

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra technologie staveb**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE  
Využití elektrárenské strusky pro  
konstrukci pozemních komunikací**

**Bc. Marek Polák**

**2019**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.**

## **Prohlášení**

**Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.**

**V Praze 4. 1. 2019**

.....  
**Marek Polák**

## **Poděkování**

*Velice rád bych opět poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za svůj věnovaný čas, trpělivost a veškeré rady týkající se mé práce. V neposlední řadě pak i všem lidem z laboratoře katedry silničních staveb, obzvláště pak Ing. Petrovi Mondscheinovi, Ph.D. a Ing. Janu Sudovi, Ph.D. za velice dobrou spolupráci a napomáhání při provádění nejrůznějších zkoušek, včetně manipulace s některými přístroji.*



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Polák</u>	Jméno: <u>Marek</u>	Osobní číslo: <u>424391</u>
Zadávací katedra: <u>K122 - Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Využití elektrárenské strusky pro konstrukci pozemních komunikací</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Usage of power slag for the construction of roads</u>	
Pokyny pro vypracování:	
1) Rešerše k způsobu vzniku a využití elektrárenské strusky, možnosti využití ve směsích stmelěných hydraulickými pojivky.	
2) Návrh experimentů vedoucích k ověření fyzikálních a mechanických parametrů elektrárenské strusky.	
3) Návrh složení směsi stmelené hydraulickým pojivem na bázi sulfátovápenatého popílku, sloužící k záměně směsi stmelené cementem.	
4) Ověření základních mechanických vlastností u navržených směsí.	
5) Návrh konstrukce vozovky pro účelové komunikace, cyklostezky, lesní cesty	
6) Vyhodnocení experimentu vzhledem k možnému použití v konstrukci podkladních vrstev vozovky.	
7) Ekonomické vyhodnocení konceptu cest na bázi elektrárenské strusky.	
Seznam doporučené literatury:	
1) ČSN EN 14 227-5 Směsi stmelené hydraulickými pojivky – Specifikace – Část 5: Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivky	
2) BENSCHEIDT, N., R. HELA a Asociace pro využití energetických produktů. Příručka Popílek V Betonu: Příručka: Základy Výroby a Použití. 2.přepac. vyd. Hostivice: ČEZ Energetické produkty vydává pro ASVEP, 2013.	
3) FEČKO, Peter. Fly Ash. Ostrava: VŠB, 2005	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>04.10.2018</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>06.01.2019</u>
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem směsi určené pro podkladní vrstvy pozemních komunikací s využitím vedlejších energetických produktů vznikajících při spalování hnědého uhlí v tepelných elektrárnách. Cílem je vytvoření směsi stmelené hydraulickým pojivem Sorfix s využitím elektrérenské strusky jako inertního plniva. Součástí práce je i přesná specifikace všech vstupních materiálů a provedených zkoušek. Na závěr této práce jsou shrnuty výsledné pevnosti v tlaku všech navržených směsí a provedena diskuse výsledků, včetně možného využití.

Klíčová slova: struska, elektrérenská struska, hydraulické pojivo, Sorfix, podkladní vrstvy, pozemní komunikace, cyklostezky, účelové komunikace, pevnost v tlaku, skladba vozovky, využití strusky, ekologie, cyklistická doprava

## **Annotation**

This diploma thesis deals with the design of mixtures intended for the underlying layers of roads with the use of secondary energy products arising from the combustion of brown coal in thermal power plants. The aim is to create a mixture using the Sorfix as a hydraulic binder and the power slag as an inert filler. The next part of this thesis is the exact specification of all input materials and tests performed. At the end of this work, the resulting compressive strengths of all the proposed mixtures are summarized and a discussion of the results, including possible use, is made.

Keywords: slag, power slag, hydraulic binder, Sorfix, underlying layers, roads, bike paths, private roads, compressive strength, composition of roads, use of slag, ecology, cycling

## Obsah

Úvod.....	8
1 Teoretická část .....	10
1.1 Struska .....	10
1.1.1 Metalurgické strusky .....	10
1.1.1.1 Ocelářská struska .....	11
1.1.1.2 Vysokopeční struska .....	11
1.1.1.3 Kupolní struska .....	12
1.1.2 Strusky vzniklé ze spalování tuhých paliv .....	12
1.1.3 Vulkanické strusky .....	12
1.2 Struska použita v této práci .....	13
1.3 Možnosti využití elektrárenské strusky .....	13
1.4 Cyklostezky a účelové komunikace .....	15
1.4.1 Asfaltový povrch .....	16
1.4.2 Dlážděné kryty .....	17
1.4.3 Cementobetonové kryty .....	19
1.4.4 Ostatní typy krytů .....	20
1.5 Realizované cyklostezky .....	21
1.5.1 Zpevněná polní cesta – Skřípov [9]: .....	21
1.5.2 Cyklostezka Prostějov – Kralice .....	22
1.5.3 Cyklostezka – Hostivice .....	23
1.6 Požadavky a zkoušky stmelěných vrstev .....	25
1.6.1 Zrnitost strusky a kameniva .....	25
1.6.2 Optimální vlhkost .....	28
1.6.3 Pevnost v tlaku .....	31
1.6.4 Objemové změny – bobtnavost .....	32
1.6.5 IBI – okamžitý index únosnosti .....	33
Použitá literatura .....	36
Seznam grafů .....	39
Seznam obrázků .....	39
Seznam tabulek .....	39

## Úvod

Ve všech odvětvích průmyslu je dnes kladen velký důraz na ekologii a udržitelný rozvoj. Mezi nejsledovanější producenty škodlivých látek, ovlivňující životní prostředí, patří především průmysl elektrárenský. V České Republice je téměř polovina veškeré elektrické energie vyrobena právě v tepelných elektrárnách. Produkce odpadních látek, vznikajících při spalování v elektrárnách a dodržování stanovených hodnot je řádně sledováno.

Menší důraz je už však kladen na využití tzv. VEP neboli vedlejších energetických produktů, vznikajících při spalování tuhých paliv v těchto elektrárnách. Tyto materiály zůstávají na složištích, a i přes jejich značný potenciál je dále zpracována a využita pouze asi jedna třetina celkové produkce těchto „odpadů“. Mezi tyto materiály patří právě např. i popílků či elektrárenská struska.

Kromě průmyslu je velký důraz na ekologii kladen i v dopravě. Všechna větší města se potýkají s problémem rostoucí automobilové dopravy, a tak není divu, že v posledních letech dochází k poměrně velkému rozvoji cyklistických komunikací, které nabízejí poměrně rychlý a ekologicky nenáročný způsob dopravy.

Tato práce se tedy zabývá návrhem směsi určené pro konstrukci pozemních komunikací, konkrétně pak cyklistických a účelových komunikací, s využitím těchto tzv. „odpadů“.

Cílem je vytvoření směsi stmelené hydraulickým pojivem Sorfix s využitím elektrárenské strusky jako inertního plniva, odpovídající požadavkům pevnostní třídy C<sub>3/4</sub>.

V případě Sorfixu se jedná o hydraulické pojivo z elektrárny Ledvice na bázi sulfátovápenatých popílků, které je pro dosažení požadovaných fyzikálních a chemických vlastností dále upravováno dle patentu [7]. Struska použita v této práci pochází z elektrárny Počerady a jedná se o tzv. granulovanou elektrárenskou strusku.



