dopravy.

Používat především ve směsích frakcí 0/32 a 0/63 mm.

Nevhodné použití:

Není vhodné do krytových vrstev vozovek pozemních komunikací.

Není vhodné použití do podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací.

Do betonů a betonových konstrukcí používaných na stavebních objektech pozemních komunikací.

Další možné využití:

Směsi s hydraulickým pojivem do aktivní zóny podloží jako stabilizace.

Směsi s hydraulickým pojivem pro fixaci obrubníků a podobných betonových prvků používaných pro dopravní stavby především u městských komunikací.

Optimalizace zrnitosti (především snížení obsahu jemných částic) dalším tříděním a separací.

Označení**Recyklát betonový**

frakce 16/32 mm

Popis:

Betonový recyklát obsahující minimum úlomků cihel a keramiky, omítek a cizorodých částic do 3% objemu (dřevo, textil, pryž, plast, apod.).

Základní charakteristika:

Vytříděný betonový recyklát s minimálním množstvím cizorodých částic (do 3% objemu). Obvyklá hodnota nasákavosti WA po 24 hodinách je 2,5 až 7%. Frakce 16/32 je výstupem optimalizované výroby po sekundárním třídění. Obsah jemných částic v této úzké frakci je nulový. Velmi dobrý tvarový index zrn. Cena bývá o třetinu vyšší než u netříděného betonového recyklátu ve směsi.

Možnosti vhodného použití:

Jako hrubé kamenivo do betonů nebo směsí stmelěných cementem nebo hydraulickým silničním pojivem nižších pevnostních tříd (C_{12/15}; C_{16/18}; C_{20/25} apod.).

Zpevnění povrchu účelových komunikací jako nestmelené vrstvy nebo prolévané vrstvy cementovou maltou.

Zásypy rýh a výkopů s drenážní schopností.

Výplňový materiál pro šterkové podkladní vrstvy provizorních pozemních komunikací.

Horní prolévaná podkladní vrstva pod dlážděné nebo asfaltové krytové vrstvy.

Spodní (sanační) podkladní vrstva pro parkoviště s vyloučením nákladní dopravy.

Spodní podkladní vrstva pro jiné dopravní plochy s vyloučením těžké nákladní dopravy.

Nevhodné použití:

Není vhodné do krytových vrstev vozovek pozemních komunikací.

Není vhodné použití samostatně do podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací, protože se jedná o úzkou frakci kameniva velmi špatně zhutnitelnou.

Další možné využití:

Směsi s hydraulickým pojivem do aktivní zóny podloží jako stabilizace.

Směsi s hydraulickým pojivem pro fixaci obrubníků a podobných betonových prvků používaných pro dopravní stavby především u městských komunikací po podrcení do směsi 0/32.

Optimalizace zrnitosti (především snížení obsahu jemných částic) dalším tříděním a separací. Mezerovité betony pro odvodnění spodních vrstev betonových konstrukcí.

Označení**Recyklát betonový**

frakce 0/16 a 0/32 mm

Popis:

Betonový recyklovaný stavební materiál obsahující minimálně úlomků cihel a keramiky, omítek a cizorodých částic do 5% objemu (dřevo, textil, pryž, plast, apod.).

Základní charakteristika:

Recyklát z betonu má obvyklou nasákavost 5-7 % hm. po 24 hodinách saturace v závislosti na obsahu jemných a zvětralých částic. Obsah jemných částic menších jak 0,063 mm je obvykle v rozmezí 3-10% hmot. V případě optimalizované výroby, nejčastěji po sekundárním třídění, může klesnout obsah jemných částic pod 3% hm. Kvalita betonového recyklátu je závislá na kvalitě betonu v původní stavební konstrukci. Pro dosažení pravidelné homogenity vlastností recyklátu z betonu je důležité důsledné třídění tohoto recyklátu podle jeho aktuální kvality. Jednou z možností je např. rychlé určování zbytkové pevnosti Schmidovým kladívkem. Do pozemních komunikací je neoptimálnější využití ve frakcích 0/32 a 0/63 mm. V některých speciálních případech je možné použít frakci 32/63.

Možnosti vhodného použití:

Do směsí stmelených cementem nebo hydraulickým silničním pojivem nižších pevnostních tříd (C_{3/4}; C_{5/6}; C_{8/10}; apod.).

Zpevnění povrchu účelových komunikací jako nestmelené vrstvy nebo prolévané vrstvy cementovou maltou.

Zásypy rýh a výkopů s drenážní schopností.

Výplňový materiál pro šterkové podkladní vrstvy provizorních pozemních komunikací.

Horní prolévaná podkladní vrstva pod dlážděné nebo asfaltové krytové vrstvy.

Spodní (sanační) podkladní vrstva pro parkoviště s vyloučením nákladní dopravy.

Spodní nestmelená podkladní vrstva pro silnice III. tříd a účelové místní komunikace.

Mechanické úpravy nevhodné zeminy v podloží vozovky.

Úprava podloží vozovek z nevhodné zeminy použitím směsí recyklátů s pojivem (cement, hydraulické silniční pojivo). Obvyklé množství pojiva dostačující k úpravě je 2-5% hm.


Nevhodné použití:

Málo vhodný do krytových vrstev netuhých vozovek pozemních komunikací. Velká spotřeba asfaltového pojiva v asfaltových vrstvách. Není vhodné použít pro nestmelené horní podkladní vrstvy u vozovek s vysokých dopravním zatížením. Do cementobetonových krytů (spodní vrstva) jen do cca 30% hm. kvalitního betonového recyklátu. Recyklovaný beton většinou nevyhovuje přísným parametrům nasákavosti, trvanlivosti a odolnosti proti drcení.

Další možné využití:


Směsi s hydraulickým pojivem do aktivní zóny podloží jako stabilizace.

Směsi s hydraulickým pojivem do vrstev vozovek. Směsi s hydraulickým pojivem pro fixaci obrubníků a podobných betonových prvků používaných pro dopravní stavby především u městských komunikací po podrcení do směsí 0/32. Optimalizace zrnitosti (především snížení obsahu jemných částic) dalším tříděním a separací.

| | |
|---|--|
|  | <p><u>Označení</u></p> <p>Drcený recyklovaný štěrk</p> <p>frakce 16/32 mm</p> <p><u>Popis:</u> Směsný recyklovaný stavební materiál obsahující úlomky přírodního kameniva, těžného kameniva, úlomků keramiky, a cizorodých částic do 3% objemu.</p> |
| <p><u>Základní charakteristika:</u> Směsný charakter stavebního materiálu s obsahem drcených a těžných (kulatých) zrn má obvykle nasákavost 3-5 % hm. v závislosti na obsahu těžného kameniva. Tento recyklovaný štěrk má malý obsah jemných částic pod 0,063 mm. V případě běžné výroby se pohybuje do 1% hm. většinou se jedná o štěrk s dobrým tvarovým indexem zrn. Může být v závislosti na příměsích různě barevně odlišný.</p> | |
| <p><u>Možnosti vhodného použití:</u> Zpevnění povrchu účelových komunikací jako nestmelené vrstvy nebo prolévané vrstvy cementovou maltou. Zásypy rýh a výkopů s drenážní schopností. Výplňový materiál pro štěrkové podkladní vrstvy provizorních pozemních komunikací. Spodní (sanační) podkladní vrstva pro parkoviště s vyloučením nákladní dopravy. Spodní nestmelená podkladní vrstva pro silnice III. tříd a účelové místní komunikace. Mechanické úpravy nevhodné zeminy v podloží vozovky. Úprava podloží vozovek z nevhodné zeminy použitím směsí recyklátů s pojivem (cement, hydraulické silniční pojivo). Obvyklé množství pojiva dostačující k úpravě je 2-5% hm.</p> | |
| <p><u>Nevhodné použití:</u> Není vhodné do krytových vrstev vozovek pozemních komunikací. Není vhodné použití do podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací. Do betonů a betonových konstrukcí používaných na stavebních objektech pozemních komunikací.</p> | |
| <p><u>Další možné využití:</u> Směsi s hydraulickým pojivem pro fixaci obrubníků a podobných betonových prvků používaných pro dopravní stavby především u městských komunikací po podrcení do směsí 0/32. Optimalizace zrnitosti (především snížení obsahu jemných částic) dalším tříděním a separací.</p> | |

| | |
|--|---|
|  | <p><u>Označení</u></p> <p>Recyklát směsný – zásypový materiál frakce 0/16 mm</p> <p><u>Popis:</u> Směsný recyklovaný stavební materiál pro zásypy obsahující velké množství úlomků cihel, betonu, keramických stavebních prvků, omítek a cizorodých částic do 20% objemu (dřevo, textil, pryž, plast, apod.). Někdy se klasifikuje jako tříděná zemina pro parkové úpravy.</p> |
| | |
| <p><u>Základní charakteristika:</u> Směsný charakter stavebního materiálu s vysokým obsahem cihelných kusů, betonu a omítek má obvykle vysokou nasákavost (10 až 25%) v závislosti na obsahu cihelných částic. Tento směsný recyklát nejčastěji ve frakci 0/16 má často velmi nehomogenní obsah jemných částic menších než 0,063 mm. V případech běžné výroby, bez separace hlinitých částic, se pohybuje obsah jemných částic $f = 12$ až 25% hm. výjimečně i přes 30% hm. V případě optimalizované výroby, nejčastěji po sekundárním třídění může klesnout obsah hlinitých příměsí f na 3 až 10% hm. v závislosti na kvalitě tříděného materiálu a způsobu třídění. V případě klasifikace na tříděnou zeminu pro parkové úpravy je vyšší obsah prachovitých částic a nižší obsah cihelných a keramických zbytků (do 10% objemu).</p> | |
| <p><u>Možnosti vhodného použití:</u> Mechanické úpravy nevhodného podloží vozovky a technologických vrstev násypů pozemních komunikací. Úpravy podloží vozovek směsí recyklátu s hydraulickým pojivem – stabilizace nevhodného podloží vozovky (jako pojivo cement směsný, vzdušné vápno, hydraulická silniční pojiva). Materiál pro prosté a vrstevnaté násypy. Zásypy rýh a výkopů inženýrských sítí, včetně drenáží a trativodů. Zpevnění povrchu účelových komunikací (polních a lesních cest). Výplňový materiál pro šterkové podkladní vrstvy provizorních pozemních komunikací. Spodní (sanační) podkladní vrstva pro parkoviště s vyloučením nákladní dopravy. Spodní podkladní vrstva pro jiné dopravní plochy s vyloučením těžké nákladní dopravy. Většinou se směsný recyklát klasifikuje jako zemina podle ČSN 73 6133. Tříděnou zeminu je možné použít na svahování a humusování.</p> | |
| <p><u>Nevhodné použití:</u> Není vhodné do krytových vrstev vozovek pozemních komunikací. Není vhodné použití do podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací. Do betonů a betonových konstrukcí používaných na stavebních objektech pozemních komunikací.</p> | |
| <p><u>Další možné využití:</u> Směsi s hydraulickým pojivem do aktivní zóny podloží jako stabilizace. Směsi s hydraulickým pojivem pro fixaci obrubníků a podobných betonových prvků používaných pro dopravní stavby především u městských komunikací. Optimalizace zrnitosti)především snížení obsahu jemných částic) dalším tříděním a separací.</p> | |

| | |
|---|---|
|  | <p><u>Označení</u> Recyklát cihelný frakce 0/63 mm, příp. 0/90 a 0/125 mm</p> <p><u>Popis:</u> Cihelný recyklovaný stavební materiál obsahující úlomky cihel, střešních pálených a betonových krytin, apod. s obsahem cizorodých částic do 10% objemu (dřevo, pryž, plast, textil, apod.)</p> |
| <p><u>Základní charakteristika:</u> Směsný charakter keramického stavebního materiálu s převažujícím obsahem cihelných zbytků má obvykle vysokou nasákavost (10 až 25%) výjimečně až 50% v závislosti na složení recyklátu. Tento směsný (cihelný) recyklát nejčastěji ve frakci 0/63 mm má často velmi nehomogenní obsah jemných částic menších než 0,063 mm. V případech běžné výroby, bez separace hlinitých částic, se pohybuje obsah jemných částic $f = 7$ až 25% hm. výjimečně i přes 30% hm. V případě optimalizované výroby, nejčastěji po sekundárním třídění může klesnout obsah hlinitých příměsí f na 3 až 10% hm. v závislosti na kvalitě tříděného materiálu a způsobu třídění. Stále častěji se dnes využívá ve frakcích 0/90 a 0/125.</p> | |
| <p><u>Možnosti vhodného použití:</u> Mechanické úpravy nevhodného podloží vozovky a technologických vrstev násypů pozemních komunikací. Úpravy podloží vozovek směsí recyklátu s hydraulickým pojivem – stabilizace nevhodného podloží vozovky při frakci 0/63 mm (jako pojivo cement směsný, vzdušné vápno, hydraulická silniční pojiva). Materiál pro prosté a vrstevnaté násypy. Zásypy rýh a výkopů inženýrských sítí, včetně drenáží a trativodů. Zpevnění povrchu úcelových komunikací (polních a lesních cest).</p> | |
| <p><u>Nevhodné použití:</u> Není vhodné do krytových vrstev vozovek pozemních komunikací. Není vhodné použití do podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací. Do betonů a betonových konstrukcí používaných na stavebních objektech pozemních komunikací.</p> | |
| <p><u>Další možné využití:</u> Ve směsi s dalším recyklátem nebo vedlejším energetickým produktem. Drcení a výroba drobného cihelného kameniva (antuka, apod.) Optimalizace zrnitosti (především snížení obsahu jemných částic) dalším tříděním a separací.</p> | |

| | |
|--|--|
|  | <p><u>Označení</u> Recyklát asfaltový (R-materiál) frakce 0/11 mm, příp. 0/16 a 0/22 mm <u>Popis:</u> Kvalitní recyklovaný materiál z krytových vrstev netuhých vozovek. R-materiál – materiál s obsahem min. 95% hm. zrn obalených asfaltem. Asfaltový recyklát (Ra) – materiál s obsahem 30 – 95% hm. zrn obalených asfaltem.</p> |
| <p><u>Základní charakteristika:</u> Zrnitostní složení asfaltového recyklátu 0/22 mm odpovídá přímému použití do asfaltových podkladních vrstev typu ACP 22 v množství do 40% hm. U frakce 0/11,2 mm lze do asfaltové obrusné vrstvy typu ACO 11 použít až 20% hm. asfaltového recyklátu při splnění požadavků příslušných návrhových předpisů. Asfaltový recyklát vzniklý nejčastěji vyfrézováním starých asfaltových vrstev vozovky je charakteristický nízkým obsahem jemných částic. Pohybuje se v rozmezí $f = 0$ až 3% hm. Při použití zpět do asfaltové směsi za horka je důležité sledovat aktuální vlhkost asfaltového recyklátu.</p> | |
| <p><u>Možnosti vhodného použití:</u> Využití do krytových vrstev netuhých vozovek pozemních komunikací. Jako studená asfaltová směs do nestmelené podkladní vrstvy vozovky. Stmelená podkladní vrstva – za studena zhutněná. Technologie recyklace za studena. Míchání s asfaltovými emulgemi a použití jako horní podkladní vrstva. Zpevnění povrchu vozovek účelových místních komunikací. U nehomogenních asfaltových recyklátů použití do nezpevněných krajnic vozovek.</p> | |
| <p><u>Nevhodné použití:</u> Není vhodné do podloží vozovek pozemních komunikací. Není vhodné použití do cementobetonových krytů vozovek pozemních komunikací. Do betonů a betonových konstrukcí používaných na stavebních objektech pozemních komunikací.</p> | |
| <p><u>Další možné využití:</u> Směsi s hydraulickým pojivem do stmelené podkladní vrstvy. Směsi s betonovým recyklátem pro zvýšení množství recyklátu. Ve směsi s dalším recyklátem nebo vedlejším energetickým produktem. Optimalizace zrnitosti (především zvýšení obsahu jemných částic).</p> | |

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 73 6100-1 Názvosloví pozemních komunikací – Část 1: Základní názvosloví
- [2] Vyhláška MŽP č. 294/2005 Sb. O podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu
- [3] TP 210 Užití stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací, MD ČR, 2011
- [4] Výzkumná zpráva projektu TAČR, TA01020333 Recyklované stavební materiály v konstrukcích dopravních staveb, VUT Brno, 2014
- [5] WILCZEK, M. Recyklovaná kameniva a materiály do asfaltových vrstev vozovek pozemních komunikací, diplomová práce, VUT Brno, 2011
- [6] KROPÁČ, P. Recyklované kamenivo do asfaltových směsí pozemních komunikací, diplomová práce, VUT Brno, 2013
- [7] POKLUDA, R. Stavební recykláty pro stmelené směsi vozovek, diplomová práce, VUT Brno, 2013
- [8] SVRČINA, V. Využití asfaltových a betonových recyklátů do pozemních komunikací, diplomová práce, VUT Brno, 2015
- [9] ŠEVC, J. Studené asfaltové směsi s R-materiálem, diplomová práce, VUT Brno, 2016
- [10] SOKOLOVÁ, V. Namrzavost zemin a druhotných materiálů v podloží vozovek, diplomová práce, VUT Brno, 2015
- [11] Výzkumná zpráva č. HS 12557162/12511/15 Výzkum využitelnosti škváry ze spalování společnosti SAKO Brno, a.s., Část 2 – Analýza vlastností a ověření využitelnosti, Centrum AdMaS, reg. Č. projektu: CZ.1.05/2.1.00/03.0097, VUT Brno, 2016
- [12] STEHLÍK, D. Realizační výstup výzkumného projektu MD ČR č. CG712-043-910 „Systémy hospodaření s druhotnými materiály do pozemních komunikací v ČR“, VUT Brno, 2012

