

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnických technologií a staveb



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Možnosti využití struskového kameniva ve vozovkách lesních
cest na Ostravsku**

Diplomová práce

Autor: Bc. Adam Trefil

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.

2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Adam Trefil
Studijní program:	Lesní inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.
Garantující pracoviště:	Katedra lesnických technologií a staveb
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Možnosti využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest na Ostravsku
Název anglicky:	Possibilities of using slag aggregates in forest road pavements in the Ostrava region
Cíle práce:	Ostravsko je v rámci ČR centrem hutního průmyslu. Druhotným produktem je struska, která v některých případech může nahradit přírodní kamenivo ve vozovkách pozemních komunikací. V minulosti se v této oblasti používala také do vozovek lesních cest. Cílem práce je zhodnocení současných možností jejího využití zejména při rekonstrukci lesních cest. Budou posuzovány aspekty finanční, environmentální a technické.
Metodika:	<ol style="list-style-type: none">1) Identifikujte nejméně 5 úseků lesních cest s vyčerpanou životností vozovky.2) Zajištěte archivní údaje k daným úsekům (projektové dokumentace, zatížení vozovky dopravou, opravy, údržba apod.).3) Zpracujte rešerši informací o podobných projektech publikovaných ve vědecké literatuře.4) Proveďte terénní průzkum - popis úseků, měření únosnosti vozovky a stavu kameniva ve vozovce.5) Podle získaných informací navrhnete rekonstrukci uvedených úseků lesních cest nejméně ve dvou variantách: za použití přírodního kameniva a za použití struskového kameniva a zpracujte položkové rozpočty stavebních prací.6) Porovnejte cenu za rekonstrukci, požadavky na zajištění dokladů o použitých stavebních materiálech a požadavky na vybavení dodavatele stavebních prací stavebními stroji. <p>Harmonogram: Srpen 2022 - rešerše, identifikace vhodných úseků. Září až prosinec 2022 - terénní a archivní průzkumy, laboratorní práce. Ledna 2023 - předložení literární rešerše a výsledků průzkumných a laboratorních prací ke kontrole. Březen 2023 - předložení zhodnocení získaných výsledků a diskuze závěrečné práce.</p>
Doporučený rozsah práce:	min. 40 normostran textu bez příloh
Klíčová slova:	lesní cesta; vozovka; struskové kamenivo; rekonstrukce
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none">1. BUZATU T., TALPOS E., PETRESCU M. I., GHICA V. G., IACOB G., BUZATU M. -- Utilization of granulated lead slag as a structural material in roads constructions. <i>Journal of Material Cycles and Waste Management</i>. Volume 17 (2015), 707-717. https://doi.org/10.1007/s10163-014-0297-z2. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 736108 : lesní dopravní síť. Praha: Český normalizační institut, 1996.3. DONDI G., MAZZOTTA F., LANTIERI C., CUPPI F., VIGNALI V., SANGIOVANNI C. Use of Steel Slag as an Alternative to Aggregate and Filler in Road Pavements. <i>Materials</i>. Vol. 14 (2021), No. 2, 345; https://doi.org/10.3390/ma140203454. HANÁK, Karel; NACIOLNAL'NYJ UNĪVERSITYT "ČERNŪHĪVS'KA POLĪTECHNĪKA". <i>Stavby pro plnění funkcí lesa</i>. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-76-4.5. KRAVUSHKINA K., PRENTKOVSKIS O., BIELIATYNSKYI A., JANEVIČIUS R. -- Use of steel slags in automobile road construction. <i>Transport</i>: Vol. 27 (2012), No. 2. 129-137. https://doi.org/10.3846/16484142.2012.6900936. PRIBULOVA A., FUTAS P., BARICOVA D. -- Processing and utilization of metallurgical slags. <i>Production Engineering Archives</i> Vol. 11, No. 2 (2016), pp. 2-5. ISSN 2353-77797. <i>Recycling Strategies for Road Works</i>, OECD, ROAD RESEARCH. Paris, 1997. ISBN: 92641546128. TP 138 - Užití struskového kameniva do pozemních komunikací. Technické podmínky MD ČR. 2011 - Dostupné [2022-05-01] na http://www.pjpk.cz/technicke-podminky-tp/9. ZLATUŠKA, Karel; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA LESNICKÝCH TECHNOLOGIÍ A STAVEB. <i>Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě</i>. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-556-2.
Předběžný termín obhajoby:	2022/23 LS - FLD

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Možnosti využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest na Ostravsku vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou velice poděkoval svému vedoucímu práce panu doc. Ing. Karlu Zlatuškoví, CSc. Největší poděkování patří rodině za vytrvalou podporu a trpělivost v průběhu mého studia.

Možnosti využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest na Ostravsku

Souhrn

Ostravsko je v rámci České republiky centrem hutního průmyslu. Druhotným produktem je struska, která v některých případech může nahradit přírodní kamenivo ve vozovkách pozemních komunikací. V minulosti se v této oblasti používala také do vozovek lesních cest. Cílem práce je zhodnocení současných možností jejího využití zejména při rekonstrukci lesních cest. Budou posuzovány aspekty finanční, environmentální a technické.

Klíčová slova: lesní cesty, vozovka, struskové kamenivo, rekonstrukce

Possibilities of using slag aggregates in forest road pavements in the Ostrava region

Summary

The Ostrava region is the centre of the metallurgical industry in the Czech Republic. The secondary product is slag, which in some cases can replace natural aggregate in road pavements. In the past, it was also used in forest road pavements in this area. The aim of this work is to evaluate the current possibilities of its use, especially in the reconstruction of forest roads. Financial, environmental and technical aspects will be considered.