### **Cíle práce:**

- Rešerše k způsobu vzniku a využití elektrérenské strusky
- Možnosti využití strusky ve směsích stmelených
- Rozdělení krytů cyklistických a účelových komunikací
- Uvedení již realizovaných projektů cyklistických komunikací
- Návrh experimentů vedoucích k ověření fyzikálních a mechanických vlastností všech vstupních materiálů
- Provedení navržených experimentů
- Návrh složení směsí stmelených hydraulickým pojivem na bázi sulfátovápenatých popílků s využitím strusky
- Ověření základních mechanických vlastností navržených směsí
- Ekonomické vyhodnocení konceptu cest na bázi elektrérenské strusky
- Vyhodnocení experimentu vzhledem k možnému využití v konstrukci pozemních komunikací
- Návrh konstrukce vozovky pro cyklistické a účelové komunikace

## 1 Teoretická část

### 1.1 Struska

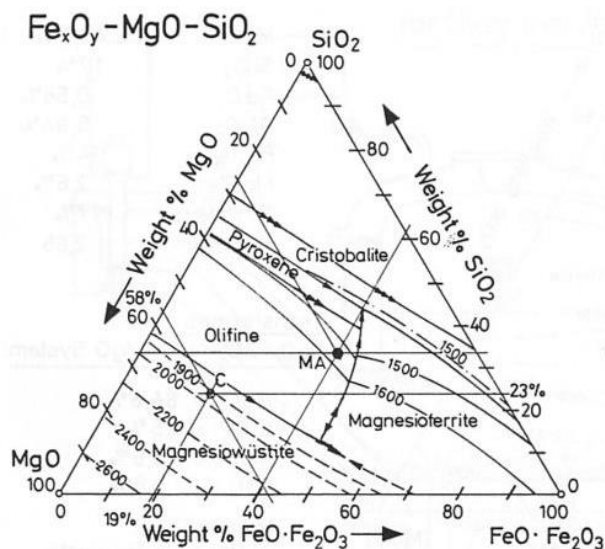
S tímto pojmem, nebo s dalším často používaným termínem „škvára“, se ve stavebnictví setkáváme, mluvíme-li o hrubozrnných hmotách tmavě šedé, černé nebo až popelavé barvy. Tyto hmoty vznikají nejrůznějšími způsoby, mimo jiné např. i přirozeně vulkanickou činností.

Hovoříme-li však o strusce využívané ve stavebnictví, v naprosté většině případů jde o strusku vzniklou lidskou činností. Nejčastěji se jedná o vedlejší produkt průmyslových procesů, jako je spalování pevných paliv či tavení kovů. Strusky vzniklé lidskou činností lze rozdělit následovně:

#### 1.1.1 Metalurgické strusky

Metalurgické strusky mají mezi struskami poměrně velké zastoupení. Metalurgii můžeme rozdělit na tzv. černou, kam patří například výroba litiny, oceli nebo feroslitin, a na metalurgii neželezných kovů. Zjednodušeně, jsou to materiály, které vznikají metalurgickými procesy při tavení kovů, obsahující převážně kovové oxidy (oxid křemičitý, oxidy železa, oxid vápenatý atd.). Jedním z rozhodujících kritérií je bazicita neboli kyselost/zásaditost strusky. Ta určuje poměr mezi kyselými a zásaditými složkami. Další vlastnosti lze vyčíst z (tří nebo vícerozložkových) rovnovážných diagramů.

Obr. 1: Ternární diagram strusky [2]



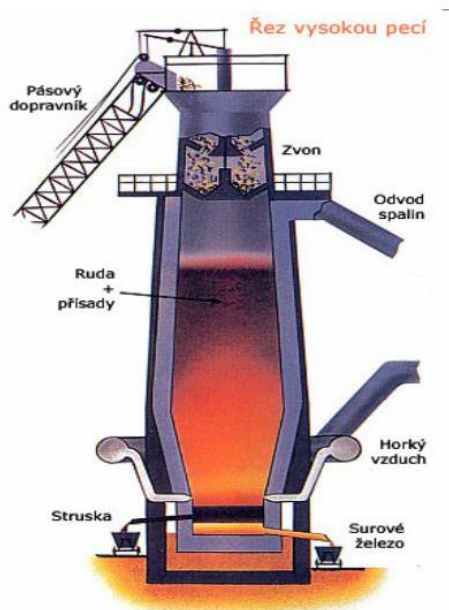
### 1.1.1.1 Ocelářská struska

Ocelářské strusky jsou hmoty vznikající při výrobě oceli. Jedná se o látky zásadité a chemické složení vždy závisí na druhu metalurgického procesu. Ocelářské strusky mohou obsahovat až 60 % železa, které lze poměrně nenáročným způsobem, pomocí magnetické separace, později recyklovat.

### 1.1.1.2 Vysokopecní struska

Vysokopecní strusky vznikají ochlazením rozžhavené strusky na odvalech při výrobě železné rudy ve vysokých pecích. Chemické složení je upravováno přísadami, jako jsou vápenec, křemen nebo kazivec, aby výsledná hmota vycházející z vysoké pece odpovídala kompaktní tavenině. Na závěr celého procesu je hmota pomocí vody upravována na struskový granulát. Díky slušným hydraulickým vlastnostem se některé druhy těchto strusek přidávají do cementů, touto úpravou vzniká tzv. vysokopecní cement.

Obr. 2: Vysoká pec [3]



Hlavní části:

Kychta

Šachta

Rozpor

Nístěj

### **1.1.1.3 Kupolní struska**

Kupolní strusky vznikají jako vedlejší produkt při výrobě litiny v kupolních pecích. Celý proces vzniku tohoto typu strusky je závislý na několika faktorech, a to na propadu prvků kovové vsázky, odtavování keramické vyzdívky, nečistotách a písku vyskytujících se na vsázce a na vzniklém popelu včetně tavících přísad. Vzniklé hmoty, s ohledem na jejich basicitu, řadíme mezi zásadité (1,1 – 2,4).

Mezi další typy metalurgických strusek lze zařadit odsiřovací strusky, strusky elektrických a obloukových pecích a strusky neželezných kovů.

### **1.1.2 Strusky vzniklé ze spalování tuhých paliv**

Jedná se o strusky vznikající jako sekundární produkt při spalování tuhých paliv v tepelných elektrárnách, nejčastěji pak při spalování uhlí a odpadů.

V případě těchto materiálů se jedná o velice podobný výrobní proces jako v případě vysokopecní strusky. Spalováním vzniká popel, který je díky přítomné vysoké teplotě upraven na taveninu, a ta je následně odváděna z topeniště. Poté je struska v komorách zchlazena vodou a granulováním upravena tak, aby vznikla struska využitelná v dalších odvětvích průmyslu. Často se využívá při stavbě silnic či výrobě tvárnic. Vlastnosti těchto strusek jsou předmětem této práce a budou dále podrobněji rozebrány.

### **1.1.3 Vulkanické strusky**

Jinak též známé pod název Sopečné strusky či odborně Lapilli, nejsou jako jediné z již uvedených typů strusek dílem člověka, neboť v přírodě vznikají samovolně.

Tyto materiály vznikají při sopečných erupcích zemského magmatu a bývají přítomny při povrchu v sopečných mračnech. Velikost zrn se nejčastěji pohybuje v rozmezí 2 až 64 mm. S těmito struskami se tedy setkáváme výhradně v sopečně aktivních oblastech, kde jsou tyto nánosy vulkanické strusky odklizeny a dále recyklovány.

## 1.2 Struska použita v této práci

Jak již bylo řečeno v úvodu, předmětem této práce bude zkoumání vlastností a možnosti využití elektrárenské strusky. Snahou bude nahradit kamenivo či část kameniva ve směsích stmelovaných hydraulickým pojivem Sorfix v podkladních vrstvách vozovky, včetně následného porovnání se směsmi navrženými již v bakalářské práci [4].