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma řezu konstrukcí vozovky s jednotlivými konstrukčními vrstvami podle platných předpisů ČR

Obrázek 2 Čáry zrnitosti použitých recyklovaných stavebních materiálů

Obrázek 3 Čáry zrnitosti směsi kameniva navrhnuté pro ACO 8 CH a požadované meze zrnitosti směsi kameniva

Obrázek 4 Směs ACO 8 CH, 50/70, obsah pojiva 7,1 % hmotnosti směsi (Marshallovo zkušební těleso a řez tělesem)

Obrázek 5 Čáry zrnitosti směsi kameniva navrhnuté pro ACL 16 a požadované meze zrnitosti směsi kameniva

Obrázek 6 Směs ACL 16, 50/70, obsah pojiva 6,5 % hmotnosti směsi s betonovým recyklátem

Obrázek 7 Směsný recyklát pro zkoušení do stmelěných směsí ve frakci 0/16 mm

Obrázek 8 Slévárenská skořepina – příprava od odformování po drcení do práškové formy pojiva

Obrázek 9 Ukázka použitých komponentů druhotných surovin do navrhovaných stmelěných směsí slévárenská skořepina, PET vlákna, drcená odpadní pryž

Obrázek 10 Čára zrnitosti zkoušeného směsného recyklátu

Obrázek 11 Znázornění zhutnitelnosti zkoušených směsí – Proctor standard

Obrázek 12 Postup přípravy zkušebních válcových těles před zkouškou pevnosti v tlaku

Obrázek 13 Zkoušení pevnosti v prostém tlaku a příčném tahu

Obrázek 14 Cyklický triaxiální přístroj pro zkoušení zkušebních válcových těles průměru 100 mm, výšky 200 mm

Obrázek 15 Grafické srovnání modulů pružnosti stmelěných směsí s recyklátem

Obrázek 16 Porušená zkušební tělesa zkoušených směsí betonového recyklátu s hydraulickým pojivem

Obrázek 17 Zkušební vzorek R-materiálu z Rajhradic

Obrázek 18 Čáry zrnitosti zkoušeného asfaltového recyklátu před a po extrakci

Obrázek 19 Porovnání objemových hmotností navržených studených asfaltových směsí

Obrázek 20 Přehled zkušebních válcových těles hutněných při teplotě 20°C

Obrázek 21 Porovnání mezerovitostí zkoušených studených asfaltových směsí

Obrázek 22 Zkouška pevnosti v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech

Obrázek 23 Zkušební tělesa navržených studených směsí po zkoušce pevnosti v příčném tahu (Rit)

Obrázek 24 Porovnání výsledných hodnot pevnosti v příčném tahu (Rit) studených asfaltových směsí

Obrázek 25 Stanovení a vyhodnocení pevnosti v tlaku na studených asfaltových směsích

Obrázek 26 Grafické znázornění růstu modulů pružnosti s narůstáním svislého zatížení (nízké napětí)

Obrázek 27 Grafické znázornění růstu modulů pružnosti s narůstáním svislého zatížení (vysoké napětí)

Obrázek 28 Schéma postupného vzniku mrazového zdvihu, Zdroj:

Obrázek 29 Křivka zrnitosti zkoušené upravované jemnozrnné zeminy klasifikované F6 CI

Obrázek 30 Křivky zrnitosti zkoušených elektrářenských popílků

Obrázek 31 Zkušební vzorky F6 CI a F6 CI+25%EDE po zkoušce IBI

Obrázek 32 Porovnání výsledných hodnot poměrů únosnosti IBI a CBR sledovaných úprav

Obrázek 33 Zrání zkušebních válcových zkušebních těles na rošttech v klimatizované komoře

Obrázek 34 Grafické vyhodnocení zkoušky zhutnitelnosti Proctor modifikovaný – spalovenská struska

Obrázek 35 Rozdíl při způsobu zrání popsany výše je vidět i vizuálně na zkušebních tělesech před zkouškou pevnosti v tlaku. První ozn. 5/S ve vlhkém prostředí s trhlinkami, druhý vzorek ozn. 1/S - suchý bez viditelných trhlinek

Obrázek 36 Zrnitostní rozbor jednotlivých složek směsí se spalovenskou škvárou

Obrázek 37 Zhutněná zkušební tělesa směsi V1 do stmelených podkladních vrstev

Obrázek 38 Zhutněná zkušební tělesa směsi S1 do stmelených podkladních vrstev

Obrázek 39 Zhutněná zkušební tělesa směsi U1 a V2 do stmelených podkladních vrstev

Obrázek 40 Maximální objemová hmotnost vzorků ze zkoušky Proctor standard

Obrázek 41 Optimální vlhkost vzorků ze zkoušky Proctor standard

Obrázek 42 Kalifornský poměr únosnosti CBR

Obrázek 43 Porušená zkušební tělesa ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku – V1; V2; S1; U1

Obrázek 44 Výsledky pevnosti v prostém tlaku

Obrázek 45 Anomálie od běžných stmelených směsí (směs S1)

Obrázek 46 Anomálie od běžných stmelených směsí (směs V2)

Obrázek 47 Anomálie od běžných stmelených směsí

Obrázek 48 Anomálie od běžných stmelených směsí (směsi U1 a V1)

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučení použití nejběžnějších recyklátů do vozovek pozemních komunikací

Tabulka 2 Výsledné hodnoty z provedených laboratorních zkoušek na ACO 8 CH s R_c

Tabulka 3 Výsledky zkoušek směsi ACO 8 CH a porovnání s normovými požadavky

Tabulka 4 Požadavky na kamenivo do směsi ACL 16 a výsledky provedených zkoušek

Tabulka 5 Výsledky zkoušek směsi ACL 16 a porovnání s normovými požadavky

Tabulka 6 Přehled navržených a zkoušených stmelovaných směsí se směsným recyklátem

Tabulka 7 Výsledné hodnoty zkoušek zhutnitelnosti směsí metodou Proctor-standard

Tabulka 8 Výsledné hodnoty zkoušení pevnosti v prostém tlaku a příčném tahu

Tabulka 9 Výsledné hodnoty poměrů únosnosti zkoušených stabilizovaných směsí

Tabulka 10 Výsledné hodnoty naměřených modulů pružnosti pro jednotlivé stmelené směsi se směsným recyklátem

Tabulka 11 Popis navržených studených asfaltových směsí

Tabulka 12 Výsledky odolnosti proti vodě studených asfaltových směsí

Tabulka 13 Výsledné hodnoty modulů pružnosti E_r z dynamického namáhání v cyklickém triaxiálním přístroji (metoda B – nízké napětí)

Tabulka 14 Výsledné hodnoty modulů pružnosti E_r z dynamického namáhání v cyklickém triaxiálním přístroji (metoda B – vysoké napětí)

Tabulka 15 Shrnutí výsledků laboratorních zkoušek provedených na upravené zemině vápnem a popílky

Tabulka 16 Výsledné průměrné hodnoty pevností v tlaku po 7 a 28 dnech na zkušebních válcových tělesech ze spalovenské škváry

Tabulka 17 Výsledky měrných a objemových hmotností

Tabulka 18 Výsledky zrnitosti jednotlivých komponentů

Tabulka 19 Tabulkové znázornění podílů surovin ve směsích V1, V2, S1, U1

Tabulka 20 Výsledky stanovení pevnosti v prostém tlaku vzorků

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Technické podmínky TP 210 Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací (2011)

Příloha 2 Technické podmínky TP 138 Užití struskového kameniva do pozemních komunikací (2011)

Příloha 1

TP 210

Ministerstvo dopravy
odbor silniční infrastruktury

UŽITÍ RECYKLOVANÝCH STAVEBNÍCH DEMOLIČNÍCH MATERIÁLŮ DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

TECHNICKÉ PODMÍNKY

Schváleno MD - OSI č.j.1118/10-910-IPK/1
ze dne 15.12.2010 s účinností od 1.1. 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

2011

OBSAH

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | PŘEDMLUVA | 2 |
| 2 | PŘEDMĚT A PLATNOST TECHNICKÝCH PODMÍNEK | 93 |
| 2.1 | PŘEDPISY PRO RECYKLAČNÍ TECHNOLOGIE VE STRUKTUŘE SILNIČNÍCH NOREM..... | 93 |
| 3 | TERMÍNY A DEFINICE | 94 |
| 3.1 | STAVEBNÍ A DEMOLIČNÍ ODPAD (SDO)..... | 94 |
| 3.2 | RECYKLOVANÝ STAVEBNÍ MATERIÁL – RECYKLÁT (RSM) | 94 |
| 4 | UŽITÍ RECYKLÁTŮ V PK | 95 |
| 4.1 | VŠEOBECNĚ..... | 95 |
| 4.2 | NESTMELÉNÉ VRSTVY | 96 |
| 4.3 | STMELÉNÉ VRSTVY | 96 |
| 4.4 | ZEMNÍ TĚLESO A PODLOŽÍ VOZOVKY PK..... | 97 |
| 4.5 | TLOUŠŤKA VRSTEV Z RECYKLÁTU..... | 97 |
| 5 | VSTUPNÍ MATERIÁLY | 97 |
| 5.1 | VŠEOBECNĚ..... | 97 |
| 5.2 | RECYKLÁT (RSM)..... | 97 |
| 5.3 | POJIVO..... | 99 |
| 5.4 | PŘÍMĚSI..... | 101 |
| 5.5 | VODA | 101 |
| 5.6 | SMĚSI Z RSM..... | 101 |
| 6 | VÝROBA RECYKLÁTŮ | 103 |
| 6.1 | METODY ÚPRAVY STAVEBNÍCH A DEMOLIČNÍCH ODPADŮ SDO NA RECYKLÁT | 103 |
| 7 | STAVEBNÍ PRÁCE | 103 |
| 7.1 | PODMÍNKY PROVÁDĚNÍ | 103 |
| 7.2 | NESTMELÉNÉ VRSTVY | 104 |
| 7.3 | STMELÉNÉ VRSTVY | 104 |
| 7.4 | ZEMNÍ TĚLESO A PODLOŽÍ VOZOVKY PK..... | 104 |
| 8 | HODNOCENÍ SHODY | 105 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 8.1 | POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT) | 105 |
| 8.2 | PRŮKAZNÍ ZKOUŠKY SMĚSÍ Z RSM | 105 |
| 8.3 | KONTROLNÍ ZKOUŠKY SMĚSÍ Z RSM..... | 105 |
| 8.4 | KONTROLNÍ ZKOUŠKY VRSTEV Z RSM..... | 105 |
| 9 | ENVIRONMENTÁLNÍ POŽADAVKY | 106 |
| 10 | BEZPEČNOST PRÁCE A OCHRANA ZDRAVÍ..... | 106 |
| 11 | CITOVANÉ A SOUVISÍCÍ NORMY A PŘEDPISY | 106 |
| | PŘÍLOHA A TP 210 – DOPOR. POŽADAVKY NA ZRNITOST STMELENÝCH SMĚSÍ Z RECYKLÁTU..... | 111 |
| | PŘÍLOHA B TP 210 - Vysvětlivky ke zkratkám | |

1 PŘEDMLUVA

Recyklované stavebně demoliční materiály jsou při správném použití stejně hodnotné jako standardní přírodní materiály. Využívání recyklovaných materiálů správným způsobem tedy není na úkor kvality stavebního díla.

Problémem je špatná informovanost o možnostech těchto materiálů a nevhodný způsob uvádění recyklačních technologií do souvislosti s nakládáním s odpady. S tím souvisí vznik mnoha uměle vytvořených problémů a zbytečných překážek.

Tyto technické podmínky řeší využití recyklovaných minerálních odpadů z demolic staveb (dále jen stavebně demoliční odpad-SDO), do zemního tělesa, podloží vozovek a konstrukčních vrstev pozemních komunikací, dopravních a jiných ploch (dále jen PK). Recyklací SDO vzniká výrobek-recyklát, určený jako náhrada přírodního kameniva při používání do konstrukčních vrstev, případně jako vhodný materiál do zemního tělesa a podloží vozovek PK.

Při dodržení všech požadavků TP je možné použití recyklátu z betonu v omezeném rozsahu k výrobě asfaltových směsí a cementobetonových krytů vozovek pozemních komunikací.

Tyto technické podmínky (TP) jsou určeny především pro zpracovatele, výrobce a také objednatele prací s recyklovaným stavebním materiálem, dále pak pro provozovatele recyklačních linek a správce recyklačních dvorů. Některá ustanovení těchto TP jsou stejná nebo navazující na ustanovení zejména TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena.

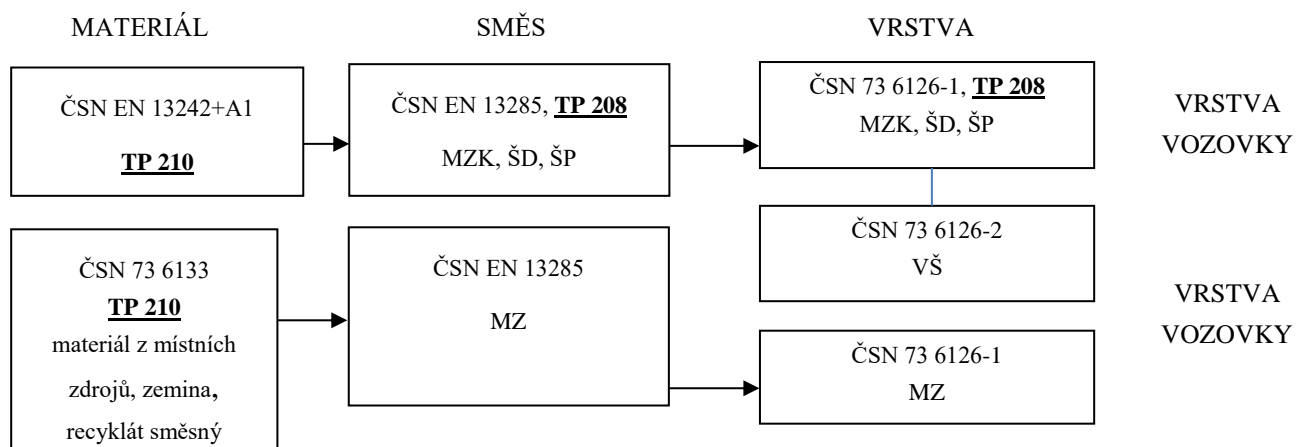
2 PŘEDMĚT A PLATNOST TECHNICKÝCH PODMÍNEK

Technické podmínky stanovují zásady a podmínky pro návrh, provádění, kontrolu a výrobu konstrukčních vrstev PK a zemního tělesa PK z recyklovaného stavebního materiálu (recyklátu) ze staveb a pro bezpečnou práci a ochranu životního prostředí v souvislosti se stavební výrobou a s užíváním objektu.

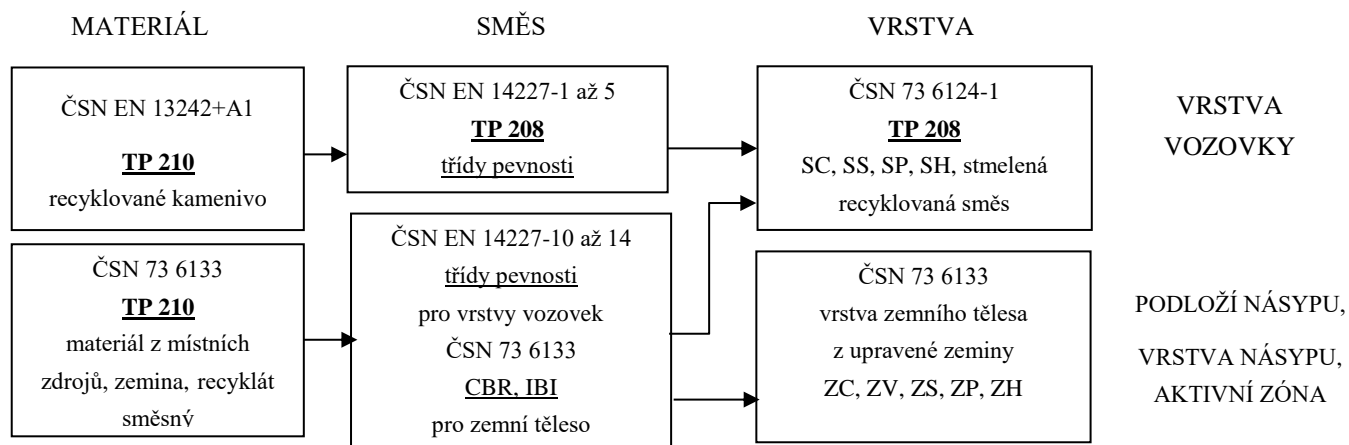
Soustava evropských norem obsahuje požadavky na recyklované kamenivo a materiál, předkládané TP 210 doplňují ČSN EN 13 242+A1, 13 043, 12 620 a ČSN 73 6133 v požadavcích na specifikaci kameniva a popisují technologie výroby a užití tohoto materiálu do konstrukčních vrstev a podloží PK (viz. schema v kap. 2.1).