Keywords: forest roads, roadway, slag aggregate, reconstruction

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Cíle práce	9
3. Literární přehled současného stavu řešené problematiky	10
3.1 Využití strusky v praxi.....	10
3.2 Nakládání s odpady	11
3.3 Lesní cesta	12
3.3.1 Význam lesních cest pro lesní hospodářství	13
3.3.2 Dělení lesních cest.....	13
3.4 Popis kategorií lesních cest	13
3.5 Struskové kamenivo	16
3.5.1 Vymezení pojmu "struskové kamenivo"	16
3.5.2 Problémy s tradičními materiály ve vozovkách	17
3.6 Kamenivo	18
3.6.1 Rozdělení kameniva	18
3.6.2 Metalurgická terminologie	19
3.7 Výhody použití struskového kameniva ve vozovkách.....	20
3.8 Využití struskového kameniva v silničním stavitelství	21
3.9 Vlastnosti struskového kameniva.....	23
3.9.1 Fyzikální vlastnosti	24
3.9.2 Chemické vlastnosti	24
3.9.3 Nestmelené podkladní vrstvy dle ČSN	25
3.10 Způsob vyhodnocení environmentálních údajů o struskovém kamenivu	25
4. Metodika	27
4.1 Výběr a popis lokalit	27
4.2 Popis vozovky na lokalitě	27
4.3 Geodetické zaměření	27
4.4 Rozbory vzorků kameniva.....	28
4.4.1 Odběr vzorků.....	28
4.4.2 Zrnitostní rozbor.....	29
4.5 Únosnost vozovky	30
4.5.1 Provedení rázové zkoušky pomocí lehké dynamické desky	30
4.6 Zjištění technických, environmentálních a ekonomických údajů o struskovém kameniva a o přírodním kamenivu	33
4.7 Způsob náhrady přírodního kameniva struskovým kamenivem v lesních cestách ..	35

4.8	Vyhodnocení environmentálních údajů	36
4.9	Srovnání struskového kameniva s tradičními materiály	36
5.	Výsledky	37
5.1.1	Porovnání výsledků zrnitosti s požadavky ČSN	37
5.1.2	Přepočet výsledků na statický modul přetvárnosti a porovnání výsledků s požadavky ČSN pro únosnost vozovky.....	38
5.2	Rozpočty rekonstrukcí.....	40
5.2.1	Porovnání cen všech úseků	45
6.	Diskuse.....	46
7.	Závěr	47
8.	Bibliografie	48
8.1	Ostatní zdroje a použité zákony, vyhlášky a normy	50
8.2	Seznam obrázků	51
8.3	Seznam tabulek a grafů	51
9.	Přílohy.....	52

1. Úvod

Tato práce se zabývá využitím druhotného produktu při výrobě surového železa ve vysokých pecích na Ostravsku. Ostravsko je v rámci České republiky centrem hutního průmyslu.

Druhotným produktem v hutích je struska, která v některých případech může nahradit přírodní kamenivo ve vozkách pozemních komunikací. Do budoucna by se mělo myslet na to, že drcený kámen bude finančně nedostupný a bude jej nedostatek. Struska je tvořena zplodinami reakcí mezi dmýchaným vápnem a hořčíkem a prvky obsaženými v surovém železe, dále zbytky vysokopecní strusky a surového železa.

Struska ve vysoké peci při výrobě surového železa na sebe naváže veškeré neželezné části železné rudy. Je tvořena odpadní taveninou s různými prvky např. vápnem, hořčíkem a manganem.

Pro zachování přírodních zdrojů pro budoucnost je potřeba využívání vedlejších produktů z průmyslových procesů. Pomůže to snižovat finance na jejich ukládání na skládky a využít je vhodným způsobem s vyšší přidanou hodnotou.

2. Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení současných možností využití struskového kameniva zejména při rekonstrukci lesních cest.

Budou posuzovány aspekty environmentální a technické.

Bude provedena analýza vlastností struskového kameniva a zhodnocení jeho vhodnosti pro rekonstrukci lesních cest.

Bude porovnávána cena za rekonstrukci při použití přírodního kameniva a při použití struskového kameniva.

3. Literární přehled současného stavu řešené problematiky

3.1 Využití strusky v praxi

Struskové kamenivo nabízí široké možnosti využití ve vozovkách lesních cest. Díky svým fyzikálním vlastnostem, jako je vysoká nosnost a odolnost proti obrušování, je vhodné pro použití na těžkých pracovních cestách. Má také schopnost absorbovat vodu a minimalizovat tvorbu bláta. Chemické vlastnosti struskového kameniva zase přispívají k jeho dlouhodobému zachování a pevnosti. Má dobré mechanické vlastnosti, jako je například schopnost nalézání nerovností terénu a zajišťuje vhodný stabilní povrch vozovek. Kvůli těmto vlastnostem je možné struskové kamenivo efektivně využít při stavbě a údržbě lesních cest, což přispívá ke zlepšení jejich kvality a trvanlivosti. (BUZATU T., 2015)

Při zpracování materiálů vznikají odpady, které je možné dále využít. Vysoké množství zpracovávaných zdrojů vyvolává neustálý tlak na životní prostředí. Ekonomický rozvoj je schopný uspokojit současné potřeby, aniž by byly ohroženy potřeby budoucí generace. K dosažení tohoto cíle je nutné prosazovat komplexnější výsledky kapitalizace odpadů v průmyslových procesech. (Li, 2022)

Použití druhotného kameniva při stavbě silnic může nahradit písek a přírodní kamenivo, jehož těžba ovlivňuje jak biodiverzitu, tak zásoby nerostných surovin. Použití druhotného kameniva při stavbě silnic nabízí možnost snížit množství tohoto odpadu a spotřebovanou plochu půdy pro jeho uložení. Olověná struska může být zhodnocena buď získáváním olova nebo přímým použitím strusky jako materiálu pro stavbu silnic. (Mbiyana, 2023) (BUZATU T., 2015)