Většina podobných prací a návrhů směsí se nejčastěji zaměřuje na využití strusky vysokopecní. Tato práce však nikoliv, neboť v tomto případě se jedná o tzv. strusku elektrárenskou čili vedlejší produkt ze spalování tuhých paliv. Tyto pojmy bychom neměli zaměňovat.

Konkrétně se jedná o granulovanou elektrárenskou strusku z elektrárny Počerady, v případě pojiva Sorfix, pak o ternární pojivo z elektrárny Ledvice, vzniklé dle patentu [7].

## 1.3 Možnosti využití elektrárenské strusky

Můžeme říci, že tyto strusky mají podobné vlastnosti a strukturu jako písek, využívají se tedy nejčastěji při stavbách pozemních komunikací a geotechnických činnostech.

Příklady použití strusky: [5]

- Násypy zemních těles pozemních komunikací
- Zásypy a obsypy liniových staveb
- Zásypový materiál při rekultivaci
- Terénní úpravy
- Zásypy opěrných konstrukcí
- Posypový materiál

Podrobněji jsou možnosti využití druhotných materiálů pro silniční stavitelství, včetně elektrárenské strusky, zkoumány v práci autora Kubince [6]. Na základě této práce autor sestavil souhrn využití těchto materiálů v přehledné tabulce, viz. níže:

Tab. 1: Použitelnost vedlejších energetických produktů [6]

**Možnost použití druhotných materiálů do různých částí konstrukce pozemní komunikace**

Vedlejší energetické produkty		části konstrukce pozemní komunikace					
		zemní těleso	aktivní zóna a zemní pláň	přechodové oblasti, zásyp nebo obsyp mostních objektů	ztužující vrstvy násypu	podkladní a ochranné vrstvy vozovek	části násypů a obsypů ve styku s podzemní
materiály	nestabilizovaný popílek a popel	ANO					
	fluidní popel a popílek	ANO	ANO		ANO	ANO	
	stabilizovaný popílek	ANO	ANO	ANO /*	ANO	ANO	ANO /**
	struska/škvára			ANO			ANO

Legenda:

ANO	- materiál lze použít do dané konstrukce
ANO	- materiál lze použít do dané konstrukce s omezením (viz poznámky)

Poznámky:

\* Při zásypu základu a obsypu objektu (popř. potrubí) z betonu stabilizovaným popílkem je potřebné posoudit jeho agresivitu na zasypávanou nebo obsypávanou konstrukci a potrubí dle ČSN EN 206-1.

\*\* Při výšce násypu menší než 0,5 m se může používat pouze stabilizovaný popílek, u kterého je prokázáno, že jeho technické vlastnosti se nezhoršují stykem s podzemní vodou.

Na základě autorova zkoumání lze z této tabulky vyvodit, že struska neboli škvára je vhodná především jen pro použití v oblastech zásypů, násypů či obsypů.

Navzdory tomuto zkoumání je tato práce zaměřena na podrobnější využití strusky, a to především v podkladních vrstvách vozovky (cyklostezky a účelové komunikace). Konkrétně, využití elektrárenské strusky jako inertního plniva a částečné náhrady kameniva ve směsích stmelených hydraulickým pojivem Sorfix.

## 1.4 Cyklostezky a účelové komunikace

Téměř všechna větší města v České Republice se zabývají otázkou, jak zajistit kvalitní, bezproblémovou a pokud možno pro životní prostředí co nejméně zatěžující dopravu. To vše vede k poměrně velkému rozvoji cyklistických tras v těchto městech, a lidem se tak nabízí velice zajímavá alternativa cestování. Typickým zástupcem takových měst, jsou v České Republice např. Pardubice, které jsou díky velice úspěšnému rozvoji této dopravy označovány za „Hlavní město cyklistů“.

Obr. 3: Cyklostezka v Pardubicích



Rozvoj této dopravy tedy sebou přináší i snahu vyzkoumat nové způsoby a technologie k vytvoření co možná nejkvalitnější sítě cyklostezek. To vše samozřejmě s ohledem na pořizovací cenu a životní prostředí.

Z konstrukčního hlediska je rozdíl mezi účelovou komunikací a cyklostezkou především ve skladbě jednotlivých vrstev. Počet, nebo zvolené materiály těchto vrstev se v obou případech téměř neliší, rozdílná je především tloušťka.

Cyklostezky jsou komunikace primárně navrhované pouze pro pohyb cyklistů, což v případě účelových komunikací neplatí. Vytvořením účelové komunikace vzniká bezpečná cyklistická trasa, avšak využívána bývá nejrůznějšími způsoby. Nejčastěji se jedná o polní nebo lesní cesty, u kterých je třeba při návrhu počítat se zatížením vzniklým občasným pohybem automobilové dopravy či těžařských strojů. Velikost předpokládaného zatížení závisí především na způsobu využití a dané lokalitě.

Při návrhu těchto komunikací a zvolení vhodného konstrukčního typu se využívají metodiky a softwary přímo k tomuto účelu určené. I přesto je třeba zohlednit několik faktorů, jako například umístění stavby, technologické, inženýrsko-geologické, ekonomické a ekologické faktory.

Základní typy cyklistických a účelových komunikací dle krytové vrstvy [9]:

- Asfaltové (kryt netuhý)
- Dlážděné
- Cementobetonové (kryt tuhý)
- Ostatní

#### 1.4.1 Asfaltový povrch

Asfaltový povrch je tvořen zejména několika vrstvami asfaltových směsí o různé kvalitě či frakci kameniva. Pojivem je zde výhradně asfalt, dříve občas používaný dehet již není používán, neboť byl označen za karcinogenní a jeho použití je zakázáno.

Kromě aplikace emulzního kalového zákrytu, prováděného za studena, který je ale spíše využívám u rekonstrukcí, jsou asfaltové kryty ve většině případů výhradně zpracovány za tepla.

V porovnání s běžnými vozovkami, zde asfaltové směsi použité při návrhu cyklistických komunikací obsahují spíše jemnější frakce kameniva, a to střednězrné až velmi jemné. Jemnější frakce je zde zvolena především kvůli celkovému komfortu při jízdě ať už cyklistů či in-line bruslařů. Konkrétně se může jednat o asfaltové betony (ACO 16-8+) a lité asfalty s jemnějším kamenivem (MA).

Zvláštním typem těchto asfaltů jsou potom barevné asfaltové směsi. Tento druh asfaltu ve však využívá jen výjimečně, a to především díky jeho ekonomické náročnosti, neboť přidáním chemických látek je obarvena přímo asfaltová směs. Levnější variantou jsou barevné nástřiky.

Typy asfaltových krytů dle nároků na čáru zrnitosti:

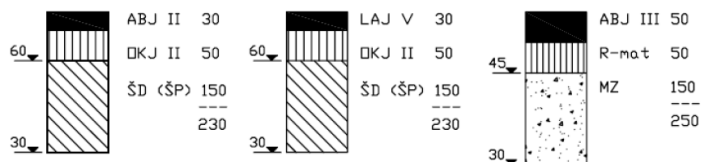
- Asfaltový beton AB (plynulá čára zrnitosti)
- Obalované kamenivo OK (nižší požadavky na čáru zrnitosti)



Obr. 4: Vzorové skladby – asfaltové kryty [9]

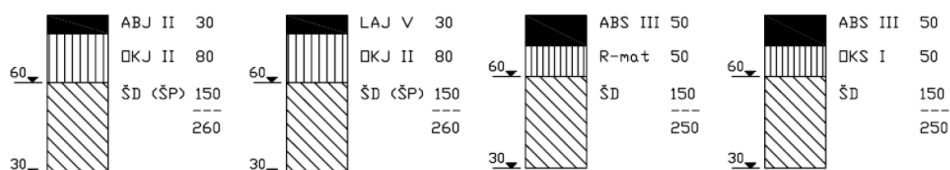
1.1.1. s vyloučením automobilové dopravy

návrh dle	VUT		VUT		TP 170	
TDZ	CH		CH		CH	
TNV/25hod		470 Kč/m <sup>2</sup>		730 Kč/m <sup>2</sup>		420 Kč/m <sup>2</sup>
podloží	P III		P III		P III	