2.1 Předpisy pro recyklační technologie ve struktuře silničních norem

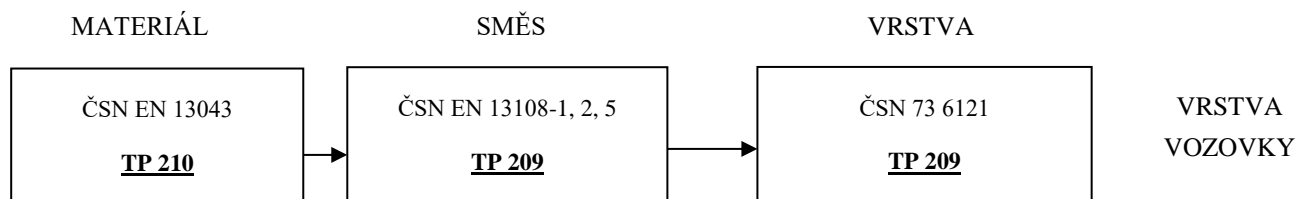
2.1.1 Nestmelené směsi



2.1.2 Stmelené směsi za studena



2.1.3 Stmelené směsi za horka (asfaltové směsi)



3 TERMÍNY A DEFINICE

Pro účely těchto TP platí termíny uvedené v ČSN 73 6100 – 1, 2, 3 a v dalších citovaných normách a technických předpisech a následující termíny:

3.1 Stavební a demoliční odpad (SDO)

je ve smyslu vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu ve znění vyhlášky č. 61/2010 Sb., § 2, písmeno a) inertní odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám.

3.2 Recyklovaný stavební materiál – recyklát (RSM)

je materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě SDO, kategorie ostatní odpad a odpadů podobných SDO, spočívající ve změně zrnitosti a jeho roztřídění na velikostní frakce v zařízeních k tomu určených.

Recyklovaný stavební materiál se člení na :

recyklát z betonu – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu a betonových výrobků, obsah složky $R_c \geq 90\%$ hm.¹, obsah $(R_u + R_b) \leq 6\%$, maximální obsah složky $R_g \leq 1\%$ hm. Maximální obsah jiných, ostatních a plovoucích částic $(X+Y+FL)$ je 3% hm. FL se stanovuje objemově podle ČSN EN 933-11. Pozn. Maximální množství plovoucích částic (FL) je 1%.

recyklát z vozovek – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin s celkovým obsahem složek $R_c + R_a + R_u \geq 95\%$ hm. Maximální obsah složky R_a je 30% hm. Maximální obsah jiných, ostatních a plovoucích částic $(X+Y+FL)$ je 5% hm.

recyklát ze zdiva – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (např. cihly, obkladačky, vápenopískové prvky, pórobetonové tvárnice) a betonu s celkovým obsahem složek $R_b + R_c + R_u \geq 90\%$ hm. Složka jiných, ostatních a plovoucích částic $(X+Y+FL)$ je maximálně 10% hm.

recyklát směsný – je recyklát, získaný drcením a tříděním SDO, který se nepovažuje za kamenivo ve smyslu ČSN EN 12620+A1, ČSN EN 13043 nebo ČSN EN 13242+A1. Podíl hlavních složek není určen a obsah jiných, ostatních a plovoucích částic $(X+Y+FL)$ je $\leq 10\%$ hm. Recyklát směsný je určen převážně jako náhrada zemin pro stavbu násypů a úpravy podloží pozemních komunikací podle ČSN 73 6133, zásypy rýh, terénní úpravy apod.

R-materiál – je asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Jedná se o více jak 95% asfaltových materiálů (R_a), s max. obsahem 5% hm. ostatních recyklovaných materiálů ($R_c+R_b+R_u+X+Y+FL$).

recyklát asfaltový – je recyklát z vozovek, kde je podíl $30\% < R_a \leq 95\%$ hm.

¹ Definice uvedených zkratk obsahu složek recyklovaných stavebních materiálů jsou uvedeny v příloze B TP 210.

jiné částice (X) – v souladu s ČSN EN 933-11 se jedná o přilnavé částice (tj. jemnozrné jílovité zeminy a nečistoty), různorodé částice jako kovy (železné a neželezné), neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka apod.; **ostatní částice (Y)** – jedná se o částice nestavebního charakteru např. papír, polyetylenové obaly, textil, organické materiály (např. humus, rašelina), apod. Z hlediska stanovování obsahu ostatních částic (Y) se tyto přiřazují při zkoušce podle ČSN EN 933-11 ke složce jiných částic (X).

plovoucí částice (FL) – stanoví se v souladu s ČSN EN 933-11. Jedná se o částice, které plovou ve vodě (např. plovoucí dřevo, polystyrén, apod.).

4 UŽITÍ RECYKLÁTŮ V PK

4.1 Všeobecně

Podle procentuálního zastoupení hlavní složky recyklátu lze orientačně rozdělit užití podle tabulky 1.

Tabulka 1 – Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu

| Typ RSM ³⁾ | Konstrukční vrstvy pozemní komunikace | | | | | | | | | Podloží, zemní těleso ⁴⁾ |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | AB | CB | Nestmelené podkladní vrstvy (NV) | | | | Stmelené podkladní vrstvy (SV) | Prolévané podkladní vrstvy (PV) a VŠ | | |
| | | | MZK | ŠDA | ŠDB | MZ | | Kostrá ₁₎ | Výplň ₂₎ | |
| Recyklát z betonu | + | 0/- | + | + | + | +/0 | + | +/0 | +/0 | +/0 |
| Recyklát ze zdiva | - | - | - | 0/- | + | +/0 | + | 0/- | +/0 | + |
| Recyklát směsný | - | - | - | - | - | + | + | - | + | + |
| Recyklát z vozovek | + | +/0 ⁵⁾ | + | + | + | +/0 | + | +/0 | +/0 | +/0 |
| Recyklát asfaltový | + | - | +/0 | + | + | 0/- | + | 0/- | 0/- | 0/- |

Vysvětlivky:

+ ...doporučuje se používat

- ...nedoporučuje se používat

0 ...podmínečně použitelný (omezené např. z technologických, ekonomických nebo ekologických důvodů apod.)

AB ... asfaltové vrstvy vozovek PK

CB ... cementobetonové kryty vozovek PK, po splnění požadavků ČSN EN 13877-1 možné použití do spodní vrstvy dvouvrstvového CB krytu.

¹⁾ Kostra ... u prolévaných vrstev např. kamenivo frakce 32/63, případně u vibrovaného šterku VŠ (podle ČSN 73 6126-2)

²⁾ Výplň ... u prolévaných vrstev jako součást výplňové malty nebo vibrovaného šterku (VŠ) např. kamenivo frakce 8/11

³⁾ Zkratky jsou vysvětleny v odst.3.2 Nové termíny a příloze B

⁴⁾ Zrnitý materiál do podloží vozovek, vrstevnatých násypů (ztužující vrstva), případně nezpevněných krajnic vozovky PK

⁵⁾ Pro recyklované kamenivo do CB krytů lze použít, po splnění požadavků ČSN EN 13877-1, pouze separovaný materiál drcený ze starého CB krytu.

4.2 Nestmelené vrstvy

Užití recyklátů (RSM) bez použití pojiva v konstrukci vozovky je stejné jako u nestmelených vrstev podle ČSN 73 6126-1, ČSN 73 6126-2 a je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2 - Užití RSM do nestmelených vrstev

| Vrstva | | Doporučená třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114, Z1 | |
|--|---------------------|--|-----------------|
| | | Podkladní vrstva | Ochranná vrstva |
| MZK z recyklovaného kameniva ¹⁾ ²⁾ | MZK - R | bez omezení | - |
| ŠD z recyklovaného kameniva ¹⁾ | ŠD _A - R | III, IV, V, VI | bez omezení |
| | ŠD _B - R | V, VI | V, VI |
| VŠ z recyklovaného kameniva | VŠ - R | V, VI | V, VI |
| MZ z recyklátu | MZ - R | V, VI | V, VI |

¹⁾ označení MZK, ŠD_A, ŠD_B, MZ a VŠ je vhodné doplnit popisem použitého materiálu („recyklované kamenivo“ nebo označením písmenem R)

²⁾ Pro komunikace TDZ VI, parkovací, odstavné plochy, dočasné komunikace a nemotoristické komunikace je možno použít zejména recyklát z betonu nebo recyklát z vozovek jako kryt vozovky. Povrch vrstvy se doporučuje opatřit nátěrem nebo kalovou vrstvou.

4.3 Stmelené vrstvy

Užití recyklátů s použitím pojiva ve vozovce je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3 - Užití RSM do asfaltových vrstev, vrstev stmelených hydraulickým pojivem a prolévaných vrstev

| Směs recyklovaného kameniva vyrobená v míchacím centru nebo obalovně | Doporučená třída dopravního zatížení | | |
|--|--------------------------------------|----------------------------|------------------|
| | Obrusná vrstva | Ložní vrstva ¹⁾ | Podkladní vrstva |
| s použitím asfaltu jako asfaltové vrstvy | IV, V, VI | II, III, IV | II, III, IV |
| s použitím cementu nebo jiného hydraulického pojiva jako stmelená vrstva ²⁾ ³⁾ | - | - | bez omezení |
| s použitím asfaltové emulze, zpeňeného asfaltu v kombinaci s jiným např. hydraulickým pojivem nebo jako výplňová směs pro prolévané vrstvy ²⁾ | - | IV, V, VI | bez omezení |
| s použitím asfaltové emulze nebo zpeňeného asfaltu ²⁾ | - | IV, V, VI | bez omezení |

¹⁾ Nerozlišuje se v případě jednovrstvého krytu.

²⁾ Pro komunikace TDZ VI, parkovací, odstavné plochy, dočasné komunikace a nemotoristické komunikace je možno použít zejména recyklát z betonu nebo recyklát z vozovek, recyklát asfaltový jako kryt vozovky. Povrch vrstvy se doporučuje opatřit nátěrem nebo kalovou vrstvou.

³⁾ V případě návrhu stmelených směsí s použitím hydraulického pojiva do podkladních vrstev je možné po splnění požadavků TP použít recyklát směsný.

4.4 Zemní těleso a podloží vozovky PK

Užití recyklátů do zemního tělesa a podloží vozovky PK musí splňovat požadavky ČSN 73 6133:2010, kap. 4. Recyklát směsný je vhodné použít do zemního tělesa a především do aktivní zóny pozemní komunikace jako náhrada nevhodné zeminy nebo pro mechanickou úpravu nevhodné zeminy.

4.5 Tloušťka vrstev z recyklátu

Minimální případně maximální tloušťky ztuhnutých konstrukčních vrstev vozovky jsou uvedeny v příslušných ČSN popisujících provádění a kontrolu nestmelených a stmelených vrstev pozemní komunikace.

5 VSTUPNÍ MATERIÁLY

5.1 Všeobecně

Recyklované kamenivo lze kombinovat s kamenivem přírodním nebo umělým, pro kombinované směsi platí stejné požadavky jako v případě jednosložkových směsí a to včetně požadavků zkoušených vlastností.

POZNÁMKA: Recyklované kamenivo je při dodržení příslušných norem plnohodnotná náhrada přírodního kameniva a jeho použití není důvodem změny standardních postupů při návrhu a provádění stavebního díla.

5.2 Recyklát (RSM)

5.2.1 Všeobecně

Recyklované kamenivo použité do konstrukčních podkladních vrstev, odpovídající příslušnému druhu podle kap. 3.2, musí být deklarováno podle ČSN EN 13242+A1 a musí splňovat požadavky pro dané použití. Recyklované kamenivo přidávané do asfaltových směsí deklarované podle ČSN EN 13043 musí splňovat požadavky podle ČSN EN 13108-1 až 7. V případě využití recyklovaného kameniva do cementobetonových krytů, např. do spodní vrstvy při dvouvrstevovém cementobetonovém krytu, musí splňovat požadavky ČSN EN 13877-1.

Pokud recyklát z vozovek nebo recyklát asfaltový obsahuje dehet, jeho použití je podmíněno konkrétními podmínkami specifikovanými v TP 150.

5.2.2 Recyklované kamenivo pro nestmelené směsi a vibrovaný štěrk do podkladních vrstev vozovek

Vlastnosti recyklovaného kameniva pro nestmelené směsi musí být deklarovány podle ČSN EN 13242+A1, pro vibrovaný štěrk podle ČSN 73 6126-2.

Konkrétní požadavky na recyklované kamenivo a směsi jsou uvedeny v národní příloze ČSN EN 13285 a jsou obsaženy v tabulce 4.

Pro ŠD je možno příslušné vlastnosti a jejich změny u komunikací s dopravním zatížením třídy IV, V a VI posuzovat vizuálně pomocí tzv. polních zkoušek podle TP 208.

Tabulka 4 – Požadavky na recyklované kamenivo pro nestmelené směsi a vibrovaný štěrk

| Článek normy ČSN EN 13285 | Vlastnost | Požadavky | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | | MZK | ŠDA | ŠDB | VŠ ³⁾ (kostra) | VŠ ⁴⁾ (výplň) |
| 4.3.1 | Označení směsi | 0/32; 0/45 | 0/32; 0/45; 0/63 | 0/32; 0/45; 0/63 | 32/63 | max.D 16 |
| NA.4.5 tab. NA.1 | Všeobecné požadavky na zrnitost ¹⁾ HK DK směs | G_C 85/15 G_F 85 G_A 85 | G_C 80/20 G_F 80 G_A 80 | G_C 85/15 - - | G_C 80/20 G_F 80 G_A 80 | |
| NA.4.5 tab. NA.1 | HK – na střed. síť ¹⁾ D/d < 4 D/d ≥ 4 | GT_C 25/15 GT_C 20/17,5 | GT_C 25/15 GT_C 20/17,5 | — | GT_C 25/15 nebo GT_C 20/15 | - |
| NA.4.5 tab. NA.1 | Typická zrnitost ¹⁾ DK směs | GT_F 10 GT_A 10 | GT_F 20 GT_A 20 | — | - | |
| NA.4.5 tab. NA.1 | Max. obsah jemných částic ¹⁾ HK DK směs | f_4 f_{16} f_9 | f_4 f_{22} f_{12} | f_2 - - | f_2 f_7 f_7 | |
| NA.4.5 tab. NA.1 | Kvalita jemných částic ²⁾ | $I_p \leq 4$, $w_L \leq 25\%$, SE_{30} | | | - | |
| kap. 4.4 tab.7, ČSN EN 13242A1 | Procentní podíl drcených zrn v hrubém kamenivu | $C_{90/3}$ | | | | |
| kap. 5.2 tab. 9, ČSN EN 13242 | Odolnost proti drcení Los Angeles max. (LA) | LA_{40} | LA_{50} | LA_{40} | LA_{50} | |
| kap. 7.3.3 tab. 20, ČSN EN 13242 | Odolnost proti zmrazování a rozmrazování (F) ⁵⁾ | F_4 | | | | |
| kap. 7.3.3 tab. 21, ČSN EN 13242 | Trvanlivost síranem hořečnatým (MS) ⁵⁾ | MS_{18} | | | | |

¹⁾ Platí pro frakce recyklovaného kameniva podle ČSN EN 13242+A1

²⁾ I_p index plasticity a w_L mez tekutosti podle ČSN CEN ISO/TS 17892-12. Pokud vzhledem k charakteru materiálu zkoušky nelze provést, pak platí $I_p = 0$.

³⁾ požadavky pro VŠ (kamenná kostra) jsou uvedeny v ČSN 73 6126-2

⁴⁾ požadavky pro VŠ (výplňové kamenivo) jsou uvedeny v ČSN 73 6126-2

⁵⁾ k posouzení odolnosti kameniva proti zmrazování a rozmrazování se může použít zkouška zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367-1 nebo zkouška síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2. Pokud trvanlivost kameniva síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2 splňuje uvedené požadavky, lze kamenivo považovat za mrazuvzdorné a není nutné stanovovat odolnost proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367-1.

5.2.3 Recyklát pro stmelené směsi a směsi pro prolévané vrstvy

Vlastnosti recyklátu pro stmelené směsi musí být deklarovány podle ČSN EN 13242+A1, pro podloží vozovky podle ČSN 73 6133. Konkrétní požadavky na recyklát a směsi jsou uvedeny v tabulce 5 jako doporučené pro usnadnění splnění závazných požadavků na recyklované směsi.

Tabulka 5 – Doporučené požadavky na RSM pro stmelené směsi a prolévané vrstvy

| Vlastnost | Požadavky na RSM pro směsi z míchacího centra s použitím pojiva | |
|---|---|---|
| | cement nebo jiné hydraulické pojivo | prolévané vrstvy asfaltem, asfaltovou emulzí nebo cementovou suspenzí |
| Označení směsi | 0/16; 0/22; 0/32; 0/45 | 16/32; 32/63 |
| Max. obsah jemných částic | f_{15} | f_{15} |
| Kvalita jemných částic | $I_P \leq 17$ | $I_P \leq 17$ |
| Nadsítné | 15 % | 15 % |
| Požadavky na zrnitost směsi ¹⁾ | Příloha A, tab. A.1 | Příloha A, tab. A.2 |
| ¹⁾ Platí pro směs recyklátu (RSM) bez přidaného pojiva | | |

Deklarované vlastnosti recyklovaného kameniva pro asfaltové směsi musí odpovídat požadavkům uvedených podle ČSN EN 13108 - 1 až 7. V případě využití recyklovaného kameniva do asfaltové směsi např. pro chodníky nebo jako ložní a podkladní vrstvy jsou požadavky uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 – Doporučené požadavky na recyklované kamenivo pro asfaltové směsi

| Asfaltové směsi pro: | | Obrusné vrstvy ¹⁾ | Ložní, podkl. vrstvy |
|--|---------------|------------------------------|----------------------|
| Typ | | bez označení, CH | + |
| Zrnitost DK ($D \leq 2$) G_F | | G_F85 | |
| Zrnitost SK ($D \leq 5$ (16) ²⁾ a $d = 0$) G_A | | G_A85 | |
| Tolerance zrnitosti DK a SK ($D \leq 8$) G_{TC} | | $G_{TC}10$ | |
| Obsah jemných částic f | | f_{16} | |
| Kvalita jemných částic ³⁾ MB_F | | MB_F10 | |
| Zrnitost HK ($D > 2$) G_C | | $G_C85/15$ | $G_C85/20$ |
| Tolerance zrnitosti G pro D/d | < 4 | $G_{20/15}$ | |
| | ≥ 4 | $G_{20/17,5}$ | |
| Obsah jemných částic f | | f_2 | f_4 |
| Tvarový index SI pro horní mez zrnění | $D < 11,2$ | SI_{50} | |
| | $D \geq 11,2$ | SI_{35} | |
| Odolnost proti drcení LA (zkouší se na frakci 10/14 nebo 8/11) | | LA_{40} | |
| Ohladitelnost PSV | | PSV deklarovaná 48 | - |
| Nasákavost ⁴⁾ WA_{24} | | $WA_{24} 2$ | |
| Trvanlivost síranem hořečnatým ⁵⁾ MS | | MS_{18} | MS_{25} |
| Odolnost proti zmrazování a rozmrazování F | | F_4 | F_4 |

Vysvětlivky k tabulce 6:

HK – hrubé kamenivo, DK – drobné kamenivo, SK – směs kameniva (např. 0/4), HDK – hrubé drcené kamenivo, DDK – drobné drcené kamenivo, SDK – směs drceného kameniva, CH – „asfaltová směs pro chodníky“, + je kvalitativní označení asfaltové směsi podle ČSN EN 13108-1.