Stavba a zejména rekonstrukce a opravy komunikací vyžadují značný rozvoj průmyslu zpracování kamenných materiálů. Rostoucí potřeba kamenných materiálů může být uspokojena širokým využitím průmyslového odpadu a druhotných zdrojů. Při stavbě lesních cest je struska železné a neželezné metalurgie jedním z nejoblíbenějších odpadů, které se každým rokem stále více používají. (Lopes, 2023) (Erber, 2021)

Nahromadění značného množství druhotných materiálů ve formě struskového kameniva a nutnost využití této strusky vyústily v řadu prací, které hledaly možnosti využití této strusky pro stavbu silnic. Pro určité vlastnosti (chemická, mineralogická struktura a mrazuvzdornost) je struska cennou surovinou pro přípravu makadamových materiálů a minerálních pojiv sloužících jako základ pro asfaltobetonové směsi a výrobu cementových emulzí, které jsou široce používány v silničním provozu. Cement, drcené materiály a minerální prášek vyžadují při výrobě značné materiálové a energetické zdroje. (DONDI G., 2014)

Struskové kamenivo z ocelové strusky je 100% recyklovaný a konstruovaný produkt s velkým potenciálem jako náhrada přirozeně se vyskytujícího kameniva. Většina projektů, zahrnujících kamenivo z ocelové strusky začleňovala, tento typ materiálu do méně kvalitních typů kameniva. Kamenivo z ocelářské strusky vykazuje vyšší poréznost, vynikající přilnavost k pojivu, díky své povrchové struktuře a chemickému obsahu. Kontinuita pórů v kamenivu ocelové strusky může zlepšit propustnost vody v asfaltových směsích a zlepšit odolnost proti smyku a aquaplaningu. (DONDI G., 2014)

Tyto vlastnosti mohou zlepšit vlastnosti asfaltových směsí a úroveň bezpečnosti silničního provozu. Provedené studie také naznačovaly, že asfaltové směsi obsahující kamenivo z ocelářské strusky mohou také zlepšit odolnost proti vyježdění a praskání. Z ekonomického hlediska může využití ocelářské strusky jako kameniva pro stavbu silnic snížit náklady na těžbu a zpracování přirozeně se vyskytujícího kameniva. (Grajewski, 2023)

Ocelářský průmysl může také snížit náklady na zpracování likvidaci velkého množství zásob ocelářské strusky. S prodlužující se životností vozovky by se mohly snížit i náklady na údržbu, a tím poskytnout více prostředků na další rozvojové projekty. Z hlediska vlivu na ochranu životního prostředí může využití kameniva ocelářské strusky různými způsoby přímo snížit jak závislost na přírodním kamenivu, tak počet projektů těžby surovin. (DONDI G., 2014)

3.2 Nakládání s odpady

Odpady, které vznikly a nelze jim při výrobě jinak zabránit, mohou být využity, případně odstraněny způsobem, který neohrožuje lidské zdraví a životní prostředí v souladu se zákonem. Recyklace odpadů má přednost před jiným využitím odpadů (spálením).

Před použitím recyklátu musí být předepsaným zákonem prokázáno, že nemá nebezpečné vlastnosti, které jsou uvedeny v zákoně a zároveň takové, které by mohly ohrozit zdraví a životní prostředí (neobsahuje nežádoucí organické a minerální látky). Recyklát také nesmí obsahovat látky, které působením klimatických vlivů mění svůj objem, pevnost a tvar.

(Zákon č. 541/2020 Sb.) o odpadech, ve znění pozdějších předpisů) (Jana, 2019)

3.3 Lesní cesta

Lesní dopravní síť je nezbytným prostředkem pro efektivní hospodaření v lesích. Lesní cesty, které jsou budované v lesních porostech, slouží pro fungování lesního hospodářství. Tyto cesty umožňují odvoz vytěženého dříví, dopravu materiálů, přesun těžebních strojů a lesnického personálu. Lesní cesty také slouží pro průjezd vozidel integrovaného záchranného systému a rekreaci. Dále lesní cesty můžou být využívány k turistickým a jiným veřejným účelům, jakou jsou například lesní stezky a lesní pěšiny. (Jaroslav, 2018) (Hanák, 2008)

Silnice, které procházejí lesem se nepovažují za součást lesa. Na lesní cesty se zpravidla vztahuje lesní zákon. Některé lesní cesty patří přímo vlastníkovi lesa, některé patří jiným vlastníkům. Podle aktuálně platné normy ČSN 73 6108:2016, vyhláška č. 239/2017Sb. dosavadní lesní cesty 3. třídy přejmenovala na lesní svážnice. Lesní cesty 4. třídy norma přejmenovala na technologické linky, čímž došlo k významnému zúžení pojmu lesní cesta. (Jaroslav, 2018) (Fazekas, 2021)



Obrázek 1 Lesní cesta, zdroj: Adam Trefil

3.3.1 Význam lesních cest pro lesní hospodářství

Lesní cesty mají klíčový význam pro lesní hospodářství z několika důvodů. Jedním z hlavních faktorů je usnadnění přístupu k lesním porostům a lesním zdrojům, což umožňuje efektivnější lesnickou činnost. Lesníci mohou pomocí těchto cest snadno dovézt těžební nástroje, materiály a techniku k místu práce a zpět, což šetří čas a náklady.

Dále umožňují přístup k určitým lokalitám pro lesnický dohled a monitoring. Tyto cesty také slouží ke kontrole a prevenci lesních požárů a zajišťují tak bezpečnost lesních porostů.