1.1.2. občasný pojezd osobními automobily a lehkými užitkovými vozidly

návrh dle	VUT		VUT		TP 170		VUT	
TDZ	0		0		VI		0	
TNV/25hod	3	584 Kč/m <sup>2</sup>	3	844 Kč/m <sup>2</sup>	15	420 Kč/m <sup>2</sup>	3	535 Kč/m <sup>2</sup>
podloží	P III		P III		P III		P III	



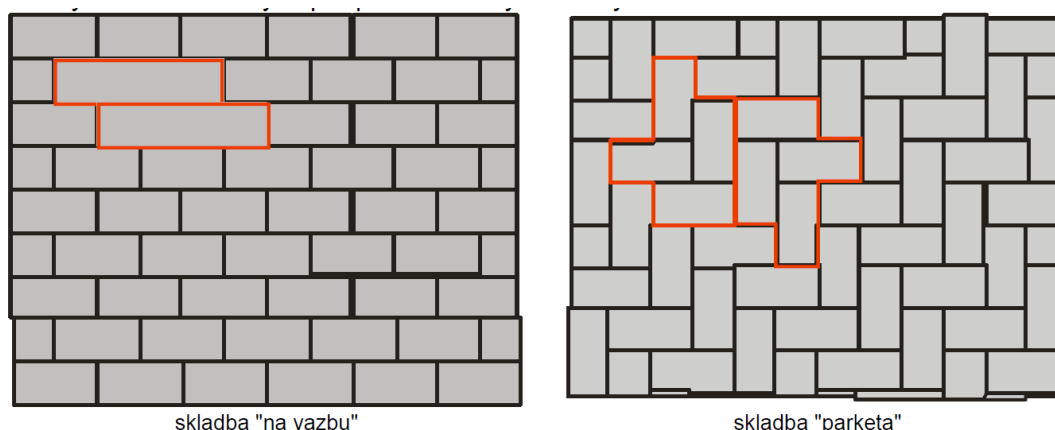
## 1.4.2 Dílčďené kryty

Tento typ krytů cyklistických a účelových komunikací je druhým nejpoužívanějším způsobem řešení těchto komunikací. Horní vrstva je tvořena jednotlivými dílci (dlažbou), která je kladena do ložné vrstvy tvořené v převážné většině štěrkodrtí. Dlažbu zde rozlišujeme na přírodní kámen a uměle vytvořený kámen, mezi které patří např. cementový beton či dokonce recyklovaný plast.

Jak již bylo popsáno u asfaltových krytů, i zde platí velký důraz na jízdní komfort, a je tedy zapotřebí volit vhodný způsob pokládky těchto krytů, a to především zohlednit povrch a tvar samotných dílců dlažby. Dlažba vhodná pro povrchy cyklistických komunikací a pojezdných účelových komunikací by neměla být upravena zkosením hran (fazeta), to znamená, pokud možno ostré hrany a kladena přesně na sraz.

Na základě výše uvedených požadavků lze říci, že pro účely tohoto typu komunikací je nejvhodnější použití přesné cementobetonové dlažby, pokud možno zámkové dlažby, která zajistí do určité míry spolupůsobení a celistvost celého krytu vozovky.

Obr. 5: Skladby vhodné pro cyklostezky [9]



Přírodní kámen z důvodu mnohem vyšší míry nepřesností při výrobě, vyšší ceně a vyšším nárokům na pokládku je vhodnějším materiálem především v oblasti rekonstrukcí historických měst, či při výstavbě silničních komunikací s estetickou a kulturní funkcí.

Velkou výhodou dlážděných krytů, ať už přírodních či umělých, je bezesporu jejich možnost rozložení a opětovného složení. V případě nutných rekonstrukcí např. inženýrských sítí, kanalizace nebo elektrické sítě v místě křížení s vozovkou, není tedy třeba vynakládat další finanční prostředky na zřízení nového krytu.

Nevýhodou těchto povrchů může být potřeba obrubníku po obou stranách s pevným základem, neboť obrubník v tomto případě plní ztužující funkci. Další nevýhodou může být postupem času prorůstající vegetace mezi jednotlivými vrstvami vozovky až do dílců vrchního krytu. Je tedy třeba v případě těchto dlažeb uvažovat s větší náročností na údržbu.

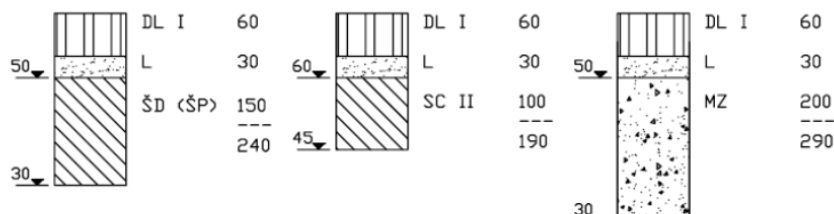
Typy dlážděných krytů [9]:

- Dlažba z přírodního kamene (žula, andezit)
- Dlažba z cementového betonu
- Konglomerovaný kámen
- Recyklovaný plast

Obr. 6: Vzorové skladby – dlážděné kryty [9]

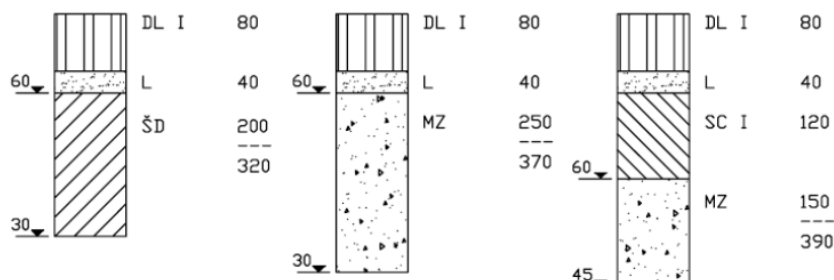
1.2 dlažba  
 1.2.1. s vyloučením automobilové dopravy

návrh dle	TP 170		VUT		TP 170
TDZ	CH		CH		CH
TNV/25hod		565 Kč/m <sup>2</sup>		565 Kč/m <sup>2</sup>	725 Kč/m <sup>2</sup>
podloží	P III		P II		P III



1.2.2. občasný pojezd osobními automobily a lehkými užitkovými vozidly

návrh dle	TP 170		TP 170		TP 170
TDZ	0		0		VI
TNV/25hod	3	615 Kč/m <sup>2</sup>	3	845 Kč/m <sup>2</sup>	15
podloží	P III		P III		P II



### 1.4.3 Cementobetonové kryty

Kryty z tohoto materiálu jsou tvořeny pouze jednou vrstvou vyztuženou ocelovou výztuží. Jedná se o speciální beton, který je upraven provzdušňovacími přísadami pro dosažení požadovaných vlastností.

Proti asfaltovým či dlážděným krytům dosahují tyto vozovky mnohem vyšších životností, v některých případech až 50 let. Díky jednovrstvé konstrukci není nutné osazení obrubníků a velice dobře odolává agresivním vlivům přírody, jako jsou kořeny stromů či jiné vegetace vyskytující se v blízkosti těchto komunikací.