¹⁾ Přílnavost pojiva ke kamenivu se stanoví podle ČSN 73 6161 a musí být minimálně vyhovující.

²⁾ U směsi kvalitativní třídy (+) lze použít směs kameniva s $D \leq 16$ mm.

- ³⁾ Při obsahu jemných částic větším než 3 % hmotnosti v DDK a/nebo ve SDK se jejich kvalita ověří metodou podle ČSN EN 13043:2004, kap. 4.1.5.
- ⁴⁾ Pokud nasákavost kameniva podle ČSN EN 1097-6, kapitol 7 a 8 je menší než 2 % pro směsi bez označení, lze kamenivo považovat za mrazuvzdorné a není nutné stanovovat trvanlivost nebo odolnost proti zmrazování a rozmrazování. V opačném případě se provede zkouška trvanlivosti síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2 nebo zkouška odolnosti proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367-1.
- ⁵⁾ Ve většině případů se při stanovení trvanlivosti kameniva používá zkouška síranem hořečnatým (podle ČSN EN 1367-2) nebo síranem sodným. Je to z důvodů jednoduššího zkušební postupu a zkušebního zařízení.
- ⁶⁾ Pokud nasákavost kameniva podle kap.7 a 8 ČSN EN 1097-6:2001 je menší než 1% hmotnosti pro asfaltové směsi s označením „S“ a „+“ nebo 2% pro směsi bez označení, lze kamenivo považovat za mrazuvzdorné a není nutné stanovovat trvanlivost nebo odolnost proti zmrazování a rozmrazování. V opačném případě se provede trvanlivost kameniva zkouškou síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2, případně zkouška odolnosti proti zmrazování a rozmrazování kameniva podle ČSN EN 1367-1.
- ⁷⁾ Pokud trvanlivost kameniva síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2 splňuje uvedené požadavky, lze kamenivo považovat za mrazuvzdorné a není nutné stanovovat odolnost proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367-1.

5.3 Pojivo

5.3.1 Cement, hydraulická silniční pojiva

Cement musí splňovat požadavky ČSN EN 197-1. Hydraulické silniční pojivo musí splňovat požadavky ENV 13282 pro třídy pevnosti HRB 22,5 E nebo HRB 32,5 E.

5.3.2 Asfalt

Používají se :

- silniční asfalty 50/70 a 70/100 podle ČSN EN 12591;
- případně další použité druhy asfaltů nebo směsí odpovídající parametrům uvedeným ve stavebním technickém osvědčení. Např. asfalt ve směsi s pryžovým granulátem.

Volba vhodného druhu a gradace pojiva do obrusné vrstvy závisí na předpokládané třídě dopravního zatížení pozemní komunikace, která se uvažuje pro asfaltové směsi s použitím recyklátu z betonu a recyklátu asfaltového TDZ V a VI.

5.3.3 Asfaltová emulze

Použije se kationaktivní asfaltová emulze typu C60B7 nebo C65B7 podle ČSN EN 13808. Pro použití asfaltové emulze do krytových úprav, např. účelových komunikací, je možno použít C60BP7 nebo C65BP7.

5.3.4 Zpěněný asfalt

Zpěněný asfalt, který za studena obaluje vlhké jemnozrnné materiály, vzniká řízeným procesem dávkování malého množství vody do horkého asfaltu za zvýšeného tlaku speciálním postupem. Zpěněný asfalt musí být vyroben a dávkován současně při procesu míchání v míchacím centru nebo při recyklaci na místě.

Pro výrobu zpěněného asfaltu je možno použít asfalt 50/70, 70/100 a 100/150 podle ČSN EN 12591. Některé přísady do asfaltu nebo přítomnost modifikovaného asfaltu mohou významně omezit schopnost asfaltu vytvářet zpěněný asfalt.

Zpěněný asfalt musí splňovat následující parametry (zkoušky jsou popsány v TP 208, příloha D):

poloviční pokles ($\tau_{1/2}$) v sec = min. 10

poměr napěnění (ER), ml/g=min 10

5.4 Příměsi

Pro zlepšení vlastností lze použít další vhodné příměsi, kterými mohou být například popílky, odprašky, přísady pro regeneraci pojiva apod., splňující požadavky příslušných materiálových norem.

5.5 Voda

Záměsová voda musí splňovat požadavky ČSN EN 1008.

5.6 Směsi z RSM

5.6.1 Nestmelené směsi

Požadavky na nestmelené směsi z RSM jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 – Požadavky na nestmelené směsi z RSM

| Vlastnost | Požadavky, kategorie | | | | |
|---|--|--|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | Směs MZK-R (G _A , G _C) | Směs MZKO-R (G _A , G _C) | ŠD _A -R | ŠD _B -R | MZ-R ¹⁾ |
| Doporučené směsi | 0/32; 0/45 | | 0/32; 0/45; 0/63 | 0/32; 0/45; 0/63; 0/125 | 0/32; 0/45 |
| Maximální obsah jemných částic (≤0,063 mm) | UF ₉ | | | UF ₁₂ | UF ₁₅ |
| Minimální obsah jemných částic (≤0,063 mm) | LF ₂ | | | LF _N | LF _N |
| Nadsítné | OC ₉₀ | | OC ₈₅ | OC ₈₀ | OC ₈₅ |
| Kategorie zrnitosti podle ČSN EN 13285 | G _A ; G _C | G _O | G _E | G _N | G _E |
| Odchylky zrnitosti jednotlivých dávek podle ČSN EN 13285 | Požaduje se splnění požadavků ČSN EN 13285, tabuky 7 a 8 | | bez požadavků | | |
| Namrzavost podle ČSN 73 6133, příp. ČSN 72 1191 | bez požadavků | | | | β _{0,25} ²⁾ |
| CBR po sycení ve vodě po dobu 96 hodin | min. 100% | | bez požadavků | | min. 20% |
| Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost (nejčastěji z Proctorovy zkoušky modifikované) | Deklarovaná hodnota | | | | |
| Vlhkost | Povolené odchylky vlhkosti směsi od deklarované hodnoty : -3 % až +2% | | bez požadavků | | |
| Deklarace vodou rozpustného obsahu síranů | bez požadavků | | | | |

Vysvětlivky k tabulce 7:

- 1) směs MZ-R (mechanicky zpevněná zemina z RSM) musí dále splňovat tyto parametry: ekvivalent písku (SE) podle ČSN EN 933-8 min. 25%, vlhkost na mezi tekutosti a index plasticity podle ČSN CEN ISO/TS 17892-12, w_L max. 25% a index plasticity $I_p \leq 6$.
- 2) Hodnocení namrzavosti MZ-R se provádí podle zrnitostního (Scheibleho) kritéria podle ČSN 73 6133:2010. U sporných případů se doporučuje stanovit hodnotu součinitele namrzavosti β podle ČSN 72 1191, musí být max. 0,25, případně hodnota mrazového zdvihu max. 3 mm.

5.6.2 Stmelené směsi

Požadavky na fyzikálně mechanické vlastnosti jsou stanoveny pro směsi 0/22, 0/32 a 0/45 podle tabulky 8. Požadavky uvedené v tabulce 8 vychází z TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena a ČSN EN 14227 – 1, 2, 3 a 5.

Tabulka 8 – Požadavky na stmelené směsi z RSM

| Vlastnost | Požadavky pro směsi s použitím pojiva | |
|--|---------------------------------------|---------------|
| | cement nebo jiné hydraulické pojivo | |
| | ČSN EN 14227-1, 2, 3 a 5 | |
| Optimální frakce směsi | 0/22; 0/32; 0/45 | |
| Požadavky na zrnitost směsi ¹⁾ | Příloha A, těchto TP | |
| Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost | Deklarovaná hodnota | |
| Vlhkost ¹⁾ | -3 % až +2 % w_{opt} | |
| Min. pevnost v tlaku R_c po 28 dnech ²⁾ | $C_{3/4}$ ³⁾ | |
| Min. odolnost proti mrazu a vodě | 85 % hodnoty pevnosti v tlaku | |
| Min. pevnost v příčném tahu R_{it} ²⁾ | po 7 dnech | 0,3 MPa |
| Odolnost proti mrazu a vodě (7 dní na vzduchu + 7 dní ve vodě) | po 14dnech | 70 % R_{it} |
| ¹⁾ Doporučené požadavky pro směs z RSM před přidáním pojiva. ²⁾ Zkouší se směs stmelená cementem podle ČSN EN 14227-1 včetně možnosti provedení stanovení pevnosti v příčném tahu. Pokud je výsledná pevnost v tlaku navržené směsi větší než 6 MPa, nemusí se provádět zkoušení odolnosti proti mrazu a vodě podle ČSN EN 14227-1 NA. ³⁾ Třídy pevnosti podle ČSN EN 14227-1, ČSN EN 14227-2, ČSN EN 14227-3 a ČSN EN 14227-5. | | |

5.6.3 Prolévané vrstvy

Požadavky na fyzikálně mechanické vlastnosti výplňové malty, druh zkušebních těles a zkušební metody jsou stanoveny ČSN 73 6127-1, 3 a 4. Pevnost výplňové malty se zkouší po 28 dnech zrání, v případě použití pomalu tuhajícího pojiva je možné zkoušet po 60 dnech.

5.6.4 Asfaltové směsi

Požadavky na fyzikálně mechanické vlastnosti asfaltových směsí jsou stanoveny v ČSN EN 13 108-1 až 7.

Pozn. Recyklované kamenivo má nasákavost (WA_{24}) zpravidla 5 – 6%, proto je nutné při návrhu asfaltové směsi počítat s dávkováním vyššího obsahu asfaltu. Optimální množství se může pohybovat v rozmezí 6,5 až 7,5 % hm. asfaltového pojiva.

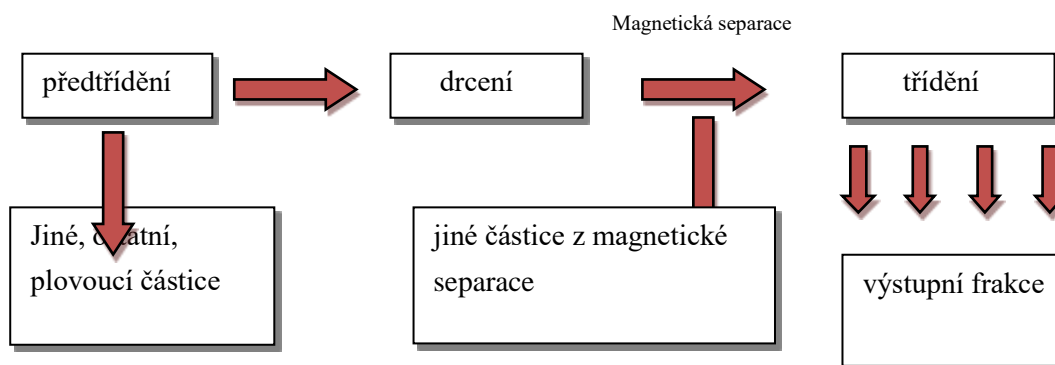
6 VÝROBA RECYKLÁTŮ

Způsob výroby recyklátů má zásadní vliv na kvalitu tohoto materiálu pro použití do pozemních komunikací.

Při běžných demoličních pracích je zcela nezbytné (z hlediska dalšího využití vybouraného materiálu) provádět důsledné třídění.

6.1 Metody úpravy stavebních a demoličních odpadů SDO na recyklát

Kvalita recyklátu je ovlivněna nejenom samotnou technologií, ale i organizací práce a celkovým logistickým systémem chodu recyklačního zařízení, včetně skladového hospodářství, dopravních cest apod. Z hlediska získání kvalitního recyklátu se za poslední roky v domácích podmínkách ustálila všeobecně uznávaná a používaná konfigurace, orientačně naznačená blokovým schématem.



Recyklované stavební materiály (RSM) musí být skladovány odděleně podle druhu a jakosti. Přitom je nutno zabránit znehodnocení materiálu (znečištění, smíchání, vyplavování, apod.). Velmi důležité je, při pravidelném využití recyklátu do pozemních komunikací, důsledné sledování homogenity a stejnorodosti z hlediska úrovně kvality drcených recyklovaných materiálů.

7 STAVEBNÍ PRÁCE

7.1 Podmínky provádění

Stavební práce se nesmí provádět při silném nebo dlouhotrvajícím dešti, recyklát nesmí být zmrzlý.

Nestmelené vrstvy se nesmí provádět při teplotách nižších než 0 °C.

Stmelené vrstvy se nesmí provádět při teplotách nižších než +5°C. Pokud teplota při ošetřování klesne pod 0 °C, musí se zhodnotit stav vrstvy a provést její případné opravy. Pokud teplota při ošetřování překročí +25°C, musí se udržování jejího vlhkého stavu věnovat zvýšená pozornost.

7.2 Nestmelené vrstvy

7.2.1 MZK / VŠ / ŠD z recyklátu

Zpracovává se stejným způsobem jako při provádění nestmelených vrstev ze standardních materiálů (přírodního a/nebo umělého kameniva) podle ČSN EN 13285, ČSN 73 6126-1 a ČSN 73 6126-2.

7.3 Stmelené vrstvy

7.3.1 Recyklovaný stavební materiál (recyklát) v míchacím centru

Výroba směsi z recyklátu v míchacím centru nebo obalovně je založena na předpokladu, že recyklát je dovezen do míchacího centra (obalovny), kde se dávkuje pojivo, přísady, voda a příp. další doplňující materiál (přírodní nebo umělé kamenivo).

Takto vyrobená směs se převeze na stavbu a zpracuje běžnými postupy podle ČSN 73 6124-1, v případě asfaltové vrstvy ČSN 73 6121. Během dopravy nesmí dojít k jejímu znečištění, segregaci a takové změně vlhkosti, při které by směs nebylo možno zhutnit na požadovanou míru zhutnění. V případě využití recyklátu směsného jako upravené zeminy se předpokládá jeho úprava pojivem in situ do vrstvy, nejčastěji pomocí zemní frézy.

7.3.2 Doba zpracování

Zpracování směsi včetně hutnění musí být ukončeno do uplynutí doby zpracovatelnosti směsi podle ČSN 73 6124-1 nebo ČSN 73 6121.

7.3.3 Ošetřování a ochrana povrchu

Požadavky na ošetřování a ochranu povrchu jsou uvedeny v ČSN 73 6124-1, v případě hutněných asfaltových vrstev ČSN 73 6121. Vrstva obsahující cement nebo jiné hydraulické pojivo nemá být ponechána přes zimu bez překrytí další vrstvou. Pokud je přezimování nezbytné, zhodnotí se po zimě stav vrstvy a provedou se její případné opravy (např. odstranění uvolněných částic).

7.4 Zemní těleso a podloží vozovky PK

Zpracovává se stejným způsobem jako při provádění technologických vrstev zemního tělesa a aktivní zóny pozemní komunikace z přírodních materiálů (kameniva) podle ČSN 73 6133:2010.

8 HODNOCENÍ SHODY

8.1 Počáteční zkoušky typu (ITT)

V rámci počátečních zkoušek typu dodávaného RSM, pojiv a příměsí se dokladují ES prohlášení o shodě, prohlášení o shodě nebo případně jiné doklady o ověření vhodnosti vlastností výrobků v souladu s platnými předpisy. V případě použití recyklovaného kameniva do pozemních komunikací ČR podle norem ČSN EN 12620, ČSN EN 13043, ČSN EN 13242+A1 musí být použit systém prokazování shody 2+. Pro recyklát používaný do pozemních komunikací třídy dopravního zatížení TDZ VI, nemotoristických a dočasných komunikacích, odstavných, parkovacích a jiných dopravních ploch lze použít systém prokazování shody 4.

8.2 Průkazní zkoušky směsí z RSM

Průkazními zkouškami směsí z RSM se ověřuje splnění požadavků definovaných v čl. 5.6.1, 5.6.2, 5.6.3 a 5.6.4.

8.3 Kontrolní zkoušky směsí z RSM

8.3.1 Nestmelené směsi z RSM

Kontrolními zkouškami ověřují při výrobě shodu s požadavky na směs podle 5.6.1. Požadované kontrolní zkoušky a jejich četnosti jsou uvedeny v ČSN EN 13285, tabulka D.1.