V neposlední řadě také uchovávají rekreační hodnotu lesů tím, že umožňují návštěvníkům bezproblémový přístup do lesních porostů a využití lesního prostředí pro různé outdoorové aktivity.

3.3.2 Dělení lesních cest

Lesní dopravní síť je rozdělena na:

Lesní cesty – cesty slouží pro dostupnost do lesních porostů a pro dopravu dříví pomocí odvozních souprav, nejčastěji tahač s návěsem.

- Označení 1L – lesní cesty pro celoroční provoz
- Označení 2L – lesní cesty pro sezónní provoz

Ostatní cesty pro lesní dopravu – slouží pro přesun dříví z lesních porostů k odvoznímu místu. Dříví se dopravuje pomocí traktorů – vlečením nebo pomocí vyvážecích souprav – vezením. Dle legislativy se nejedná o cesty.

- Označení 3L – lesní svážnice
- Označení 4L – technologické linky

3.4 Popis kategorií lesních cest

Lesní cesty pro celoroční provoz (1L)

Jedná se o hlavní odvozní cesty, které poskytují celoroční provoz, díky svému prostorovému uspořádání a technickou vybaveností. Pro využívání celoročního provozu je potřeba zimní údržba. Cesty jsou opatřené vozovkou z různých stavebních materiálů. Cesty 1L jsou opatřeny podélným i příčným odvodněním, propustky anebo opěrnou zdí. Díky tomu mají nejvyšší technickou vybavenost.

V současné době má většina lesních cest 1L kryt z penetračního makadamu, který se postupně nahrazuje krytem z hutněných asfaltových vrstev (asfaltový beton). Tyto povrchy mají vyšší pořizovací cenu. Jsou vhodné pro zimní údržbu – odklizení sněhu až na vlastní kryt, případně pro chemickou údržbu. Současně je velké množství lesních cest 1L s krytem z nestmelených směsí kameniva (mechanicky zpevněné kamenivo, vibrovaný štěrk, štěrkodeř). Tyto povrchy mají nižší pořizovací cenu a jsou vhodné pro zimní údržbu – odklizení sněhu s ponecháním malé vrstvy sněhu kryté posypem kameniva. (Jaroslav, 2018)

Lesní cesty 1L mají kompletní technické vybavení:

- mají výhybny v potřebném počtu
- jsou vybudovaná obratiště
- jsou dostatečně vybaveny lesními sklady (převažující nad lesními skládkami)
- mají vyřešeny rozhledy v trase i na sjezdech a na samostatných sjezdech
- mají požadovaným způsobem zpevněny sjezdy a samostatné sjezdy
- jsou v potřebném rozsahu opatřeny odvodňovacími zařízení
- nejsou vybaveny brody a neuvažuje se pro ně s přeléváním vody přes vozovku (oboje brání celoročnímu využívání lesní cesty). (doc. Ing. Karel Zlatuška, 2020)

Lesní cesty pro sezónní provoz (2L)

Jsou to cesty umožňující průjezd odvozních souprav za příznivých klimatických podmínek. Současně s lesními cestami 1L tvoří cestní síť komunikací, po kterých se mohou pohybovat odvozní soupravy. Povrch cesty je podle únosnosti podloží opatřen jednoduchou vozovkou s prašným povrchem nebo provozním zpevněním. Na únosných podložích mohou být cesty 2L budovány bez zpevnění a nazývány jako zemní. (Jaroslav, 2018)

Lesní cesty 2L se používají pouze sezónně, tj. v klimaticky výhodných obdobích, obvykle přes léto nebo při zámrazu bez sněhové pokrývky. Zimní údržba se nepředpokládá a na jaře i na podzim při zvýšené vlhkosti zemního tělesa by měly být lesní cesty 2L uzavřeny pro veškerou lesní dopravu. Oproti 1L nemusí mít 2L vozovku v případě, že podloží je dostatečně únosné a stabilní i při zvýšené vlhkosti. U cest 2L se zpravidla buduje podélné i příčné odvodnění. (Jaroslav, 2018)

Z vozovek 2L převažují vozovky s krytem z nestmelených směsí kameniva (mechanicky zpevněné kamenivo, vibrovaný štěrk, štěrkokodrt) pro jejich nižší pořizovací cenu a jednodušší údržbu. Vozovky s krytem ze stmelených vrstev nebo ze silničních panelů se navrhuje pouze v úsecích s problematickým vodním režimem v podloží nebo na místech s potřebou zpevněného povrchu (např. u objektů pro návštěvníky lesa, u objektů pro provoz myslivosti apod. a v místě připojení na pozemní komunikaci vyššího řádu). Vzhledem k provozu odvozních souprav po 2L je nezbytné zajištění nosnosti povrchu lesní cesty. Z toho plyne i požadavek na únosnosti na pláni podle ČSN 73 6108 (Edef; $2 \geq 30$ MPa). Na základě tohoto kritéria a na základě vodního režimu podloží v trase 2L se rozhoduje, zda bude cesta s vozovkou nebo bez vozovky, (za lesní cestu bez vozovky se považuje i lesní cesta s úpravou podloží tzv. provozním zpevněním). (Jaroslav, 2018)

Lesní cesty 2L mají pouze účinné a účelné (nezbytné) technické vybavení:

- mají výhybny v potřebném počtu,
- v případě potřeby mají vybudovaná obratiště,
- mají dostatečné prostorové možnosti pro umístování lesních skládek (převažujících nad lesními sklady),
- mají vyřešeny rozhledy v trase i na sjezdech a na samostatných sjezdech,
- mají požadovaným způsobem zpevněny sjezdy a samostatné sjezdy,
- jsou v nezbytném rozsahu opatřeny odvodňovacími zařízení,
- mohou být vybaveny brody a připouští se pro ně přelévání vody přes vozovku. (doc. Ing. Karel Zlatuška, 2020)