Další výhodou je stálost těchto materiálů, vozovka příliš nemění svůj tvar ani povrch a světlejší odstín horní vrstvy umožňuje v nočních hodinách odraz světla od povrchu vozovky, což přispívá k bezpečnějšímu provozu.

Vzhledem k dlouhé životnosti těchto krytů a využití lokálních materiálů na výrobu jsou ekonomické náklady spojené s výstavbou poměrně nízké. Ve srovnání s ostatními povrchy je ekonomicky výhodnější, a to včetně nižších nákladů na údržbu.

Obr. 7: Cementobetonový kryt [10]



#### 1.4.4 Ostatní typy krytů

V naprosté většině případů se u cyklistických a účelových komunikací používají kryty zmíněné již výše. Nicméně pokud to zvláštní situace vyžaduje a žádá přistupuje se i k méně tradičním skladbám.

Nejčastějším důvodem bývá ekonomická nenáročnost. Často tedy v těchto případech vznikají vozovky s kratší životností a vyššími nároky na údržbu. Životnost těchto povrchů nikdy nebude dosahovat životnosti již zmíněných povrchů, nicméně lze ji zvýšit vhodným výškovým a směrovým vedením či dostatečným odvodněním.

Tyto ostatní typy je tedy nejvhodnější využít především pro komunikace s nízkým výskytem motorových vozidel a komunikace účelové, jako jsou lesní cesty. Vzhledem k nízkým ekonomickým nákladům jsou tyto typy krytů často používány na staveništích, jako dočasné komunikace. Životnost těchto krytů je maximálně 5 let, je tedy zapotřebí kromě odpovídajících nároků na údržbu zvážit i náchylnost na klimatické podmínky.

Ostatní úpravy krytů [9]:

- Kalený štěrk
- Penetrační makadam
- Asfaltové nátěry
- Materiál z vyfrézované asfaltové směsi
- Zpevnění cest za pomoci Gloritu
- Směsné hydraulické pojivo Dorosol
- Systém Gutzwiller

### **1.5 Realizované cyklostezky**

Jak již bylo řečeno výše, cílem této práce je navržení stmelené podkladní vrstvy vhodné pro aplikaci v konstrukci cyklistických a účelových komunikací. Většina z výše uvedených vzorových skladeb komunikací tohoto typu neobsahuje stmelené vrstvy, ale nejčastěji pouze mechanicky zpevněné kamenivo.

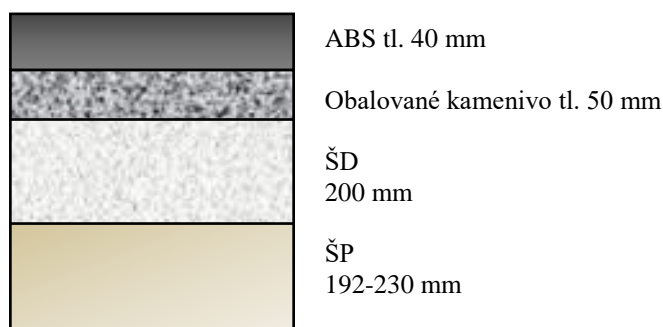
V této kapitole jsou uvedeny některé již realizované cyklostezky či účelové komunikace, u kterých lze předpokládat možnost některou z podkladních vrstev nahradit vrstvou stmelenou pojivem Sorfix.

Použití této stmelené vrstvy, namísto nestmelené, by v těchto případech umožnilo snížení požadované tloušťky samotné vrstvy, za současného snížení celkových nákladů vynaložených na stavbu. Přesné tloušťky jednotlivých vrstev jsou závislé na zjištěných pevnostech, a budou předmětem dalšího zkoumání.

#### **1.5.1 Zpevněná polní cesta – Skřípov [9]:**

Jedná se o zpevněnou polní cestu s asfaltovým krytem nacházející se v katastrálním území Skřípov. Komunikace byla navržena jako jednopruhová polní cesta a jejím hlavním cílem byla především snaha o zpřístupnění pozemků jednotlivých vlastníků nacházejících se v této oblasti.

Obr. 8: Skladba zpevněné polní cesty Skřípov [9]



V případě této skladby vozovky se nabízí potenciální možnost nahrazení štěrkodrti vrstvou stmelenu pojivem Sorfix. Toto nahrazení by umožnilo snížení tloušťky celé skladby vozovky, ale také možnou ekonomickou úsporu.

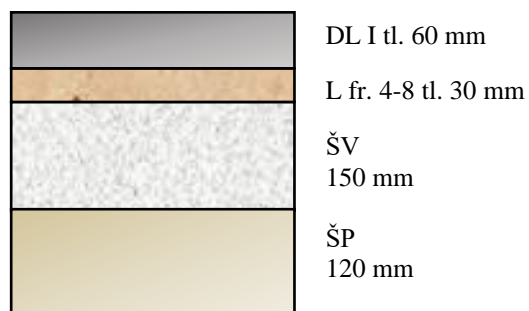
Obr. 9: Cyklostezka Skřípov [9]



### 1.5.2 Cyklostezka Prostějov – Kralice

Tato komunikace tvoří cyklistickou spojnici mezi městem Prostějov a přilehlým městysem Kralice na Hané. Horní pojízdná vrstva je tvořena vícebarevnou betonovou dlažbou odlišující jízdní pruhy. Podkladní vrstvy jsou tvořeny pouze mechanicky zpevněným kamenivem.

Obr. 10: Skladba cyklostezky Prostějov – Kralice [9]



Vrstva vibrovaného štěrku představuje opět možnost návrhu alternativní vrstvy s použitím pojiva Sorfix.

Obr. 11: Cyklostezka Prostějov – Kralice



### 1.5.3 Cyklostezka – Hostivice

Hlavním vzorem a inspirací, z již realizovaných projektů, byla pro tuto práci byla zvolena stavba cyklostezky poblíž města Hostivice, nacházející se ve Středočeském kraji v okrese Praha-západ.

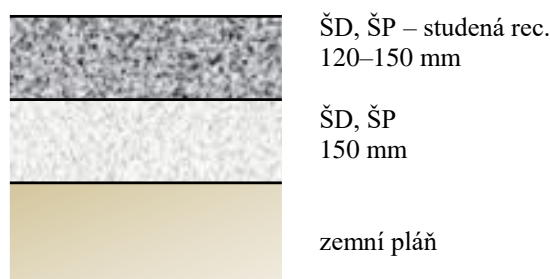
Obr. 12: Poloha cyklostezky v Hostivicích



Skladba této cyklostezky není příliš komplikovaná ani složitá na provedení, skládá se pouze z několika vrstev.

Na urovnanou zemní pláň, byla položena vrstva tvořena štěrkodrtí (ŠD) nebo štěrkopískem (ŠP), dále byla aplikována vrstva stejného typu kameniva, avšak upravena tzv. studenou recyklací. Studená recyklace pracuje na principu promíchání kameniva, v tomto případě ŠD nebo ŠP, s hydraulickým pojivem (cementem) pomocí speciální frézy pro dosažení požadovaných mechanicko-fyzikálních vlastností. Tato vrstva upravena studenou recyklací může, stejně jako v tomto případě, plnit i funkci pojízdné vrstvy.

Obr. 13: Skladba cyklostezky u Hostivic



V praxi se ukázalo použití této skladby jako dostačující, i přesto že nebylo zapotřebí aplikovat další pojízdnou vrstvu nedošlo k žádným komplikacím a cyklostezka vyhovuje požadovaným vlastnostem.

Obr. 14: Cyklostezka v Hostivicích





## 1.6 Požadavky a zkoušky stmelných vrstev

Směsi navrhované v této práci spadají do skupiny směsí stmelných hydraulickými pojivy. Pojivo Sorfix, na bázi sulfátovápenatých popílků, vytvořené dle patentu [7] je taktéž hydraulickým pojivem. Tyto směsi tedy musí splňovat mechanicko-fyzikální vlastnosti stanovené normovými předpisy, a to konkrétně ČSN EN 14 227.