8.3.2 Stmelené směsi z RSM

Kontrolními zkouškami se ověřují při výrobě shodu s požadavky na směs podle 5.6.2. Požadované kontrolní zkoušky a jejich četnosti jsou uvedeny v ČSN EN 14227-1 až 5. Kompletně jsou pak popsány v TP 208, tabulka 10. Směsi frakce 0/63, které je možné použít při úpravě podloží vozovky, se kontrolují vizuálně. Sleduje se zejména dávkování pojiva, stejnoměrnost vzájemného promísení všech komponent a vlhkost výsledné směsi.

8.4 Kontrolní zkoušky vrstev z RSM

8.4.1 Nestmelené vrstvy

Požadované kontrolní zkoušky hotových vrstev z recyklátu jsou uvedeny v ČSN 73 6126-1, tabulka 3 a pro vibrovaný štěrk v ČSN 73 6126-2, tabulka 3.

8.4.2 Stmelené vrstvy

Požadované kontrolní zkoušky a jejich četnosti pro dokončené stmelené vrstvy z recyklátu jsou uvedeny v ČSN 73 6124-1, tabulka 4.

8.4.3 Prolévané vrstvy

Požadované kontrolní zkoušky s jejich četnostmi pro dokončené prolévané vrstvy z recyklátu jsou uvedeny v ČSN 73 6127-1, tabulka 4; ČSN 73 6127-3, tabulka 6; ČSN 73 6127-4, tabulka 6.

9 ENVIRONMENTÁLNÍ POŽADAVKY

Obecné požadavky a souhrn zákonných opatření jsou uvedeny v kapitole 1 TKP.

Manipulací s recyklovanými stavebními materiály může docházet k znečišťování ovzduší. Ve vztahu k používání recyklátu je zhotovitel povinen zejména dbát na to, aby:

všechna pracoviště byla udržována v čistotě,

pojízdné zpevněné plochy byly pravidelně čistěny,

pojízdné nezpevněné plochy byly ošetřovány (např. kropením) s cílem omezit prašnost na nejmenší možnou míru,

řádnou organizací prací, užitím odpovídající mechanizace a použitím ochranných prostředků byla omezena prašnost při manipulaci s výše uvedeným materiálem na nejmenší možnou míru,

veřejné komunikace u vjezdů na stavenišťe, případně jejich úseky používané staveništní dopravou byly chráněny před znečištěním a řádně udržovány.

10 BEZPEČNOST PRÁCE A OCHRANA ZDRAVÍ

Požadavky na bezpečnost práce a technických zařízení, jakož i na požární ochranu, obecně stanoví kapitola 1 TKP.

Podle charakteru stavby (objektu) je třeba na každé stavbě zajistit ochranu zdraví a bezpečnost pracovníků a provést příslušná školení bezpečnosti práce podle profesí na stavbě. Výrobce a přepravce materiálů a směsí je povinen vydat podmínky pro bezpečnost a hygienu práce a seznámit s nimi prokazatelně všechny pracovníky.

11 CITOVANÉ A SOUVISÍCÍ NORMY A PŘEDPISY

| | |
|------------------------|---|
| TP 112 | Studené pěnoasfaltové vrstvy |
| TP 116 | Použití ovoce, trávy a zeminy ze silničních pozemků |
| TP 150 | Údržba a opravy vozovek pozemních komunikací obsahujících |
| TP 208 | dehtová pojiva |
| TP 209 | Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena |
| ČSN 72 1006 | Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za horka |
| ČSN 72 1191 | Kontrola zhutnění zemin a sypanin |
| | Zkoušení míry namrzavosti zemin |
| ČSN 73 6100-1,2,3 | Názvosloví silničních komunikací |
| ČSN 73 6114, Z1 | Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování |
| ČSN 73 6121 | Stavba vozovek - Hutněné asfaltové vrstvy - Provádění a kontrola shody |
| ČSN 73 6124-1 | Stavba vozovek. Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody |
| ČSN 73 6126-1 | Stavba vozovek. Nestmelené vrstvy – Část 1: Provádění a kontrola shody |
| ČSN 73 6126-2 | |
| ČSN 73 6127-1 | Stavba vozovek. Nestmelené vrstvy – Část 2: Vibrovaný štěrku |
| ČSN 73 6127-2 | Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 1: Vrstva ze štěrku částečně vyplněného cementovou maltou |
| ČSN 73 6127-3 | Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 2: Penetrační makadam |
| ČSN 73 6127-4 | Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 3: Asfaltocementový beton |
| | Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 4: Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí |
| ČSN 73 6133 | Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací |
| ČSN CEN ISO/TS17892-12 | Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí |

- ČSN EN 197-1 Cement. Složení, jakostní požadavky a kritéria pro stanovení shody. Část 1: Cementy pro obecné použití
- ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti
- ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index
- ČSN EN 933-8 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 8: Posouzení jemných částic – Zkouška ekvivalentu písku
- ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří
- ČSN EN 933-11 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 11: Klasifikace složek hrubého recyklovaného kameniva
- ČSN EN 1008 Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu
- ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení
- ČSN EN 1097-5 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně
- ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti
- ČSN EN 1097-8 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 8: Stanovení hodnoty odladitelnosti
- ČSN EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování
- ČSN EN 1367-2 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým
- ČSN EN 1744-1 Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 1: Chemický rozbor
- ČSN EN 1744-3 Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 3: Příprava výluhů loužením kameniva

| | |
|-------------------|--|
| ČSN EN 12591 | Asfalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční asfalty |
| ČSN EN 12697-5 | Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti |
| ČSN EN 12697-6+A1 | Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa |
| ČSN EN 12697-8 | Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí |
| ČSN EN 12697-12 | Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě |
| ČSN EN 12697-23 | Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu |
| ČSN EN 12697-26 | Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost |
| ČSN EN 12848 | Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení mísící stability asfaltových emulzí s cementem |
| ČSN EN 13108-8 | Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8:R-materiál |
| ČSN EN 13242+A1 | Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace |
| ČSN EN 13043 | Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch |
| ČSN EN 13285 | Nestmelené směsi – Specifikace |
| ČSN EN 13286-2 | Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška |
| ČSN EN 13286-41 | Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy |
| ČSN EN 13286-42 | Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy |

- ČSN EN 13286-43 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 43: Zkušební metoda pro stanovení modulu pružnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13286-45 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 45: Zkušební metoda pro stanovení doby zpracovatelnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13286-50 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 50: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení nebo vibračního stolu
- ČSN EN 14227-1 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi stmelené cementem
- ČSN EN 14227-3 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 3: Směsi stmelené popílkem
- ČSN EN 14227-5 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 5: Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivy
- ČSN EN 14227-10 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 10: Zeminy upravené cementem
- ČSN EN 14227-11 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 11: Zeminy upravené vápnem
- ČSN EN 14227-12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 12: Zeminy upravené struskou
- ČSN EN 14227-13 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy
- ČSN EN 14227-14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 14: Zeminy upravené popílkem

PŘÍLOHA A; TP 210 – Doporučené požadavky na zrnitost stmelených směsí z recyklátu

Tabulka A.1 – Doporučené požadavky na zrnitost směsí frakce 0/22

| Velikost síta (mm) | Propad zrn v % hmotnosti |
|-----------------------|--------------------------|
| 31,5 | 100 |
| 22,4 | 85 – 100 |
| 10 | 55 - 87 |
| 4 | 18 - 70 |
| 2 | 23 - 54 |
| 0,5 | 11 – 31 |
| 0,25 | 8 - 23 |
| 0,063 | 4 - 11 |

Tabulka A.2 – Doporučené požadavky na zrnitost směsí frakce 0/31,5

| Velikost síta (mm) | Propad zrn v % hmotnosti |
|--|--------------------------|
| 45 | 100 |
| 31,5 | 85 – 100 |
| 22,4 | 65 – 94 |
| 10 | 44 – 78 |
| 4 | 26 - 61 |
| 2 | 18 – 50 |
| 0,5 | 8 - 30 |
| 0,25 | 6 - 22 |
| 0,063 | 3 – 11 ¹⁾ |
| ¹⁾ 5 – 15 Při použití zpěněného asfaltu jako pojiva | |

Tabulka A.3 – Doporučené požadavky na zrnitost směsí frakce 0/63

| Velikost síta (mm) | Propad zrn v % hmotnosti |
|--|---------------------------------|
| 63 | 90 – 100 |
| 45 | 85 – 100 |
| 31,5 | 69 – 95 |
| 22,4 | 59 – 88 |
| 10 | 44 – 78 |
| 4 | 26 - 61 |
| 2 | 18 – 50 |
| 0,5 | 8 - 30 |
| 0,25 | 6 - 22 |
| 0,063 | 3 – 11 ¹⁾ |
| ¹⁾ 5 – 15 Při použití zpěněného asfaltu jako pojiva | |

PŘÍLOHA B; TP 210

Vysvětlivky ke zkratkám:

| Ozn. | Vysvětlení, význam |
|----------------------|--|
| Rc | beton, betonové výrobky, malta, betonové zdící prvky |
| Rb | pálené zdící prvky např. cihly a tvárnice, vápenopískovcové zdící prvky, neplovoucí pórobeton |
| Ru | nestmelené kamenivo, přírodní kámen, kamenivo ze směsi stmelené hydraulickým pojivem |
| Rg | sklo |
| Ra | asfaltové materiály |
| SDO | stavebně demoliční odpad je inertní odpad , který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám. |
| RSM | recyklovaný stavební materiál je materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě SDO, spočívající ve změně zrnitosti a jeho roztřídění na velikostní frakce v zařízeních k tomu určených (recyklát z betonu, recyklát ze zdiva, recyklát z vozovek, recyklát směsný, recyklát asfaltový) |
| X | jiné částice (% hm.) jako jíla a další přilnavé nečistoty, kovy (železné a neželezné), neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka |
| Y | ostatní částice (% hm.) jako papír, polyetylenové obaly, textil, organické materiály, apod. Z hlediska stanovování obsahu ostatních částic (Y) se tyto přiřazují při zkoušce podle ČSN EN 933-11 ke složce jiných částic (X). |
| FL | plovoucí částice (cm ³ /kg) podle ČSN EN 933-11 – plovoucí dřevo, polystyrén, apod. |
| MZK | mechanicky zpevněné kamenivo podle ČSN EN 13285 |
| ŠDA | šterkodrt' podle ČSN EN 13285, kvalitativní kategorie A |
| ŠDB | šterkodrt' podle ČSN EN 13285, kvalitativní kategorie B |
| MZ | mechanicky zpevněná zemina podle ČSN EN 13285 NA |
| VŠ | vibrovaný šterk podle ČSN 73 6126-2 |
| SV | stmelená vrstva |
| NV | nestmelená vrstva |
| PV | prolévaná vrstva |
| AB | asfaltové (asfaltobetonové) vrstvy |
| CB | cementobetonový kryt |
| TDZ | třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114 nebo TP170 |
| d/D | označení velikosti zrna dolní a horní meze (frakce) kameniva nebo směsi |
| HK | hrubé kamenivo (HDK – hrubé drcené kamenivo nebo HTK – hrubé těžené kamenivo) |
| DK | drobné kamenivo (DDK – drobné drcené kamenivo nebo DTK – drobné těžené kamenivo) |
| G | zrnitost, často v souvislosti maximálně požadovaným propadem, např. G _A 85/15, kde A je kategorie zrnitosti a max. 15% nadsítné a 15% podsítné. |
| f | obsah jemných částic menších než 0,063 mm |
| I_p | index nebo někdy číslo plasticity (I _p =w _L -w _P) podle ČSN EN ISO/TS 17892/12 |

| | |
|------------------------|--|
| WL | vlhkost zeminy (materiálu) na mezi tekutosti podle ČSN EN ISO/TS 17892/12 |
| SE | ekvivalent písku hodnotící kvalitu jemných částic zrněných materiálů podle ČSN EN 933-8 |
| SI | tvarový index hodnotící vhodný kubický tvar zrn podle ČSN EN 933-4 |
| LA | odolnost proti drcení kameniva metodou Los Angeles hodnotí drtitelnost materiálů, zejména při hutnění technologických vrstev násypu a konstrukce vozovky podle ČSN EN 1097-2 |
| F | odolnost proti zmrazování a rozmrazování kameniva v 10 zmrazovacích cyklech podle ČSN EN 1367-1 |
| MS | odolnost na síran hořečnatý v 5 cyklech podle ČSN EN 1367-2 |
| ACO | asfaltový beton do obrusné vrstvy |
| ACL | asfaltový beton do ložné vrstvy |
| ACP | asfaltový beton do podkladní vrstvy |
| 8 CH | asfaltová směs pro chodníky a účelové komunikace s maximálním zrnem 8 mm |
| 11 CH | asfaltová směs pro chodníky a účelové komunikace s maximálním zrnem 11 mm |
| PSV | hodnota ohladitelnosti asfaltové vrstvy (polish stone value) podle ČSN EN 1097-8 |
| WA | hodnota nasákavosti kameniva po 24 hodinách podle ČSN EN 1097-6 |
| C_{3/4} | návrhová kategorie minimální pevnosti v prostém tlaku zhutněné stmelené směsi |
| R_c | pevnost v prostém tlaku |
| R_{it} | pevnost v nepřímém tahu (někdy pevnost v příčném tahu) |
| ITT | initial type testing ... počáteční zkoušky typu |

Vypracování technických podmínek TP 210:

| | |
|-------------------|--|
| Název: | Užití recyklovaných stavebně demoličních materiálů do pozemních komunikací |
| Vydalo: | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací Veveří 331/95, 602 00 Brno |
| Zpracovatel: | Vysoké učení technické, fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací Veveří 95, 662 37 Brno Ing. Dušan Stehlík, Ph.D. Ing. Petr Hýzl, Ph.D. doc. Dr. Ing. Michal Varaus Ing. Jan Valentin, Ph.D. Ing. Petr Mondschein, Ph.D. Realizační výstup výzkumného projektu MD ČR CG712-043-910 „Systémy hospodaření s druhotnými materiály do pozemních komunikací v ČR“. |
| Spolupracovali | Ing. Jan Zajíček APT Servis |
| Náklad: | 150 ks |
| Počet stran: | 23 |
| Formát: | A4 |
| Tisk a distribuce | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, Veveří 331/95, 602 00 Brno |

Příloha 2

TP 138

Ministerstvo dopravy
Odbor silniční infrastruktury

UŽITÍ STRUSKOVÉHO KAMENIVA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

TECHNICKÉ PODMÍNKY

Schváleno MD- OSI čj. 218/11-910-IPK/1 ze dne 14.3.2011
s účinností od 1.dubna 2011
se současným zrušením znění schváleného MDS – OPK, č.j. 25 458/00-120
ze dne 7.listopadu 2000

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
2011

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| 1 PŘEDMĚT A PLATNOST TECHNICKÝCH PODMÍNEK | 2 |
| 2 TERMÍNY A DEFINICE | 2 |
| 2.1 Základní termíny | 2 |
| 2.2 Nové termíny | 2 |
| 3 VLASTNOSTI VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ HUTNÍ VÝROBY ŽELEZA A NEŽELEZNÝCH KOVŮ 3 | |
| 3.1 Výroba | 3 |
| 3.2 Vlastnosti | 3 |
| 4 UŽITÍ STRUSKOVÉHO KAMENIVA | 5 |
| 4.1 Všeobecně | 5 |
| 5 TECHNICKÉ POŽADAVKY | 6 |
| 5.1 Kamenivo | 6 |
| 5.2 Zemní těleso | 7 |
| 5.3 Nestmelené podkladní vrstvy | 8 |
| 5.4 Vrstvy stmelené hydraulickým pojivem | 8 |
| 5.5 Prolévané vrstvy | 9 |
| 5.6 Hutněné asfaltové vrstvy | 9 |
| 5.7 Nátěry vozovek | 10 |
| 5.8 Kalové vrstvy (EKZ – emulzní kalový zákryt, EMK – emulzní mikrokoberec) | 10 |
| 6 STAVEBNÍ PRÁCE | 10 |
| 6.1 Úprava podkladu | 10 |
| 6.2 Podmínky provádění | 11 |
| 6.3 Výroba | 11 |
| 6.4 Doprava a rozprostírání směsí se struskovým kamenivem | 11 |
| 6.5 Zhutňování | 12 |
| 6.6 Ošetřování a ochrana povrchu | 12 |
| 7 ZKOUŠENÍ A KONTROLA | 12 |
| 7.1 Druhy zkoušek | 12 |
| 7.2 Zemní práce | 13 |
| 7.3 Nestmelená podkladní vrstva ze struskového kameniva | 13 |
| 7.4 Stmelené podkladní vrstvy ze struskového kameniva | 13 |
| 7.5 Prolévaná podkladní vrstva ze struskového kameniva | 13 |
| 7.6 Asfaltové vrstvy ze struskového kameniva | 14 |
| 7.7 Nátěry | 14 |
| 7.8 Kalové vrstvy | 14 |
| 8 ENVIRONMENTÁLNÍ POŽADAVKY A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI | 14 |
| PŘÍLOHA A | 16 |
| PŘÍLOHA B | 17 |
| PŘÍLOHA C | 18 |

1 PŘEDMĚT A PLATNOST TECHNICKÝCH PODMÍNEK

Technické podmínky stanovují zásady pro použití některých vedlejších produktů hutní výroby železných a neželezných kovů při provádění pozemních komunikací (dále jen PK), zejména vozovek, konstrukcí dopravních a jiných ploch, komunikace s vyloučením motorového provozu a krajnic. Stanovují podmínky pro, provádění a kontrolu konstrukčních vrstev a pro bezpečnou práci a ochranu životního prostředí v souvislosti se stavební výrobou a s užíváním objektu.