Trasy pro lesní dopravu

Lesní svážnice (3L)

Jedná se o upravené trasy, které slouží k soustředování dříví. Cesty jsou sjízdné pro traktory, speciální vyvážecí traktory a přibližovací prostředky. Omezujícím faktorem je podélný sklon, únosnost podložních zemin a jejich náchylnost k erozi. Povrch bývá nezpevněný, v ojedinělých případech je opatřen provozním zpevněním. Vždy jednopruhová dopravní trasa pro produkční funkce lesa. Vytvářející dopravní spojení uvnitř lesů, zpravidla spojuje technologické linky (4L) s odvozními cestami (1L a 2L). Vozovka se nenavrhuje; povrch lesní svážnice může být opatřen provozním zpevněním nebo úpravou podložních zemin podle ČSN 73 6133 v celé délce nebo v určitém místě, anebo může být zcela bez úpravy. (Jaroslav, 2018)

Lesní svážnice by měly být opatřeny základním podélným a příčným odvodněním zemního tělesa. Na nezpevněných lesních svážnicích nesmí podélný sklon jízdního pásu překročit 10 % na nesoudržných zeminách; u soudržných zemin jen 8 %. Úseky s větším podélným sklonem je nutno upravit jako zpevněné lesní svážnice a zřídit podélné a příčné odvodnění. V takovém případě je největší výsledný podélný sklon 16 %. Lesní svážnice nejsou považovány za účelové komunikace podle příslušného předpisu. (Jaroslav, 2018)

Technologické linky (4L)

Mezi technologické linky patří krátkodobé trasy, které se využívají k soustředování dříví z porostu pomocí mechanických prostředků schopných pohybu v neupraveném terénu. Jsou zpravidla dočasné; budují se operativně v návaznosti na rozsah a způsob výchovných a těžebních zásahů v lesním porostu. Technologické linky jsou vedeny nejčastěji po spádnici. Zemní těleso se upravuje jen ve výjimečných případech. Povrch je vždy nezpevněný, neodstraňuje se ani svrchní organická vrstva.

Trasy lanovkových jeřábů se jako technologické linky neoznačují. Povrch je vždy nezpevněný, zpravidla se neodstraňuje ani vrchní organická vrstva. Zemní práce se provádějí jen ve výjimečných případech. Šířka technologické linky je minimálně 2,0 m; jsou bez technické vybavenosti anebo jen s minimální technickou vybaveností (např. odvodnění). Výhybny se nenavrhují. (Jaroslav, 2018)

3.5 Struskové kamenivo

S pojmem struskové kamenivo nebo s 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. Bavíme-li se však o struskovém kamenivu využívaného ve stavebnictví, jde v naprosté většině případů o vysokopeční strusku, která vznikla lidskou činností. Nejčastěji se jedná o vedlejší produkt průmyslových procesů, jako je spalování pevných paliv či tavení kovů při výrobě surového železa. (Polák, 2019)

3.5.1 Vymezení pojmu "struskové kamenivo"

Název "vysokopeční struska" označuje specifický typ umělé kamenné hmoty. Objevují se jako vedlejší produkt při výrobě vysokopeční taveniny kovů – odtud společný název. Odpadní hornina je tavena s tavidly obsaženými ve vsázce, a tak vznikají struskové produkty.

Struskové kamenivo je druh materiálu, který vzniká při průmyslovém zpracování surového železa a oceli. Jedná se o odpadní produkt, který vzniká ve formě taveniny, které jsou zbytky po tavení surovin. Struskové kamenivo je obvykle černé nebo tmavě šedé a obsahuje různé minerály a materiály, jako je železo, oxidy, křemen, vápník a další.

Toto kamenivo má různé frakce a může mít různou velikost zrn. Je to materiál s vysokou pevností a odolností a využívá se v různých odvětvích stavebnictví. V kontextu vozovek lesních cest je struskové kamenivo potenciálním materiálem, který může být použit jako součást konstrukce vozovky. (Pavel, 2024) (Kateřina, 2021)

3.5.2 Problémy s tradičními materiály ve vozovkách

Tradiční materiály ve vozovkách lesních cest často přinášejí různé problémy a omezení. Například použití šterku může vést k častým opravám, protože šterkový povrch je náchylný ke vzniku jamek, výmolů a vyplavování. Navíc šterková vozovka může být pro uživatele lesních cest kluzká, zejména při deštivém počasí. Asfaltové vozovky jsou sice odolné vůči poškození a mají lepší přilnavost, ale stavba asfaltové vozovky je časově i finančně náročná. Dalším problémem je povaha betonové vozovky, která je křehká a lámavá, což omezuje její použití v lesních prostředích. Tyto problémy a omezení ukazují, že je třeba najít alternativní materiál pro lesní cesty, který by přinášel efektivnější a udržitelnější řešení. (Grassinger, 2022)



Obrázek 2 Struskové kamenivo, zdroj: Adam Trefil

3.6 Kamenivo

Kamenivo je materiál používaný ve stavebnictví a jiných odvětvích pro různé účely. Jedná se o pevné, převážně nerostné částice, které se vyskytují v různých velikostech, od jemného prachu po větší kameny. Kamenivo slouží jako součást betonu, asfaltu a dalších stavebních směsí, a také jako základní materiál pro stavbu komunikací, podlah, zámků a dalších konstrukcí. Jeho vlastnosti, druhy a použití jsou blíže specifikovány v následujících sekcích. (Pavel, 2024)

Je to sypký anorganický, přírodní nebo umělý materiál s velikostí zrn do 125 mm, který je určený pro stavební účely. Kamenivo je technologicky zpracována hornina, která je jednotlivě zařazována podle velikosti zrn do frakcí. Kamenivo se nejčastěji používá ve stavebnictví jako konstrukční prvek do vozovek, těles násypů, k budování odvodnění a jako plnivo betonu.