Norma uvádí požadavky na vlastnosti směsí tohoto typu včetně předepsaných zkoušek. Vzhledem k použití strusky namísto běžného plniva byly zkoumány i samotné vlastnosti strusky pomocí několika dalších zkoušek.

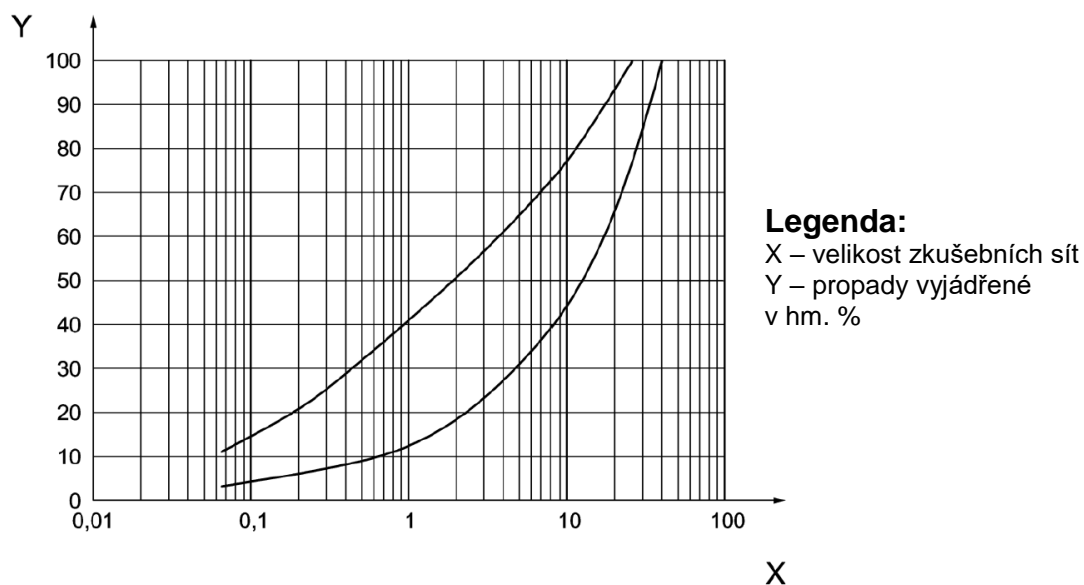
### 1.6.1 Zrnitost strusky a kameniva

Zrnitost, někdy též nazývána granulometrie, by měla být vždy provedena pro všechny materiály vstupující do směsi, neboť může odhalit nevyhovující zastoupení jednotlivých frakcí. Požadavky na tyto materiály se liší v závislosti na velikosti frakce kameniva a musí splňovat požadavky dle normy ČSN EN 13242 [I].

Tab. 2: Přípustné hodnoty propadů na jednotlivých sítích [II]

Síto <sup>NP2)</sup> mm	Propad zrn v % hmotnosti	
	minimum	maximum
40	100	
31,5	85	100
25	75	100
20	65	94
10	44	78
4	26	61
2	18	50
0,5	8	30
0,25	6	22
0,063	3	11

Graf 1: Obor zrnitosti – kamenivo 0/31,5 [III]



Zkouška zrnitosti probíhá pomocí prosévacího přístroje a sady předepsaných sít dle normy ČSN EN 933-1 [III]. Zkouška spočívá v rozdělení materiálu na jednotlivé menší frakce, které se následně zvaží. Tyto hodnoty jsou poté základem pro sestavení křivky zrnitosti.

Postup zkoušky [III]:

- a) Jako první krok provedeme přípravu zkušební navážky testovaného materiálu. Minimální hmotnost navážky musí odpovídat hodnotám uvedeným v Tab. 3. Po navážení se zkušební navážka umístí do sušárny s předepsanou teplotou  $110 \pm 5$  °C. Sušit je třeba do ustálené hmotnosti, která se zaznamená ( $m_1$ ).

Tab. 3: Určení hmotnosti zkušební navážky [II]

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

- b) Vysušený vzorek prosejeme přes několik zkušebních sít abychom předešli poškození nejjemnějšího síta 0,063 mm a důkladně propláchneme vodou. Tímto způsobem se odplaví nejjemnější částice. Propláchnutý vzorek zbavený nejjemnějších částic se opět umístí do sušárny a po vysušení se zaznamená jeho hmotnost ( $m_2$ ).
- c) Suchý vzorek se následně vloží do prosévacího přístroje. Přístroj pomocí vibrační a soustavy normovaných sít, seřazených od největších otvorů v sítích po nejmenší, rozdělí vzorek na jednotlivé frakce.
- d) Po dokončení celého vibračního cyklu se postupně opatrně rozebere soustava sít a hmotnosti jednotlivých zbytků na sítích se zaznamenají ( $R_i$ ).
- e) Síta je nutné důkladně vyčistit, neboť během zkoušky nesmí dojít ke ztrátě vzorku.
- f) Zbytek propadlý nejjemnějším sítem se taktéž zváží a zaznamená ( $P$ )
- g) Pokud  $\sum R_i + P$  je rozdílné o více než 1 % od hmotnosti  $m_2$  zkoušku je třeba opakovat znovu.
- h) Na závěr se hmotnosti jednotlivých frakcí vynesou do grafu – čára zrnitosti

Výpočet procenta jemných částic  $f$  [%] [III]:

$$f = \frac{(m_1 + m_2) + P}{m_1} \times 100$$

- $f$     procento jemných částic [%]  
 $m_1$    hmotnost suché navážky [kg]  
 $m_2$    hmotnost suché navážky po praní [kg]  
 $P$     hmotnost zbytku na dně sestavy [kg]

## 1.6.2 Optimální vlhkost

Vlhkost výsledné směsi je velice důležitým parametrem při její přípravě, neboť může ovlivnit výsledné mechanické vlastnosti směsi. Dalšími komplikacemi vzniklými použitím nevhodného množství vody může být špatná zpracovatelnost přímo na stavbě či nerovnoměrné rozmíchání pojiva v celém objemu směsi. Z těchto důvodů je prováděna Proctorova zkouška dle EN 13286-2 [IV] k zjištění optimální vlhkosti.

Zkouška je vhodná pro směsi s maximální velikostí frakce kameniva 63 mm. Spočívá v určení ideálního poměru mezi vlhkostí a objemovou hmotností vzorku. Vlhkost, při které směr vykazuje nejvyšší objemovou hmotnost je označována jako optimální vlhkost.

Postup zkoušky [IV]:

- a) Na základě frakce kameniva se dle Tab. 4 a Tab. 5 určí typ moždíře. Poté je třeba zvolit typ zkoušky „Standard“ či „Modifikovaná“, a to dle toho, v jaké vrstvě vozovky bude zkoumaný materiál použit. V případě této práce byl zvolen moždíř typu A (struska) a moždíř typu B (kamenivo). U obou variant byla provedena „Modifikovaná“ zkouška.