Vedlejší produkty hutní výroby železných a neželezných kovů, především vysokopecní a ocelářské strusky, lze použít především pro stavbu zemního tělesa, úpravu zeminy v podloží vozovky, pro zhotovení nestmelených vrstev, prolévaných a stmelených podkladních vrstev, ve speciálních případech do hutněných asfaltových vrstev, do nátěrů a emulzních kalových vrstev. Poznámka: Soustava evropských norem obsahuje normy na návrh a posouzení směsí s vysokopecní případně ocelářskou struskou. Tyto TP doplňují použití vedlejších produktů hutní výroby železa a neželezných kovů v konstrukčních vrstvách pozemních komunikací z hlediska provádění a kontroly provádění.

2 TERMÍNY A DEFINICE

2.1 Základní termíny

Základní a všeobecné pojmy z oblasti pozemních komunikací jsou uvedeny v ČSN 73 6100- 1, 2, 3 a v dalších citovaných normách, technických podmínkách nebo jiných předpisech.

2.2 Nové termíny

2.2.1 Struskové kamenivo je kamenivo vyrobené drcením a tříděním krystalické strusky případně jiných vedlejších produktů hutní výroby.

2.2.2 Krystalická struska je vedlejším produktem termických a spalovacích procesů a vzniká pozvolným tuhnutím na vzduchu odpadové taveniny při výrobě surového železa - vysokopecní struska – nebo oceli – ocelářská struska, případně jiných neželezných kovů.

2.2.3 Vysokopecní struska je struska vzniklá pomalým ochlazením tekuté odpadové taveniny při výrobě železa na vzduchu.

2.2.4 Ocelářská struska BOF (Basic oxygen furnace). Konvertorové strusky (LD-strusky) se v silničním stavitelství používají zejména do krytových a podkladních stmelených vrstev vozovek PK. Tyto strusky vykazují vysokou odolnost proti drcení, odolnost proti zmrazování a rozmrazování a odolnost proti otěru. Jejich chemické složení se mění v závislosti na principu metalurgického pochodu. Jiné jsou strusky pro odkysličení, pro odsíření, odfosfoření atd.

2.2.5 Ocelářská struska EAF (elektrická arcová pec – ocelářská struska z elektrických pecí) je struska vzniklá při přetavování oceli. Převážně má jen funkci ochraňovat tekutý kov před oxidací. Během tavení vzniká malé množství strusky opalem vyzdívky a z nečistot ulpělých na vsázkovém materiálu.

2.2.6 Ostatní vedlejší produkty hutní výroby např. studený odval – jedná se o materiál z hutní výroby, kde se magnetickou separací oddělí 7 – 8 % železného materiálu, obsahují často zbytky šamotových a dinasových vyzdívek.

2.2.7 Granulovaná struska je vysokopecní struska složená převážně ze zrn velikosti do 5 mm s hlubokými otevřenými póry, která vzniká při prudkém chlazení tekuté odpadové taveniny vodou pod tlakem; do pozemních komunikací se používá zřídka.

2.2.8 Modul zásaditosti (M_z , viz 1.1) vyjadřuje poměr zásaditých a kyselých složek ve strusce, což umožňuje posoudit a předpokládat míru hydraulických vlastností struskového kameniva. Je-li $M_z < 1$, jedná se o strusky kyselé, při $M_z \geq 1$ se jedná o strusky zásadité s lepšími hydraulickými vlastnostmi. Stanovení M_z se provádí na frakci 0/4 mm, protože je nejcitlivější k projevům objemových změn vedlejších produktů hutní výroby.

$$M_z = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (1.1)$$

2.2.9 Silikátový rozpad strusky je ve své podstatě modifikační přeměna β - C_2S na γ - C_2S , která je provázána zvětšením objemu konečného produktu cca o 10 % a snížením objemové hmotnosti.

2.2.10 Železnatý rozpad strusky způsobuje FeS obsažený ve strusce. Ve vlhkém prostředí dochází k oxidaci Fe^{2+} na Fe^{3+} za současného vzniku síranu železnatého i železitého. Objem produktů reakce se zvětšuje cca o 40 %.

2.2.11 Manganatý rozpad strusky - mechanismus je obdobný jako u železnatého rozpadu, ale způsobuje ho MnS. I zde dochází ke zvětšení objemu vzniklého produktu – $Mn(OH)_2$, což může mít za následek rozpad strusky.

3 VLASTNOSTI VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ HUTNÍ VÝROBY ŽELEZA A NEŽELEZNÝCH KOVŮ

3.1 Výroba

Vlastnosti kameniva vyrobeného z vysokopecní anebo ocelářské strusky rozhodujícím způsobem stanovuje technologie konkrétního výrobce železa nebo oceli nebo jiných neželezných kovů.

Technologie výroby musí být popsána v technické dokumentaci výrobce kameniva. Vlastnosti ostatních vedlejších produktů hutní výroby jsou dány původním materiálním složením surovin. Složení tzv. studeného odvalu je velmi heterogenní. Jedná se o vedlejší produkt po magnetické separaci, který obsahuje jak zbytky ocelářské strusky, tak další hutní suť jako jsou zbytky vyzdívek s šamotovými cihlami.

3.2 Vlastnosti

Vlastnosti vedlejších produktů hutní výroby železa a jiných neželezných kovů se rozdělují na chemické, fyzikálně mechanické a geometrické.

Chemické vlastnosti

Obsah celkové síry se deklaruje v souladu s ČSN EN 13043 a ČSN EN 13242+A1 jako hodnota stanovená podle ČSN EN 1744-1, kapitola 11.

V čerstvě vyrobené strusce mohou probíhat chemické reakce charakteru rozpadu, při kterém dochází ke zvětšení objemu materiálu v některých případech až o 30 %. Následkem rozpadu strusek jsou lokální nebo souvislé poruchy zemního tělesa nebo vozovky PK.

Ve směsi s vodou některé strusky vykazují aktivitu vlastní hydraulickým pojivům. Tato aktivita je dána především mineralogickým složením strusek, v menší míře se ovlivní vznikem čerstvých zlomů zrn při drcení nebo mletí. V případě využití do podkladních vrstev vozovek se struskové kamenivo ve výrobních třídách na frakce podle ČSN EN 13242 a míchá se na šterkodř podle ČSN EN 13285. Maximální velikost zrna je 90 mm. V případě využití struskového kameniva do směsí s asfaltovou emulzí nebo asfaltem se třídí na frakce podle ČSN EN 13043.

Při pomalém ochlazování přechází zásadité strusky do krystalického stavu a hrozí zde nebezpečí silikátového rozpadu vysokopecní nebo ocelářské strusky, což je ve své podstatě modifikační přeměna $\beta\text{-C}_2\text{S}$ na $\gamma\text{-C}_2\text{S}$, která je provázena zvětšením objemu výsledného vedlejšího produktu cca o 10 % a snížením objemové hmotnosti.

U vysokopecních a ocelářských strusek může dojít dále k železnatému a manganatému rozpadu. Železnatý rozpad způsobuje FeS obsažený ve strusce. Ve vlhkém prostředí dochází k oxidaci Fe^{2+} na Fe^{3+} za současného vzniku síranu železnatého i železitého. Objem vedlejších produktů reakce zvyšuje o cca 40 %. Manganatý rozpad, jehož mechanismus je obdobný jako u železnatého rozpadu, je způsoben především zvětšením objemu MnS na vzniklý Mn(OH)_2 , což mívá za následek rozpad strusky.

Nebezpečí rozpadu granulovaných strusek spočívá v tom, že procesy vedoucí k jejich rozpadu jsou velmi pomalé. Negativním jevem při využívání strusek je jejich rekrystalizace. ČSN 73 6133 uvádí eliminaci rozpadu strusky podmíněným skladováním strusky na otevřené skládce po dobu min. 2 let. Tento postup je obecný a nezaručuje pro všechny případy dlouhodobou stabilitu struskového kameniva. Rozpadavost kameniva zejména z vysokopecní, ocelářské strusky a ostatních hutních vedlejších produktů je nutno stanovit postupy popsány v ČSN EN 1744-1. Chemické složení vedlejších produktů hutní výroby má zásadní vliv na jejich možné objemové změny. V rámci průkazných zkoušek před rozhodnutím o použití kameniva z daného zdroje na stavbách pozemních komunikací se doporučuje provést následující doplňkové zkoušky k upřesnění chemického složení vedlejšího produktu.

Vysokopecní struska – obsah síranů rozpustných ve vodě a v kyselině, celkový obsah síry, pomocí diferenční termické analýzy (DTA);

Zásadité ocelářské strusky – obsah volného vápna (CaO), obsah MgO, pomocí DTA;

Kyselé ocelářské strusky – další zkoušky se nedoporučují;

Ostatní vedlejší produkty hutní výroby – obsah síranů rozpustných ve vodě a v kyselině, celkový obsah síry, obsah volného CaO, obsah volného MgO, pomocí DTA.

Fyzikálně mechanické vlastnosti

Objemová hmotnost zrn je u vysokopecní strusky obvykle 2 000 až 2 800 kg/m³, u ocelářské strusky obvykle 3100 až 3600 kg/m³. Sypná hmotnost v kg/m³:

| | <u>volně sypaná</u> | <u>setřesená</u> |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|
| – vysokopecní struska | 1000 až 1500 | 1100 až 2000 |
| – ocelářská struska | 1600 až 2400 | 2000 až 2700 |
| – vysokopecní granulovaná struska | 900 až 1200 | 1300 až 1600. |

Pozn. Jedná se o orientační hodnoty. Před použitím konkrétního zdroje materiálu je nutno provést průkazní zkoušky s určením objemové a sypné hmotnosti.

Cizorodé částice se mohou vyskytovat na odvalech vedlejších produktů hutní výroby železa a neželezných kovů v podobě částic železa, zlomků šamotových cihel, dřeva apod. Organické látky určované zkouškou na humusovitost se obvykle v těchto materiálech nevyskytují, a proto se nevyžaduje jejich stanovení.

Odolnost proti drcení zrn hrubého struskového kameniva ve smyslu požadavků ČSN EN 13242 je u ocelářské strusky max. do 20 %. U vysokopecní strusky je to do 50 %.

Nasákavost struskového kameniva podle ČSN EN 1097-6 je obvykle v mezích 0,5 až 5 %. Odolnost proti zmrazování a rozmrazování struskového kameniva podle ČSN EN 1367-1 je do 5 %. Odolnost při zkoušce síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2 je do 10 %.

Při hutnění konstrukčních nebo dílčích technologických vrstev ze struskového kameniva dochází k částečnému podrcení zrn válcí. Při dosažení obvykle požadovaného zhutnění podíl zrn o velikosti 0,5 až 8 mm narůstá o 5 až 15 % celkové hmotnosti, podíl zrn menších než 0,5 mm narůstá o 2 až 3 % celkové hmotnosti.

Hodnota ohladitelnosti PSV hrubého kameniva z ocelářské strusky podle ČSN EN 1097-8 je v rozmezí 0,48 až 0,62.

Přilnavost asfaltu ke struskovému kamenivu je obvykle dobrá až výborná.

Geometrické vlastnosti

Ve výrobnách se vedlejší produkty výroby železa a neželezných kovů třídí na frakce hrubého kameniva a na štěrkodrt' podle ČSN EN 13285 nebo na frakce podle požadavku odběratele s velikostí maximálního zrna do 90 mm.

Požadavky na nadsítné a podsítné jsou u kameniva z ocelářské strusky obvykle splněny. U kameniva z vysokopecní strusky s odolností proti drcení zrn (LA) 40 % až 50 % vlivem dopravy a manipulace podíl podsítného vzrůstá.

Podíl sklovitých a zpěněných zrn v krystalické strusce ve většině případů nepřekračuje 8 %. Při stanovení tvaru zrn podle ČSN EN 933-4 je podíl plochých nekubických zrn obvykle do 20 %.

4 UŽITÍ STRUSKOVÉHO KAMENIVA

Vedlejší produkty hutní výroby nachází užití v technologiích stavby, opravy a údržby PK uvedených v tabulce 1. Kamenivo z vysokopecní a ocelářské strusky a další vedlejší produkty hutní výroby musí splňovat fyzikální a mechanické vlastnosti požadované příslušnou ČSN nebo ČSN EN s upřesněními podle těchto TP, kapitola 5.

Kamenivo z vysokopecní strusky nachází užití při stavbě konstrukčních vrstev PK, případně do zemního tělesa PK. Kamenivo z ocelářské strusky a ostatní vedlejší produkty hutní výroby lze použít především do zemního tělesa PK.

Vlastnosti vedlejších produktů hutní výroby, především kameniva z vysokopecní a ocelářské strusky dokladuje výrobce. Pro vyloučení záměny jednotlivých vedlejších produktů (použití produktů odlišných vlastností) se doporučuje dodávka materiálů na místo spotřeby výrobcem.

Vedlejší produkty z hutní výroby lze použít v konstrukčních vrstvách nebo v zemním tělese PK pouze za předpokladu garance jejich dlouhodobé objemové stálosti.

Vedlejší produkty hutní výroby musí splňovat požadavky hmotnostní aktivity ve stavebním materiálu dle přílohy č. 11 vyhlášky SÚJB 307/2002 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany, ve znění pozdějších předpisů.

Tabulka 1 – Užití struskového kameniva

| Užití v PK | Druh vrstvy | Druh směsi | Souvisící norma |
|---|--|--|---------------------------------|
| Obrusná vrstva | Asfaltová hutněná | ACO | ČSN 73 6121 |
| | Nátěr | - | ČSN 73 6129 |
| | Emulzní kalové vrstvy | EKZ, EMK | ČSN 73 6130 |
| Ložní vrstva | Asfaltová hutněná | ACL 11, ACL 16 | ČSN 73 6121 |
| Podkladní vrstva | Asfaltová hutněná | ACP 16, ACP 22 | ČSN 73 6121 |
| | Stmelená hydraulickým pojivem | SC, SS, SH, SP | ČSN 73 6124-1, ČSN 73 6124-2 |
| | Nestmelená | MZK, ŠD _A , ŠD _B , MZ, VŠ | ČSN 73 6126-1, ČSN 73 6126-2 |
| | Prolévaná | ŠCM, PM, ACB, KAPS | ČSN 73 6127-1 až 4 |
| Zemní těleso | Aktivní zóna, upravená zemina, technologická vrstva násypu | ZC, ZV, ZS, ZP, ZH | ČSN 73 6133 |
| Poznámka: vedlejší produkty hutní výroby (např. studený odval) nachází uplatnění jen v zemním tělese. | | | |

5 TECHNICKÉ POŽADAVKY

Technické požadavky jsou dány užitím v jednotlivých technologiích, které mohou požadavky stanovené v těchto TP upřesňovat.

Kamenivo

Krystalická struska pro použití v kterékoliv technologii musí být objemově stálá. Objemová stálost kameniva z vysokopecní strusky se posuzuje podle chemického složení, aby byl vyloučen stav samovolného rozpadu (ve fázovém diagramu soustavy oxid křemičitý-oxid hořečnatý-oxid vápenatý jde o oblast přechodu merwinitu na melilit). Nepřímou průkazní formou této vlastnosti struskového kameniva je snížená odolnost proti drcení hrubého kameniva nad hranici 50 %. Doporučené složení vysokopecní strusky je uvedeno v tabulce 2 TP 138. Při změně technologických podmínek výroby surového železa, výrobce doloží, že používá strusku mimo oblast samovolného rozpadu. Producent vedlejších produktů z hutní výroby odpovídá za doložení zkušební protokolu s výsledky chemického složení.

Poznámka: Pro granulovanou vysokopecní strusku je složení uvedeno v čl. normy ČSN EN 14227-2.

Objemová stálost se po zavedení EN prokazuje v závislosti na původu vedlejšího produktu. U kameniva z vysokopecní strusky se zkouší rozpad křemičitanu vápenatého (silikátový rozpad) deklarovaný v ČSN EN 13242+A1 zkoušený podle ČSN EN 1744-1, kapitola 19.2, se stanovením požadavku nerozpadavosti a dále zkouška rozpadavosti vedlejšího produktu hutní výroby v autoklávu podle přílohy A s maximálním úbytkem hmotnosti do 5 %.

U kameniva z ocelářské strusky se zkouší rozpínavost podle ČSN EN 1744-1, kapitola 19.3 s požadavkem rozpínavosti do 5 %.

V případě použití ocelářské strusky do podkladních vrstev PK je nutné ověřit silikátový a železnatý rozpad.

V případě, že ocelářská struska nebo ostatní vedlejší produkty hutní výroby (např. tzv. studený odval) vykazují hodnotu rozpínavosti v autoklávu vyšší než 5 %, nelze je použít do jakékoliv části zemního tělesa nebo konstrukční vrstvy PK.

Obsah volného vápna ve vedlejších produktech hutní výroby se stanoví podle ČSN EN 1744-1 Zkoušky chemických vlastností kameniva – Část 1: Chemické rozbory. Maximální přípustný obsah je 4,5 % hm.

Zkouška rozpadavosti kameniva z vysokopecní strusky v autoklávu se provádí podle přílohy A. V případě výroby hutněných asfaltových směsí se zkouška rozpadavosti kameniva z vysokopecní strusky může nahradit zkouškou rozpadavosti ztuhlé asfaltové směsi - podle přílohy B.

Pro výrobu struskového kameniva podle kvalitativních požadavků do konstrukčních nestmelených a stmelených podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací platí ČSN EN 13242+A1, pro výrobu do asfaltových vrstev platí ČSN EN 13043. Požadované parametry struskového kameniva jsou popsány dále u jednotlivých technologií.