V dnešní době je kladen důraz na využívání recyklovaného kameniva. Kamenivo rozlišujeme podle původu, objemové hmotnosti, vzniku zrn a velikosti. (Bureš, 2023)

3.6.1 Rozdělení kameniva

- **Rozdělujeme kamenivo podle původu:**
 - přírodní (těží se z přírodních ložisek, z naplavenin a z horských sutí, nebo se získává drcením kusového kamene)
 - umělé (získáváme z průmyslového nebo stavebního odpadu např. strusku, dále z energetických závodů používáme popílek a škváru).

- **Podle objemové hmotnosti rozdělujeme kamenivo:**
 - hutné (objemová hmotnost je větší než $1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 - pórovité (objemová hmotnost je menší než $1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

- **Podle vzniku zrn rozdělujeme hutné kamenivo:**
 - těžené (vzniklo přirozeným rozpadem horniny, povrch zrn je zaoblený přirozeným způsobem)
 - těžené předrcené (získáváme drcením zrn na požadovanou velikost, takové oblázky činí 40 až 80 % hmotnosti kameniva)
 - těžené drcené (získáváme drcením velkých valounů a oblázků, obsahuje nejvýše 20 % nedrcených zrn z celkové hmotnosti kameniva).

- **Podle velikosti zrn rozdělujeme kamenivo na:**
- drobné (kamenivo o zrnech velikosti do 4 mm)
- hrubé (obsahuje zrna větší než 4, a menší než 125 mm)
- šterkopísek (je směs drobného a hrubého kameniva)
- šterkodrt' (je směs drobného a hrubého drceného kameniva)
- vysívka (odpad, bez zaručené velikosti zrna a jakosti kamene, vzniká při výrobě drceného kameniva)
- kamenná moučka (vzniká mletím větších zrn nebo jí získáváme odsáváním při výrobě drceného kameniva).

3.6.2 Metalurgická terminologie

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. Jsou to materiály, které vznikají metalurgickými procesy při tavení kovů ve vysoké peci, které obsahující převážně kovové oxidy (oxid křemičitý, oxidy železa, oxid vápenatý atd.). Jedním z rozhodujících kritérií je bazicita neboli kyselost/zásaditost strusky. Bazicita určuje poměr mezi kyselými a zásaditými složkami. (Polák, 2019)

Ocelářská struska

Výroba oceli se vyrábí tradičně zkuřňováním surového železa. Do kterého je přidáván ocelový šrot nebo pouze o ocelového šrotu, který se taví v obloukových pecích. Při tavení se ve vsázce snižuje obsah uhlíku, síry a fosforu. Výrobu oceli rozdělujeme do dvou fází. V první fázi dochází ke snížení obsahu uhlíku a odstranění nežádoucích prvků pomocí oxidace. Druhou fází nazýváme rafinace, kdy dochází k odstraňování přebytečného kyslíku pomocí feroslitin manganu a křemíku anebo pomocí hliníku. Až 70 % oceli se v dnešní době vyrábí v kyslíkových konvertorech, kde je možné vyrábět všechny druhy uhlíkových ocelí. 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 následně recyklovat. Ocelářská struska se často zaměňuje s vysokopecní struskou. Ocelářská struska je méně kvalitní, levnější a není vhodná pro náročné účely. (Polák, 2019)

Vysokopecní struska

Vysokopecní strusky vznikají ochlazením rozžhavené strusky na odvalech při výrobě surového železa ve vysokých pecích. Chemické složení je upravováno přísadami, jako jsou například vápenec, křemen aj. Tak aby výsledná hmota vycházející z vysoké pece odpovídala kompaktní tavenině. Po odpichu je hmota pomocí vody upravována na struskový granulát a ztuhlý kvádr, který je dále zpravován do kameniva. Díky vhodným hydraulickým vlastnostem se některé druhy těchto strusek přidávají do cementů, touto úpravou vzniká tzv. vysokopecní cement, který se využívá do přísad při výrobě betonových směsí. (Polák, 2019)

3.7 Výhody použití struskového kameniva ve vozovkách

Použití struskového kameniva ve vozovkách přináší několik výhod. Ekonomické výhody spočívají v nižší ceně strusky oproti tradičním materiálům, což může přinést úspory při výstavbě a údržbě vozovek lesních cest. Další ekonomickou výhodou je odolnost struskového kameniva vůči opotřebení a povětrnostním vlivům, což snižuje potřebu častých oprav a obnovy vozovek. (Pascal, 1997)

Ekologické výhody spočívají v možnosti využití odpadního produktu z hutního průmyslu, čímž se zabraňuje jeho ukládání na skládky a snižuje se negativní vliv na životní prostředí.

Technické výhody zahrnují dobrou nosnost struskového kameniva, které je schopno odolat nárokům provozu i zatížení těžkou technikou na lesních cestách.