Tab. 4: Proctorova zkouška – typy moždířů [IV]

Proctorův moždíř	Průměr $d_1$ mm	Výška $h_1$ mm	Tloušťka	
			Stěna $t_w$ mm	Základní deska $t$ mm
A	100,0 ± 1,0	120,0 ± 1,0	7,5 ± 0,5	11,0 ± 0,5
B	150,0 ± 1,0	120,0 ± 1,0	9,0 ± 0,5	14,0 ± 0,5
C	250,0 ± 1,0	200,0 ± 1,0	14,0 ± 0,5	20,0 ± 0,5

Tab. 5: Proctorova zkouška – typy pěchů [IV]

Pěch	Hlavní požadavky		
	Hmotnost pěchu $m_R$ kg	Průměr základu $d_2$ mm	Výška dopadu $h_2$ mm
A	2,50 ± 0,02	50,0 ± 0,5	305 ± 3
B	4,50 ± 0,04	50,0 ± 0,5	457 ± 3
C	15,00 ± 0,04	125,0 ± 0,5	600 ± 3

- b) Zkoumaný materiál se rozdělí tak, aby vznikly alespoň 4 samostatné vzorky a následně se přidá voda. U každého ze 4 vzorků je třeba zvolit jiné množství vody.
- c) Vše se důkladně promíchá.
- d) Následuje výroba zkušebních těles pomocí Proctorova pěchu

Obr. 15: Modifikovaná zkouška [IV]

- Hmotnost pěchu: 4,5 kg
- Pěch padající z výšky: 457 mm
- Počet hutněných vrstev: 5
- Počet úderů v jedné vrstvě: 56
- Moždíř třídy B:  $\varnothing 150 \pm 1$  mm,  $h = 120 \pm 1$  mm o hmotnosti  $m_1$

- e) Moždíř je třeba plnit postupně v 5 vrstvách takovým způsobem, aby udusaný povrch nepřesahoval horní okraj formy o více jak 10 mm.

Obr. 16: Moždíř typu B



- f) Po vyjmutí moždíře z přístroje se horní povrch zarovná dle formy pomocí pravítka a následně se zaznamená hmotnost vzorku i s moždířem  $m_2$
- g) Na závěr se vzorek vysuší v sušárně do ustálené hmotnosti při teplotě  $110 \pm 5$  °C a zaznamená jeho hmotnost  $m_3$
- h) Výsledné hodnoty vyneseme do grafu, na základě výpočtů uvedených níže sestrojíme tzv. křivku zhutnitelnosti a určíme optimální vlhkost.

Výpočet [IV]:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1) \times 1000}{V}$$

$\rho$  objemová hmotnost vlhké směsi [kg/m<sup>3</sup>]

$m_1$  hmotnost moždíře [g]

$m_2$  hmotnost moždíře včetně směsi [g]

$V$  objem moždíře [cm<sup>3</sup>]

$$w = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100 [\%]$$

$w$  vlhkost směsi [%]

$m_4$  hmotnost směsi před vysušením [g]

$m_3$  hmotnost směsi po vysušení [g]

$$\rho_d = \frac{(100 \times \rho)}{(100 + w)}$$

$\rho_d$  objemová hmotnost zhutněné suché směsi [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho$  objemová hmotnost zhutněné vlhké směsi [kg/m<sup>3</sup>]

$w$  vlhkost směsi

### 1.6.3 Pevnost v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku patří mezi nejčastěji prováděné experimenty, v oblasti navrhování směsí, a lze ji označit za zkoušku nezbytnou, neboť na základě této zkoušky klasifikujeme pevnost dané směsi po 28 dnech zrání. Zkušební tělesa jsou vystavena působící síle v lisu po takový časový úsek, dokud tělesa nevykazují viditelné známky poškození. Výsledná pevnost v tlaku se stanoví dle Tab. 6 vycházející z normy ČSN EN 14 227 [II]. Postup samotné zkoušky je přesně specifikován v ČSN EN 13286-41 [VI].

Tab. 6: Určení třídy pevnosti v tlaku [II]

Sloupec	1	2	3
Řádek	Minimální hodnoty $R_c$ pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr 2 <sup>a</sup> MPa	Minimální hodnoty $R_c$ pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr 1 <sup>a</sup> a zkušební tělesa tvaru krychle MPa	Třída $R_c$
1	0,4	0,5	C <sub>0,4/0,5</sub>
2	0,8	1	C <sub>0,8/1</sub>
3	1,5	2	C <sub>1,5/2</sub>
4	2,3	3	C <sub>2,3/3</sub>
5	3	4	C <sub>3/4</sub>
6	4	5	C <sub>4/5</sub>
7	5	6	C <sub>5/6</sub>
8	6	8	C <sub>6/8</sub>
9	8	10	C <sub>8/10</sub>
10	9	12	C <sub>9/12</sub>
11	12	16	C <sub>12/16</sub>
12	15	20	C <sub>15/20</sub>
13	18	24	C <sub>18/24</sub>
14	21	28	C <sub>21/28</sub>
15	24	32	C <sub>24/32</sub>
16	27	36	C <sub>27/36</sub>
17	30	40	C <sub>30/40</sub>
18	33	44	C <sub>33/44</sub>
19	36	48	C <sub>36/48</sub>
20	Deklarovaná hodnota	Deklarovaná hodnota	C <sub>DV</sub>

<sup>a</sup> Pokud se použijí válcová zkušební tělesa se štíhlostním poměrem jiným než 1 nebo 2, musí se před použitím stanovit korelace s válcovými tělesy o štíhlostním poměru 1 nebo 2.

Postup zkoušky [VI]:

- Nejčastěji se pevnost v tlaku určuje po 28 dnech zrání. Po uplynutí této doby se změří rozměry všech zkušebních těles a zaznamená jejich hmotnost.

- b) Dalším krokem je kontrola rovinnosti. Tolerance rovnoběžnosti horní a spodní hrany musí být maximálně 2 mm na 100 mm. Pokud vzorek nevyhoví je třeba jeden z povrchů upravit pomocí tenké sádrové vrstvy či naopak zbrousit.
- c) Takto upravené těleso se na závěr vystaví působení síly v lisu, dokud se těleso neporuší. Zvyšování intenzity působící síly by mělo probíhat takovým způsobem, aby k porušení tělesa došlo v rozmezí 30 – 60 s od zahájení zatěžování.
- d) Výslednou sílu v kN zaznamenáme a pomocí výpočtu uvedeného níže převedeme na hodnotu v MPa.

Výpočet [VI]:

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

$R_c$  pevnost v tlaku [MPa]

$F$  síla při porušení tělesa [N]

$A_c$  plocha průřezu zkušební tělesa [mm<sup>2</sup>]

#### 1.6.4 Objemové změny – bobtnavost

Zkouška objemové změny – bobtnavosti se provádí z důvodu zjištění možného zvětšování objemu zkušební tělesa v průběhu času způsobené přítomností vlhkého prostředí, v kterém se vzorek nachází. Zkoušky některých směsí mohou probíhat až několik měsíců.

Postup zkoušky [VIII]:

- a) Nejprve se vytvoří zkušební těleso pomocí standardní Proctorovi zkoušky [IV], s použitím odpovídajícího moždíře.
- b) Vzorek se vloží do vlhkého prostředí při teplotě  $20 \pm 2$  °C, následně po 3 dnech se začne zaznamenávat změna výšky povrchu zhutněného a zatíženého vzorku zátěжкой.



- c) Změna této výšky se každý den zaznamená. Zkouška probíhá až do té doby, než se deformace ustálí.