Nasákavost pro použití v jednotlivých technologiích není omezujícím kritériem. Vyšší nasákavosti se přizpůsobuje dávkování vody ve směsích stmelených hydraulickými pojivy a dávkování asfaltu v asfaltových hutněných směsích, nátěrech, v emulzních kalových a prolévaných vrstvách. Nasákavost struskového kameniva se stanovuje podle ČSN EN 1097-6.

Nevyhovující ukazatele podsítného (viz článek 3.2.1.2 a 3.2.2.5 těchto TP) podle ČSN EN 13242+A1 nejsou při výstavbě nestmelených, stmelených (s výjimkou směsí C_{5/6} a vyšších, kde by vysoký podíl drobného kameniva vedl ke zvýšenému smršťování a trhlinám) a prolévaných vrstev na závadu v případě, že jsou splněny požadavky na hotovou úpravu a bezpečné použití struskového kameniva se stejnými vlastnostmi je ověřeno na předchozích stavbách.

Zemní těleso

Násypy z vedlejších produktů hutní výroby lze provést na podloží násypu dle požadavků ČSN 73 6133.

Vedlejší produkty z hutní výroby lze použít do ztužující vrstvy vrstevnatého násypu podle ČSN 73 6133.

Struskové kamenivo (zejména vysokopecní a ocelářská struska) lze použít do podloží (aktivní zóny) vozovky podle ČSN 73 6133. Parametry zhutnění se stanoví podle zhutňovací zkoušky v souladu s ČSN 72 1006.

V případě použití upravené zeminy v podloží vozovky pozemní komunikace se návrh směsi upravené zeminy struskou provádí podle ČSN EN 14227-12 a dle TP 94.

Nestmelené podkladní vrstvy

Struskové kamenivo lze samostatně nebo v kombinaci s jinými frakcemi přírodního nebo recyklovaného kameniva použít do nestmelených podkladních vrstev. Požadavky na kamenivo v různých typech nestmelených směsí do podkladních vrstev jsou uvedeny v ČSN EN 13285. Požadavky na nestmelené podkladní vrstvy ze struskového kameniva musí být v souladu s ČSN 73 6126-1 (pro vrstvu vibrovaného štěrku pak ČSN 73 6126-2).

Tloušťka jedné pokládané vrstvy souvisí s technologií zpracování (účinnosti hutnicího prostředku apod.). Zpravidla se pohybuje mezi 150 - 300 mm zhutněné vrstvy.

Vibrovaný štěrk se struskovým kamenivem

Kostra vrstvy je tvořena struskovým kamenivem zrnitosti 32/63.

Výplňové kamenivo, které se používá k vyplnění mezer v kamenné kostře, je struskové nebo přírodní či recyklované drcené kamenivo do maximální velikosti zrna 16 mm.

S ohledem na drcení struskového kameniva v kostře vrstvy je nižší spotřeba výplňového kameniva než u kameniva přírodního. Požadavky na vrstvu vibrovaného štěrku jsou uvedeny v ČSN 73 6126-2.

Vrstvy stmelené hydraulickým pojivem

Kamenivo z vysokopecní a ocelářské strusky lze použít samostatně nebo s přidáním jiných frakcí přírodního nebo recyklovaného kameniva a popílku (TP 93) na úpravu čáry zrnitosti. Požadavky na kamenivo v různých typech vrstev stmelených pojivem jsou uvedeny v ČSN EN 13242+A1. Návrh stmelené směsi se provádí podle ČSN EN 14227- 1,2, 3 a 5. Požadavky na vrstvy stmelené struskou jsou uvedeny v ČSN 73 6124-1.

Schopnost strusky vyvolat na povrchu zrn uhličitánovou nebo hydraulickou reakci (způsobující stmelení) a zrnitostní složení strusky, případně přidaného materiálu, určují množství pojiva (cementu, pomalutuhnoucího pojiva, odprašků apod.) a množství vody v procentech hmotnosti suché směsi.

Návrh stmelené směsi s kamenivem z vysokopecní a ocelářské strusky spočívá ve stanovení složení směsi, zhutnitelnosti a prokázání, že navržená směs dosahuje požadovaných pevností a odolností proti mrazu a vodě podle ČSN EN 14227-2.

Pro volbu pojiva a jeho množství je rozhodující dosažení požadovaných pevností v tlaku podle ČSN EN 13286-42, případně pevnosti v příčném tahu podle ČSN EN 13286-43. Posouzení odolnosti proti mrazu a vodě v souladu s ČSN EN 14227-2, NB se provádí pro směsi s pevností v tlaku $R_c \leq 6$ MPa.

Zhutnitelnost jako stanovení maximální objemové hmotnosti a optimálního množství vody při hutnění směsi se stanoví Proctorovou modifikovanou zkouškou podle ČSN EN 13286-2. Množství vody bude obvykle vyšší než u přírodního kameniva.

Zkušební tělesa připravená při optimální vlhkosti a zhutněná na maximální objemovou hmotnost musí po předepsané době zrání (případně po zmrazovacích cyklech, viz odst.5.4.2.2) splňovat požadavky pevnosti v prostém tlaku podle ČSN EN 14227-2.

Prolévané vrstvy

Z hlediska těchto TP se jedná o použití kameniva z vysokopecní a ocelářské strusky jako kamenné kostry do jednotlivých technologií prolévaných vrstev podle ČSN 73 6127-1 až 4. Požadavky na kamenivo v různých typech prolévaných vrstev jsou uvedeny v ČSN 73 6127-1 až 4.

S ohledem na články 3.2.1.2 a 3.2.2.5 mohou být problémy s prolitím vrstvy, a proto každé použití struskového kameniva musí být ověřeno před použitím v dané technologii.

Hutněné asfaltové vrstvy

Požadavky na výrobu kameniva z ocelářské a vysokopecní strusky jsou uvedeny v ČSN EN 13043.

Pro použití struskového kameniva je limitující odolnost proti drcení (drcení zrn při hutnění), stálost objemové hmotnosti a nasákavost. Kolísání objemové hmotnosti vylučuje standardní výrobu, vysoká nasákavost sníží ekonomický přínos použití struskového kameniva v asfaltových směsích.

Směs kameniva se skládá z jednotlivých frakcí struskového kameniva a přírodního kameniva (obvykle drobného kameniva), kamenné moučky a případně kameniva v R-materiálu tak, aby výsledná čára zrnitosti při počátečních zkouškách typu (průkazných zkouškách) ležela uvnitř oboru zrnitosti podle ČSN EN 13108 -1 až 7, případně podle ČSN 73 6121.

Návrh asfaltové směsi a optimálního množství asfaltu se stanoví podle ČSN 73 6160.

Množství asfaltu stanovené výpočtem pro asfaltovou směs podle ČSN 73 6160 se obvykle zvyšuje o 0,5 až 1,0 % hmotnosti v závislosti na nasákavosti struskového kameniva. Toto doporučení upřesňují hodnoty v tabulce 3. Upozorňuje se, že při přepočtu množství asfaltu v procentech hmotnosti je nutno provést přepočet hmotnosti asfaltu s ohledem na možnou rozdílnou hmotnost směsi kameniva s použitím struskového kameniva. Hodnoty množství asfaltu stanovené výpočtem jsou v ČSN 73 6160 (stanovení návrhového množství pojiva) pro objemovou hmotnost směsi kameniva $\rho_v = 2\,650 \text{ kg/m}^3$.

Vlastnosti asfaltové směsi se musí ověřit při třech různých množstvích asfaltu zkouškami podle ČSN 73 6160. Před zhutněním zkušebních těles se asfaltové směsi ponechají v sušárně po dobu 4 hodin při teplotách pro rozprostírání asfaltových směsí (ČSN 73 6121). Uložením asfaltové směsi v sušárně se simuluje adsorpce asfaltu do pórů struskového kameniva před položením a zhutněním vrstvy.

Tabulka 3 – Doporučené zvýšení obsahu asfaltového pojiva v závislosti na nasákavosti struskového kameniva

| | | | | |
|--|--------------------|-----|-----|-----|
| Nasákavost struskového kameniva (maximální hodnoty) | zrnitost max. 8 mm | 1,7 | 3,0 | 4,0 |
| | zrnitost přes 8 mm | 1,5 | 2,5 | 3,5 |
| Zvýšení obsahu asfaltu (v % hmotnosti směsi) | | 0,5 | 0,7 | 1,0 |

Technické požadavky

Fyzikálně-mechanické vlastnosti se prokazují podle ČSN EN 13108-1, ČSN EN 13108-2, ČSN EN 13108-5 a ČSN EN 13108-6.

Nátěry vozovek

Pro nátěry se použije k podrcování hrubé struskové kamenivo, z důvodů dobré mikrotextury je vhodné použít kamenivo z ocelářské strusky splňující požadavky ČSN EN 12271, ČSN EN 13043 a ČSN 73 6129. Na PK třídy dopravního zatížení S až IV se použije zpravidla (TKP 26, příloha 2, sloupec 6 připouští i E) modifikovaná asfaltová emulze nebo asfaltová emulze z modifikovaného asfaltu podle ČSN EN 12271.

Použití struskového kameniva (ocelářské strusky) je podle ČSN 73 6129 vázáno nejen na laboratorní zkoušky, ale také na poloprovozní provedení pokládky v malém rozsahu a posouzení vlastností položené vrstvy po její konsolidaci. ČSN EN 12271 zavádí zkušební úsek pro schválení typu TAIT, identický s počátečním zkoušením typu ITT, který prokazuje, že funkční charakteristiky vrstvy nátěru jsou ve shodě s deklarovanými charakteristikami evropské normy.

Kalové vrstvy (EKZ – emulzní kalový zákryt, EMK – emulzní mikrokoberec)

Pro emulzní kalové vrstvy se použije hrubé kamenivo z ocelářské strusky doplněné přírodním (hutným) drobným drceným kamenivem do požadované čáry zrnitosti směsi kameniva podle ČSN 73 6130. Použití struskového kameniva (ocelářské strusky) je podle ČSN 73 6130 vázáno nejen na laboratorní zkoušky, ale také na poloprovozní provedení pokládky v malém rozsahu a posouzení vlastností položené vrstvy po její konsolidaci. ČSN EN 12273 zavádí zkušební úsek pro schválení typu TAIT, identický s počátečním zkoušením typu ITT, který prokazuje, že funkční charakteristiky kalové vrstvy jsou ve shodě s deklarovanými charakteristikami evropské normy. Množství pojiva a záměsové vody je třeba upravit s ohledem na odlišnou objemovou hmotnost a nasákavost kameniva (podobně jako u hutněných asfaltových směsí).

6 STAVEBNÍ PRÁCE

Úprava podkladu

Před zahájením stavebních prací se provede úprava podkladu podle příslušných ČSN a TKP, které platí pro jednotlivé prováděné vrstvy PK. Suchý podklad se v případě pokládky nestmelených, prolévaných nebo stmelených a kalových vrstev rovnoměrně navlhčí tak, aby nevznikly kaluže a zároveň aby nedocházelo k odebrání vlhkosti stavební směsi. Před pokládkou asfaltových vrstev musí být proveden asfaltový postřik. Prach ze struskového kameniva vyskytující se na povrchu nestmelené vrstvy se odstraní kropením.

Podmínky provádění

Podmínky provádění jsou definovány v jednotlivých technologiích, podle nichž se vrstvy s použitím struskového kameniva provádějí. Při provádění nestmelených vrstev je nutno dbát na dodržování optimální vlhkosti, aby nedošlo k přeschnutí nebo naopak k převlhčení (děšť).

Výroba nestmelené směsi ze struskového kameniva

Mechanicky zpevněné kamenivo se vyrábí z jednotlivých frakcí struskového, přírodního drceného nebo recyklovaného kameniva v cyklických míchacích zařízeních nebo v kontinuálních míchačkách. Použitý způsob míchání musí zabezpečit dostatečnou homogenitu směsi. Při míchání směsi se vhodně upravuje její vlhkost dávkováním vody.

Dávkování vody po provedení míchání, na dopravním prostředku nebo na pokládanou vrstvu není dovoleno. Za dávkování vody se nepovažuje vlhčení povrchu položené a hutněné vrstvy.

Výroba směsi pro stmelené vrstvy ze struskového kameniva.

Návrh výroby stmelené směsi je popsán v ČSN EN 14227-1, 2, 3, 5.

Pro technologii mísení v míchacím centru je důležité vyčistit míchací zařízení po zpracování směsi (míchačku a výsyvky důkladně propláchnout vodou), aby nedošlo k zatvrdnutí zbylého materiálu, který ulpěl na stěnách. Jedná se zejména o směsi, kde se přidává popílek.

Výroba směsi pro asfaltové vrstvy ze struskového kameniva

Směs se vyrábí v obalovně v souladu s ČSN EN 13108-21.

Struskové kamenivo má vyšší abrazivní vlastnosti na povrchy pracovních ploch přicházející s ním do styku (dávkovače, sušící buben, síta a míchačka).

Problémy mohou přinášet nedostatečně separovaná zrna s obsahem železa nebo oceli. Při vyšším podílu zrn s obsahem železa je vyloučena výroba asfaltové směsi, není možno zajistit správné objemové dávkování kameniva a pojiva (dávkuje se hmotnostně a při zvýšení objemové hmotnosti kameniva se zvyšuje objem dávkovaného pojiva a naopak).

Po vyrobení má asfaltová směs vzhled jako směs s vyšším obsahem asfaltu. Postupem doby se předávkovaný asfalt absorbuje do nasákavého struskového kameniva.

Doprava a rozprostírání směsí se struskovým kamenivem

Směsi pro mechanicky zpevněné kamenivo a stmelené vrstvy se před vysycháním nebo převlhčením chrání plachtou.

Doba dopravy směsi pro vrstvu může být až 3 hodiny. Při použití popílku je třeba čistit ložní prostor, směs se nalepuje.

Při dopravě asfaltových směsí ze struskového kameniva nedochází k žádným odlišnostem oproti běžným směsím podle ČSN 73 6121.

Manipulaci se struskovým kamenivem do násypu pozemní komunikace popisuje ČSN 73 6133. Nestmelené, stmelené a prolévané vrstvy vozovky se rozprostírají grejdry nebo finišery, výjimečně dozery nebo nakladači a ručně v souladu s technologií, podle níž se vrstvy vyrábějí. Minimální pracovní teploty asfaltových směsí uvedené v ČSN 73 6121 je nutno dodržet.

Zhutňování

Po rozprostření a urovnání povrchu každé vrstvy zemního tělesa nebo vozovky je nutno začít ihned s jejím zhutňováním. Pokud se pokládá více vrstev, je třeba hutnit každou samostatně.

Zhutňování je možno provádět jakýmkoliv typem válce nebo hutního zařízení za předpokladu, že je schopné vrstvu zhutnit podle předepsaných požadavků. Nejvhodnější je použití vibračních válců.

Zhutňování nestmelených vrstev ze struskového kameniva se provádí postupem popsáním v ČSN 73 6126-1, ČSN 73 6126-2.

Zhutňování stmelených vrstev ze struskového kameniva se provádí postupem popsáním v ČSN 73 6124-1.

Asfaltové vrstvy se hutní takovými válci a jejich sestavami, které zajistí dosažení požadovaného zhutnění v souladu s ČSN 73 6121.

Ošetřování a ochrana povrchu

Ošetřování a ochrana povrchu všech vrstev je popsána v ČSN týkající se dané technologie.

Práce na hydraulicky stmelených vrstvách musí být ukončeny a překryty následující vrstvou vozovky nejméně 2 měsíce před začátkem mrazů, tyto vrstvy mají přezimovat překryté následující vrstvou vozovky.

7 ZKOUŠENÍ A KONTROLA

Požadované vlastnosti stavebních materiálů, stavební směsi a hotové vrstvy se ověřují počátečními zkouškami typu (ITT), zkouškami průkazními a kontrolními.

Za výsledek průkazních zkoušek stavebních materiálů a směsi se považuje ES prohlášení o shodě, případně certifikát nebo prohlášení o shodě včetně protokolů s výsledky zkoušek a posouzením splnění kvalitativních parametrů podle příslušných ČSN, TKP a TP doplněné dokladem o splnění dalších parametrů požadovaných těmito TP a/nebo příslušnou ČSN pokrývající technologii s užitím struskového kameniva.

Pokud jsou vzneseny pochybnosti o objemové stálosti struskového kameniva u konkrétní dodávky, stanoví se kontrolně u kameniva z vysokopecní strusky rozpadavost pařením v autoklávu podle přílohy A. U kameniva z ocelářské strusky a ostatních vedlejších produktů hutní výroby se stanoví rozpínavost podle ČSN EN 1744-1, kapitola 19.3.

Zkoušky objemové stálosti ocelářské strusky a ostatních vedlejších produktů hutní výroby jsou povinné před jejich použitím do tělesa pozemních komunikací a konstrukčních vrstev.

Při nesplnění požadavků je vyloučeno použití struskového kameniva do PK. V případě zabudování nevhodného struskového kameniva se musí ze stavby PK odstranit. V daném případě náklady na odstranění a kontrolní zkoušky hradí výrobce. Další použití struskového kameniva je možné až po prokázání vhodnosti nové dodávky. Za výsledek kontrolních zkoušek hotových konstrukčních vrstev PK se považují protokoly z kontrolních zkoušek a posouzení splnění kvalitativních a kvantitativních parametrů provedených zhotovitelem podle příslušných ČSN, TKP a TP doplněné dokladem o splnění dalších parametrů požadovaných těmito TP a/nebo příslušnou ČSN pokrývající technologii s užitím struskového kameniva.