Díky svým fyzikálním a mechanickým vlastnostem má struskové kamenivo také dobré odvodňovací schopnosti, což přispívá k zachování kvality vozovek i za nepříznivých povětrnostních podmínek. (KRAYUSHKINA K., 2012)

Ekonomické výhody

Možnosti využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest přináší významné ekonomické výhody. Struskové kamenivo je cenově dostupnější než tradiční materiály, jako je štěrk nebo asfalt. Jeho nižší cena poskytuje snížení nákladů při stavbě a údržbě lesních cest. Tímto způsobem se zvyšuje efektivnost využití prostředků a zdrojů lesního hospodářství. Navíc, použití strusky jako kameniva má prospěšný vliv na životní prostředí, což snižuje potřebu financování dalších ekologických opatření. Ekonomické výhody velice značné a přímo přispívají k udržitelnému rozvoji lesnictví. (Bamigboye, 2021) (Grajewski, 2022) (Das, 2023)

Ekologické výhody

Využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest přináší řadu ekologických výhod. Struska je odpadní produkt vznikající při výrobě železa. Použitím strusky místo tradičních materiálů, jako je štěrk nebo beton, dochází k účinnému zachycování a využití tohoto odpadu. To vede k redukci jeho vytěžení a ukládání na skládky, což přispívá k ochraně životního prostředí. Struskové kamenivo také přináší příznivé vlivy na biodiverzitu v oblasti lesních cest, jelikož se ve strusce nachází minerály a živiny, které pozitivně ovlivňují růst a vývoj rostlin. Díky těmto ekologickým výhodám je využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest ekologicky výhodné. (Bamigboye, 2021) (Hrůza, 2020) (Susanto, 2020)

Technické výhody

Využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest má značnou řadu technických výhod. Jednou z těchto výhod je vysoká odolnost a trvanlivost materiálu. Struska je velmi tvrdým a pevným materiálem, který dokáže odolávat mechanickému namáhání, zatížení a opotřebením. Díky této odolnosti je možné používat struskové kamenivo ve vozovkách, které jsou vystaveny vysoké intenzitě dopravy, včetně těžkých nákladních vozidel. Další technickou výhodou je skvělá schopnost odvodňování. Struskové kamenivo je velmi propustné pro vodu, což přispívá k odvodnění vozovek a minimalizuje riziko vzniku těžko sjízdných nebo bažinatých úseků. Tato vlastnost zajišťuje stabilní povrch vozovek i při vyšších srážkových událostech. V neposlední řadě je struska také dobře viditelná díky své šedé barvě, což pomáhá zvýšit bezpečnost v provozu na lesních cestách. (Bamigboye, 2021) (Hrůza, 2020)

3.8 Využití struskového kameniva v silničním stavitelství

Struskové kamenivo má při využití v silničním stavitelství několik předností. Jednou z důležitých výhod je jeho ekonomická dostupnost, jelikož jde o vedlejší produkt hutnického průmyslu, který jej nemá, jak dále využít. (PRIBULOVA A., 2016)

Další předností je jeho dobře definovaná velikost zrn, která umožňuje snadnou manipulaci při aplikaci na vozovky lesních cest. Struska je rovněž méně náchylná k opotřebením než tradiční materiály, což přispívá k dlouhodobější životnosti vozovek. Nevýhodou použití strusky je její větší hmotnost, která může mít negativní vliv na trakci vozidel. Přesto lze struskové kamenivo úspěšně využít ve stavebních technologiích pro vozovky lesních cest, kde má dobrou schopnost odvodňování a přispívá ke stabilizaci povrchu. (Eminger, 2022) (Kateřina, 2020) (Vlastislav, 2021)

Přednosti a nevýhody použití strusky

Při použití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest existují některé výhody i nevýhody. Mezi důležité výhody patří především ekonomická výhoda tohoto materiálu. Struska je často levnější než tradiční kameniva a jeho použití může snížit celkové náklady na stavbu a údržbu vozovek. Další výhodou je ekologická stránka, protože recyklace strusky zvyšuje udržitelnost a snižuje množství odpadu. Struska také poskytuje dobrou přílnavost a omezující prokluz vozidel na vozovce. (Pavel, 2024) (Vacková, 2020)

Na druhou stranu však existují i nevýhody použití strusky. Jednou z nevýhod je její sušá povaha, která může vytvářet nerovnosti na povrchu vozovky. Struska také může být náchylná ke ztrátě pevnosti a degradaci vlivem povětrnostních podmínek. Je tedy důležité pečlivě zvážit výhody a nevýhody před nasazením struskového kameniva ve vozovkách lesních cest. (Pavel, 2024)

Možnosti aplikace ve vozovkách lesních cest

Možnosti aplikace struskového kameniva ve vozovkách lesních cest jsou mnohostranné. Struskové kamenivo se může využívat jako vrchní krycí vrstva, která poskytuje odolnost proti opotřebení a zároveň zlepšuje trakční vlastnosti vozovek. Díky svým fyzikálním a mechanickým vlastnostem je struska schopna odolávat nárazům a zatížení těžkými vozidly. Její aplikace také přispívá ke zlepšení odvodnění a stability vozovek, což je zvláště důležité na lesních cestách v náročných terénních podmínkách. Struskové kamenivo je také ekologicky šetrné, protože se jedná o vedlejší produkt při výrobě oceli. Využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest přináší pozitivita jak z hlediska výkonnosti vozovek, tak z hlediska životního prostředí. (Bamigboye, 2021) (Das, 2023) (Grajewski, 2022)

Porovnání s tradičními materiály

Při porovnání struskového kameniva s tradičními materiály využívanými ve vozovkách lesních cest je zásadní pro posouzení jeho efektivity a udržitelnosti. Podle studií bylo zjištěno, že struskové kamenivo vykazuje výhodné vlastnosti ve srovnání s tradičními materiály, jako je štěrk, škvára nebo štěrkopísek. Struska má vynikající odolnost proti opotřebení, což znamená, že vydrží dlouhodobé používání a neztrácí svou pevnost a původní tvar. (Jirásek, 2008)