Výpočet [VIII]:

$$b_t = \frac{\Delta l_{x,t}}{l_1}$$

$$\Delta l_{x,t} = l_t - l_1$$

- b<sub>t</sub>** součinitel lineárního bobtnání  
**l<sub>t</sub>** původní výška vzorku [mm]  
**l<sub>1</sub>** výška vzorku po uplynutí doby t [mm]

$$B_t = \frac{\Delta V_t}{V_1}$$

- B<sub>t</sub>** součinitel objemového bobtnání  
**ΔV<sub>t</sub>** změna objemu vzorku v čase t [mm<sup>3</sup>]  
**V<sub>1</sub>** počáteční objem vzorku [mm<sup>3</sup>]

### 1.6.5 IBI – okamžitý index únosnosti

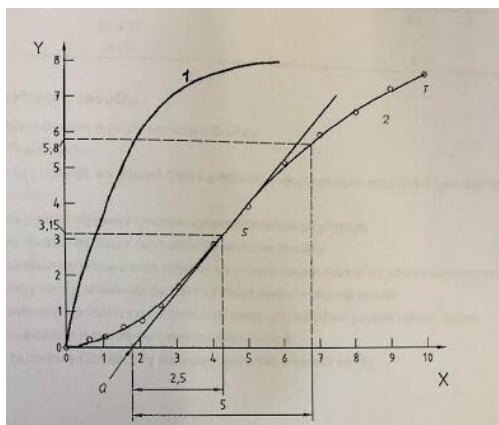
Zkratka „IBI“ – Immediate bearing index, označuje okamžitý index únosnosti sloužící především k rychlému posouzení únosnosti dané směsi či zeminy. Zkouška je velice podobná průběhu zkoušky CBR – kalifornský poměr únosnosti a vychází taktéž z normy ČSN EN 13286-47 [IX].

Postup zkoušky [IX]:

- a) Prvním krokem je vytvoření zkušebního tělesa pomocí standardní Proctorovi zkoušky [IV], s použitím moždíře včetně prodlužovacího nástavce a distanční desky.

- b) Po zarovnání tělesa pomocí pravítka s horním okrajem formy se odstraní distanční deska.
- c) Následně se distanční deska připevní na původní horní část formy, tak aby spodní část byla viditelná a připravena ke zkoušce a umístí se do zkušebního zařízení.
- d) Na zkušebním zařízení musí být nastavena hodnota dosedací síly, která se stanoví dle přibližné předpokládané hodnoty CBR/IBI.
- e) Dále musí přírůstek penetrace odpovídat hodnotě přibližně 1,27 mm/min.
- f) Po každém přírůstku penetrace 0,5 mm se zaznamená hodnota síly odečtená ze zkušebního zařízení. Zaznamenají se všechny hodnoty sil (kN) až do penetrace 10 mm.
- g) Následuje vyjmutí vzorku z formy a odebrání části materiálu k zjištění průměrné vlhkosti. Hmotnost vzorku k určení průměrné vlhkosti nesmí být nižší než 100 g pro jemnozrnné směsi a 500 g pro směsi hrubozrnné.
- h) Na závěr vyneseme všechny hodnoty penetrace a sil do grafu viz Obr. 12 níže.
- i) Hodnoty sil pro penetrace 2,5 mm a 5 mm se vyjádří v procentech referenčních sil pro tyto penetrace tj. 13,2 kN a 20 kN. Vyšší procento je poté výslednou hodnotou IBI.

Obr. 17: Určení výsledného IBI [IX]



**Legenda:**

X – potřebná síla (kN)  
Y – penetrace trnu (mm)

----- **Konec zveřejněné části** -----

## Použitá literatura

- [1] ZAJÍČEK, Jan. Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro vrstvy vozovek [online]. 2008 [cit. 2017-05-10]
- [2] Struska. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Struska>
- [3] MIHALÍK, Jan. Výroba surového železa [online]. 2012 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2472503/release/woothee>. Prezentace k výuce.
- [4] POLÁK, Marek. Směsi stmelené hydraulickými pojivy na bázi sulfátovápenných popílků pro pozemní komunikaci. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.
- [5] Struska [online]. Praha: SILO TRANSPORT, 2018 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.silotransport.cz/struska>
- [6] KUBINEC, Jiří. Využití druhotných materiálů pro silniční stavitelství. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [7] ŠKVÁRA, František, Rostislav ŠULC a Roman SNOB. Způsob přípravy bezslínkového hydraulického pojiva. 2017. Uděleno 28.12.2016. Zapsáno 08.02.2017.
- [8] Světová počítadla cyklistů – The world's bicycle counters. [Http://brnonakole.cz](http://brnonakole.cz) [online]. Brno, 2015 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <http://brnonakole.cz/worlds-bicycle-counters/>
- [9] MARTINEK, Jaroslav. Principy a metody rozvoje cyklistické dopravy a infrastruktury. Praha: Centrum dopravního výzkumu, 2011. ISBN 978-80-86502-26-7.
- [10] ŠKODA, Petr. Cementobetonový kryt pro účelové komunikace [online]. Horní Planá: Vojenské lesy a statky ČR, s.p., 2017 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared->

prod/betonovevozovky.cz/uploads/2018/02/Prezentace-Eurovia-S%CC%8Ckoda-Cyklisticke%CC%81-stezky.pdf

- [11] <https://en.mapy.cz/s/3fwKL>
- [12] TEYSSLER, Jiří. Spalování Popelnatých Hnědých Uhlí. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988.
- [13] FEČKO, Peter a Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Institut environmentálního inženýrství. Popílký. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003.
- [14] BENSCHIEDT, N., R. HELA a Asociace pro využití energetických produktů. Příručka Popílek V Betonu: Příručka: Základy Výroby a Použití. 2.přepřac. vyd. Hostivice: ČEZ Energetické produkty vydává pro ASVEP, 2013.
- [15] FEČKO, Peter. Fly Ash. Ostrava: VŠB, 2005

## Normy

- [I] ČSN EN 13242 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace
- [II] ČSN EN 14 227-5 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 5: Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivy
- [III] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor
- [IV] 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
- [V] ČSN 73 6114 Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování
- [VI] ČSN EN 13286-41 Nestmelené a hydraulicky stmelené směsi – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti hydraulicky stmelených směsí v tlaku
- [VII] ČSN 73 6124-1 Stavba vozovek – Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy – Část 1: Provádění a kontrola shody
- [VIII] TP 93 Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelu
- [IX] ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání

## Seznam grafů

Graf 1: Obor zrnitosti – kamenivo 0/31,5 [II].....	26
--	----

## Seznam obrázků

Obr. 1: Ternární diagram strusky [2] .....	10
Obr. 2: Vysoká pec [3] .....	11
Obr. 3: Cyklostezka v Pardubicích .....	15
Obr. 4: Vzorové skladby – asfaltové kryty [9].....	17
Obr. 5: Skladby vhodné pro cyklostezky [9] .....	18
Obr. 6: Vzorové skladby – dlážděné kryty [9].....	19
Obr. 7: Cementobetonový kryt [10].....	20
Obr. 8: Skladba zpevněné polní cesty Skřípov [9].....	22
Obr. 9: Cyklostezka Skřípov [9] .....	22
Obr. 10: Skladba cyklostezky Prostějov – Kralice [9].....	23
Obr. 11: Cyklostezka Prostějov – Kralice.....	23
Obr. 12: Poloha cyklostezky v Hostivicích.....	23
Obr. 13: Skladba cyklostezky u Hostovic .....	24
Obr. 14: Cyklostezka v Hostivicích .....	24
Obr. 15: Modifikovaná zkouška [IV].....	29
Obr. 16: Moždír typu B.....	29
Obr. 17: Určení výsledného IBI [IX] .....	34

## Seznam tabulek

Tab. 1: Použitelnost vedlejších energetických produktů [6].....	14
Tab. 2: Přípustné hodnoty propadů na jednotlivých sítích [II].....	25
Tab. 3: Určení hmotnosti zkušební navážky [II].....	26
Tab. 4: Proctorova zkouška – typy moždířů [IV] .....	28
Tab. 5: Proctorova zkouška – typy pěchů [IV] .....	28
Tab. 6: Určení třídy pevnosti v tlaku [II] .....	31