Projektové výšky vrstev násypu a vrstev vozovky jejich tloušťka, rovnost povrchu a příčný sklon musí splňovat požadavky ČSN a TKP, jež pokrývají technologii užívající struskové kamenivo.

Kontrolní zkoušky musí být provedeny laboratoří se způsobilostí dle MP SJ-PK, oblast II/3 zkušebnictví, odsouhlasenou objednatelem.

Zemní práce

Požadované vlastnosti materiálů se kontrolují podle ČSN 73 6133. Zpřesňující požadavky jsou uvedeny v kapitole 5 těchto TP.

Při použití ocelářské strusky a ostatních vedlejších produktů z hutní výroby (např. studený odval) je nutno provádět kontrolní zkoušky rozpínavosti těchto materiálů v autoklávu v četnosti, min. $1 \times 10000 \text{ m}^3$.

Nestmelená podkladní vrstva ze struskového kameniva

Požadované kontrolní zkoušky a jejich četnosti jsou uvedeny v ČSN EN 13285 a ČSN 73 6126-1 a ČSN 73 6126-2. Zpřesňující požadavky na kamenivo a směsi jsou uvedeny v kapitole 5 těchto TP.

Stmelené podkladní vrstvy ze struskového kameniva

Požadované vlastnosti stavebních materiálů a stavební směsi se ověřují zkouškami podle ČSN EN 14227- 1 až 5. Hotové vrstvy se ověřují zkouškami podle ČSN 73 6124-1.

Požadavky na stavební směsi stmelených vrstev ze struskového kameniva jsou uvedeny v kapitole 5 těchto TP.

Prolévaná podkladní vrstva ze struskového kameniva

Požadované vlastnosti stavebních materiálů, stavební směsi a hotové vrstvy se ověřují zkouškami kontrolními podle ČSN 73 6127-1 až 4.

Požadované vlastnosti struskového kameniva do kamenné kostry jsou uvedeny v kapitole 5 těchto TP.

Asfaltové vrstvy ze struskového kameniva

Požadované vlastnosti stavebních materiálů a stavební směsi se ověřují zkouškami podle ČSN EN 13108-1 až 7. Hotové vrstvy se ověřují zkouškami podle ČSN 73 6121.

Kontrolní zkouška rozpadavosti asfaltové směsi (příloha B) se provádí před zahájením prací a při každé změně materiálu, nejméně však 1 zkouška na 2000 t vyrobené směsi.

Nátěry

Požadované vlastnosti stavebních materiálů (výrobků) jsou uvedeny v ČSN EN 12271, kvalita při provádění prací a hotová úprava se ověřují zkouškami podle ČSN 73 6129.

Kalové vrstvy

Požadované vlastnosti stavebních materiálů, stavební směsi jsou uvedeny v ČSN EN 12273. Hotové vrstvy se ověřují zkouškami podle ČSN 73 6130.

8 ENVIRONMENTÁLNÍ POŽADAVKY A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI

8.1 Obecné požadavky a souhrn zákonných opatření jsou uvedeny v kapitole 1 TKP.

Při pracích na staveništi nebo skládce kameniva je povinností zhotovitele při manipulaci se škodlivými látkami a následně při zneškodňování odpadů postupovat v souladu se zákonem č.185/2001 Sb., o odpadech, a prováděcími předpisy ve znění pozdějších předpisů. Všechny vedlejší produkty zabudované do zemního tělesa a konstrukce vozovky pozemní komunikace musí splňovat ustanovení zákona č.114/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů a souvisejících právních předpisů uvedených v TKP 1.

Veškeré práce v ochranných pásmech přírodních léčivých zdrojů, přírodních zdrojů stolních minerálních vod nebo lázeňských míst je možno provádět pouze po splnění opatření uvedených v dokumentaci stavby ve shodě s požadavky, které jsou pro tato ochranná pásma a lázeňská místa příslušným zákonem a vyhláškami určeny.

V průběhu výstavby nesmí docházet k nadměrnému znečišťování povrchových vod a ohrožování kvality podzemních vod. Zhotovitel musí dodržovat zejména ustanovení uvedená v zákonu č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů a nařízení vlády ČR č. 61/2003 Sb., kterým se stanoví ukazatele přípustného znečištění vod (TP 83 Odvodnění PK).

Jestliže se při provádění zemních prací vyskytnou nálezy, u kterých nelze vyloučit, že jde o nálezy historické, archeologické, paleontologické nebo geologické, o minerální prameny nebo jiné důležité nálezy veřejného zájmu, postupuje se podle zákona č. 183/2006 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Při těžbě, úpravě a ukládání materiálů a stavebních směsí musí zhotovitel zvolit takovou stavební mechanizaci, aby nedošlo k překročení požadavků, zákona č. 349/2004 Sb., zákona č. 258/2000 Sb. a nařízení vlády č. 502/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Stroje a vozidla musí být v řádném technickém stavu, aby nedocházelo k úniku olejů a pohonných hmot.

Provádění stavebních prací a manipulace se struskou a struskovými kamenivem může způsobovat znečišťování ovzduší. Staveniště a jeho okolí je zatěžováno emisemi z provozu stavebních strojů, prachem, uvolňováním prchavých látek a dalšími druhy znečištění ovzduší. Zhotovitel je povinen se řídit ustanoveními zákona č. 86/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Zejména musí dbát na to, aby:

- motory automobilů a stavebních strojů byly v dobrém technickém stavu a jejich emise nepřekračovaly přípustné meze,
- všechna pracoviště byla udržována v čistotě,
- pojezděné zpevněné plochy byly pravidelně čistěny,
- pojezděné nezpevněné plochy byly ošetřovány (např. kropením) s cílem omezit prašnost na nejmenší možnou míru,
- řádnou organizací prací, užitím odpovídající mechanizace a použitím ochranných prostředků byla omezena prašnost při manipulaci s výše uvedeným materiálem na nejmenší možnou míru,
- veřejné komunikace u vjezdů na staveniště, případně jejich úseky používané staveništní dopravou byly chráněny před znečištěním a řádně udržovány,
- omezení používání materiálů s neekologickými prchavými látkami,

Při provádění zemních prací musí zhotovitel respektovat požadavky hygienika uvedené ve stavebním povolení.

Ekologické aspekty provádění stavebních prací a jejich negativních vlivů na životní prostředí upravují právní předpisy, které vymezují základní pojmy a stanoví zásady ochrany životního prostředí a povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí. Strusková kameniva a materiály vyrobené a používané pro pozemní komunikace musí vyhovět ekologicko-technickým požadavkům uvedených v prováděcích předpisech zákona č.185/2001 Sb., o odpadech ve znění pozdějších předpisů. Jedná se zejména o vyhlášku č.294/2010 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu ve znění pozdějších předpisů.

Před zahájením prací musí být všichni pracovníci seznámeni s příslušnými předpisy o ochraně zdraví a bezpečnosti při práci.

Při obsluze agregátů, manipulaci s ohřátým kamenivem a asfaltem nebo jinými pojivy (cementem, vápnem apod.), dopravě a zpracování horkých asfaltových směsí se musí dodržovat příslušné dopravní, bezpečnostní a zdravotní předpisy a používat osobní ochranné pracovní prostředky a pomůcky. Práce musí být prováděny podle vyhlášky ČÚBP a ČBÚ o bezpečnosti práce a technických zařízeních při stavebních pracích.

Organizace staveniště a pracoviště musí být zajištěna tak, aby jednotlivé práce na nich prováděné neohrožovaly práce při ostatních pracovních postupech.

Pracovníci musí používat předepsané nářadí, pomůcky a čisticí prostředky, mít předepsaný ochranný oděv, rukavice a obuv.

Rozpadavost kameniva z vysokopecní strusky pařením v autoklávu

a) Zkušební pomůcky

- aa) síta 4,8 a 16,
- ab) skříňová sušárna na 105 až 110 °C,
- ac) technické váhy do 3 kg,
- ad) štětec,
- ae) autokláv na provozní tlak 0,25 MPa elektricky ohříváný s pojistným ventilem,
- af) koš objemu 2 l z děrovaného plechu nebo drátěného pletiva s otvory o velikosti 2 mm.

b) Podstata zkoušky

Rozpadavost struskového kameniva se zjišťuje vystavením kameniva frakce 8/16 účinku vodní páry za předepsaných podmínek. Výsledkem zkoušky je hmotnostní úbytek zrn stanovený jako propad sítím 4.

c) Postup zkoušky

Pro zkoušku se použije vzorek frakce 8/16 mm. Jednotlivá zrna se zbaví částic snadno odrolitelných prsty a očistí se štětcem od prachu. Pak se důkladně promyje vodou. Při teplotě 105 °C až 110 °C se kamenivo rozprostře v jedné vrstvě na síť 8 vysuší do ustálené hmotnosti a stanoví se hmotnost G_1 , ve smyslu ČSN EN 1097-5.

Do autoklávu se nalije voda v množství nejméně jedné desetiny jeho objemu. Vzorek zkoušené frakce o objemu asi 1,5 l se zváží s přesností na 1 g a nasype do koše, který se vloží do autoklávu tak, aby jeho dno bylo alespoň 20 mm nad hladinou vody. Autokláv se uzavře a zahřívá, přičemž se zpočátku nechá odpouštěcí ventil otevřen tak dlouho, až začne unikat vodní pára. Regulací zahřívání a popřípadě též mírným odpouštěním páry se tlak v autoklávu řídí tak, aby za 30 minut od začátku zahřívání dosáhl 0,20 MPa. Tlak $(0,20 \pm 0,005)$ MPa se udržuje po 2 hodiny a následně se v průběhu 30 minut nechá klesnout na atmosférický tlak. Po vyrovnání tlaku s okolím se autokláv otevře, koš se vyjme, vzorek se důkladně propere vodou, rozprostře se v jedné vrstvě na síť 4, vysuší se při 105 °C do ustálené hmotnosti, vytřídí a stanoví se jeho hmotnost G_2 .

d) Výpočet

Úbytek hmotnosti Q_S v % se vypočte ze vzorce: $Q_S = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100$, kde G_1 je hmotnost vzorku před zkouškou v g, a G_2 je hmotnost vzorku po zkoušce v g.

e) Vyhodnocení

Je-li úbytek hmotnosti Q_S větší než 5 %, je kamenivo rozpadavé a pro další zpracování nevhodné.

PŘÍLOHA B TP 138

Rozpadavost zhutněné asfaltové směsi**a) Zkušební pomůcky**

- aa) vodní lázeň s možností teploty na 60 °C,
- ab) Marshallův pěch podle ČSN EN 12697-30 na zhutnění zkušebních těles \varnothing 100 mm včetně forem a pomůcek,
- ac) technické váhy do 3 kg s přesností 1 g.

b) Podstata zkoušky

Rozpadavost a rozpínání zhutněné asfaltové směsi ze struskového kameniva se zjišťuje na zhutněných Marshallových zkušebních tělesech po jejich vystavení účinku vody o teplotě 60 °C. Výsledkem zkoušky je vizuální zhodnocení porušení vzorků.

c) Postup zkoušky

Pro zkoušku se použijí čtyři Marshallova zkušební tělesa s optimálním množstvím asfaltu vyrobená pro danou asfaltovou směs předepsaným počtem úderů zhutňovače.

Tělesa se vloží do vodní lázně s teplotou 60 °C. Výška hladiny vody v lázni musí být taková, aby po ponoření všech vzorků byla hladina min. 50 mm nad horní hranou zkušebních těles.

Teplota vodní lázně (60 ± 1) °C se udržuje po dobu 72 hodin. Po této době se zkušební tělesa vyjmou z lázně a opatrně se povrchově osuší měkkou osuškou.

d) Vyhodnocení

Na vzorcích by neměly být patrné žádné trhliny a „vývarky“ (rozpadlá zrna). Dovoleno jsou pouze povrchové skvrny.

Pokud se objeví na některém zkušebním vzorku trhlina nebo rozpadlé zrno jedná se o nevyhovující struskové kamenivo pro použití do asfaltových hutněných vrstev.

PŘÍLOHA C TP 138

C.1 Citované a související normy a další předpisy:

| | |
|-----------------|--|
| ČSN EN 12591 | Specifikace pro silniční asfalty |
| ČSN EN 933-1 | Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor |
| ČSN EN 1367-1 | Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování |
| ČSN EN 1367-2 | Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým |
| ČSN EN 1008 | Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu |
| ČSN EN 1097-2 | Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení |
| | Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 5: |
| ČSN EN 1097-5 | Stanovení vlhkosti sušením v sušárně |
| ČSN EN 1097-6 | Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti |
| ČSN EN 1097-8 | Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 8: Stanovení hodnoty odladitelnosti |
| ČSN EN 1367-1 | Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování |
| ČSN EN 1367-2 | Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým |
| ČSN EN 13242+A1 | Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace |
| ČSN EN 13043 | Kamenivo pro asfaltové směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace |
| ČSN 73 6100-1 | Názvosloví pozemních komunikací - Část 1: Základní názvosloví |
| ČSN 73 6100-2 | Názvosloví pozemních komunikací - Část 2: Projektování pozemních komunikací |
| ČSN 73 6100-3 | Názvosloví pozemních komunikací - Část 3: Vybavení pozemních komunikací |
| ČSN 73 6121 | Stavba vozovek - Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody |
| ČSN 73 6124-1 | Stavba vozovek. Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody |
| ČSN 73 6126-1 | Stavba vozovek. Nestmelené vrstvy – Část 1: Provádění a kontrola shody |
| ČSN 73 6126-2 | Stavba vozovek. Nestmelené vrstvy – Část 2: Vibrovaný štěrk |

- ČSN 73 6127-1 Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 1: Vrstva ze štěrku částečně vyplněného cementovou maltou
- ČSN 73 6127-2 Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 2: Penetrační makadam
- ČSN 73 6127-3 Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 3: Asfaltocementový beton
- ČSN 73 6127-4 Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 4: Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí
- ČSN 73 6129 Stavba vozovek – Postřikové technologie
ČSN 73 6130 Stavba vozovek – Kalové vrstvy
- ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
- ČSN 73 6160 Zkoušení silničních asfaltových směsí
- ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti
- ČSN EN 197-1 Cement. Složení, jakostní požadavky a kritéria pro stanovení shody. Část 1: Cementy pro obecné použití (72 2101)
- ČSN EN 451-1 Metoda zkoušení popílku – část 1: Stanovení obsahu volného oxidu vápenatého
- ČSN EN 14227-1 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi stmelené cementem
- ČSN EN 14227-2 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 2: Směsi stmelené struskou
- ČSN EN 14227-12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 12: Zeminy upravené struskou
- ČSN EN 12271 Nátěry - Specifikace
- ČSN EN 12273 Kalové vrstvy – Specifikace
- ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin
- ČSN EN 13286-42 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13286-43 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 43: Zkušební metoda pro stanovení modulu pružnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton
- ČSN EN 13108-2 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
- ČSN EN 13108-6 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 6: Lítý asfalt
- ČSN EN 13108-7 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 7: Asfaltový koberec drenážní

- ČSN EN 13108-21 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 21: Řízení výroby u výrobce
- ČSN EN 13285 Nestmelené směsi - Specifikace
- ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem

C.2 Citované a související právní předpisy:

- Zákon č.185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č.294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č.61/2010 Sb., kterou se mění vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění vyhlášky č. 341/2008 Sb., a vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška MŽP č.383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška MŽP č.376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška SÚJB č.307/2002 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany, ve znění pozdějších předpisů

C.3 Citované resortní předpisy

- Směrnice pro dokumentaci staveb pozemních komunikací, MD ČR, Dodatek 1
- TKP staveb pozemních komunikací, kapitola 1, Všeobecně,
- TKP staveb pozemních komunikací, kapitola 4 Zemní práce,
- TKP staveb pozemních komunikací, kapitola 5 Podkladní vrstvy,
- TKP staveb pozemních komunikací, kapitola 7 Hutněné asfaltové vrstvy,
- TKP Staveb pozemních komunikací, kapitola 26 Postřiky a nátěry vozovek,
- TKP Staveb pozemních komunikací, kapitola 27 Emulzní kalové zákryty,
- TKP Staveb pozemních komunikací, kapitola 28 Mikrokoberce prováděné za studena,
- TP 76 Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace, MD ČR, TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací, Dodatek 2010
- TP 93 Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů,
- TP 94 Úprava zemin,
- Metodický pokyn SJ-PK Systém jakosti v oboru pozemních komunikací (SJ-PK) č.j. 20840/01-120 z 10.4.2001 ve znění změn č.j. 30678/01-123 ze dne 20.12.2001, č.j. 47/2003-120-RS/1 ze dne 31.1.2003, č.j. 174/05-120-RS/1 ze dne 1.4.2005 a č.j. 678/2008-910-IPK/2 a změny č.j.980/2010– 910–IPK/1 ze dne 9.11.2010.

Vypracování technických podmínek TP 138:

Název: Užití struskového kameniva do pozemních komunikací
Vydalo: Vysoké učení technické, fakulta stavební,
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95, 662 37 Brno
Zpracovatel: Vysoké učení technické, fakulta stavební,
Ústav pozemních komunikací
Veveří 95, 662 37 Brno
Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Spoluřešitel: prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

Realizační výstup projektu MD ČR CG712-043-910 Systém
hospodaření s druhotnými materiály do pozemních komunikací pro
ČR

Spolupracovali ČVUT FSv Praha Ing. Jan Valentin, Ph.D.
ČVUT FSv Praha Ing. Petr Mondschein, Ph.D.
Náklad: 50 ks
Počet stran: 23
Formát: A4
Tisk a distribuce Vysoké učení technické, Fakulta stavební,
Ústav pozemních komunikací
Veveří 331/95, 602 00 Brno