Dále se struskové kamenivo vyznačuje dobrými trakčními vlastnostmi, což zajišťuje lepší řízení a ovladatelnost vozidel na lesních cestách. Navíc je struska schopna efektivního odvodnění a přispívá ke stabilitě vozovky, což je zásadní pro bezpečný provoz a minimalizaci rizika nehod při nepříznivých povětrnostních podmínkách. Porovnání těchto vlastností s tradičními materiály se potvrdilo, že struskové kamenivo je vhodnou alternativou pro výstavbu a údržbu vozovek lesních cest. (Denisa, 2022) (Boháčová, 2012)

Odvodnění a stabilita vozovky

Odvodnění a stabilita vozovky jsou klíčové faktory pro zajištění bezpečnosti a plynulého provozu lesních cest. Struskové kamenivo má vliv na tyto vlastnosti vozovky. Díky svým fyzikálním vlastnostem dokáže struskové kamenivo zlepšit odvodnění vozovky. Struska má schopnost absorpce vody a její rychlý odtok, což zajišťuje snížení vodního filmu na vozovce a minimalizuje tak nebezpečí aquaplaningu. Navíc, díky hrubší zrnitosti struska zlepšuje stabilitu vozovky. Zvýšená hrubost povrchu zlepšuje vzájemnou adhezi mezi pneumatikami vozidel a povrchem vozovky, což zvyšuje trakci a zajišťuje bezpečnější pohyb vozidel po lesních cestách. V kombinaci s ostatními výhodami použití strusky, jakými jsou příznivá cena a dostupnost jako vedlejšího produktu, tvoří tyto vlastnosti důležitý důvod pro zvážení využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest. (Boháčová, 2012)

3.9 Vlastnosti struskového kameniva

Struskové kamenivo má několik důležitých fyzikálních vlastností, které ho činí vhodným pro použití ve vozovkách lesních cest. Jednou z takových vlastností je jeho vysoká pevnost, která zajišťuje odolnost vůči zatížení od vozidel a zabraňuje vzniku trhlin a výtluků na povrchu vozovky. (Majerčák, 1988)

Další výhodou struskového kameniva jsou jeho vynikající hydrofobní vlastnosti. Díky nim se snižuje riziko vzniku zamokření vozovky a případných nestabilit ve vozovém podkladu. Tato vlastnost také zajišťuje vyšší bezpečnost pro uživatele lesních cest, zejména za nepříznivých povětrnostních podmínek. Navíc struskové kamenivo má vysokou odolnost vůči otěru, což zajišťuje dlouhou životnost vozovek. Tato vlastnost je důležitá zejména v lesních prostředích, kde je vozovka často vystavena náročným podmínkám, jako je přejezd dřeva či pohyb těžkého lesnického vybavení. (Tereza, 2021)

Výroba struskového kameniva

Znaky struskového kameniva vyrobeného z vysokopecní anebo ocelářské strusky stanovuje konkrétní technologii stanovenou výrobcem železa, oceli nebo jiných neželezných kovů. Technologie procesu 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 nestejnorodá. Jedná se o vedlejší produkt po magnetické separaci, který obsahuje jak zbytky vysokopecní strusky, tak další hutní suť jako jsou zbytky vyzdívek s šamotovými cihlami. (138, 2000)

Granulovaná struska

Granulovaná olověná struska je černý zrnitý materiál, který je připomíná písek.

Měrná hmotnost nebo hustota minerálního skeletu granulované strusky byla stanovena podle STAS 6200/10-73 a porovnána s pískem. Stanovená hodnota pro písek je 2,65 g/cm³ ve srovnání s hodnotou 3,79 g/cm³ pro olověnou strusku. Vyšší měrná hmotnost olověné strusky ve srovnání s pískem je způsobena přítomností vysokého obsahu oxidu železa.

Tyto hodnoty naznačují, že testy na průmyslovém výrobku vykazují dobré drenážní vlastnosti, takže jsou vhodné k použití při výstavbě silničních násypů a základů.

Granulovaná struska jako sekundární kamenivo

Geometrické a fyzikálně-mechanické vlastnosti sekundárních agregátů získaných pro granulovanou olověnou strusku musí být v souladu s ustanoveními SR 662: „Silniční práce – Kamenivo z přírodního štěrku – Technické kvalita“, pokud chceme identifikovat možné oblasti použití jako materiál pro stavbu silnic. (BUZATU T., 2015)

3.9.1 Fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti struskového kameniva mají klíčový vliv na jeho využití ve vozovkách lesních cest. Struskové kamenivo se vyznačuje vysokou odolností vůči degradaci a změnám povětrnostních podmínek. Jeho pevnost a odolnost proti opotřebení zaručují dlouhou životnost povrchu vozovky. Díky svému složení a tvaru zrn má struskové kamenivo vynikající odvodňovací vlastnosti, což zabraňuje tvorbě kalu a bahna na vozovce. Tím je zajištěna bezpečnost uživatelů lesních cest za všech povětrnostních podmínek. Další výhodou fyzikálních vlastností struskového kameniva je jeho schopnost akumulovat a udržovat tepelnou energii, čímž usnadňuje tání sněhu na vozovce v zimním období. Struskové kamenivo je tak ideálním materiálem pro vozovky lesních cest, které vyžadují odolnost, bezpečnost a nízké náklady na údržbu. (Tereza, 2021) (Denisa, 2022)

3.9.2 Chemické vlastnosti

V ocelářské strusce mohou následně probíhat chemické reakce charakteru rozpadu, při kterém může docházet ke zvětšení objemu materiálu, a to v některých případech až o 30 %.

Následkem rozpadu strusek jsou lokální nebo souvislé poruchy zemního tělesa nebo vozovky.

Ve směsi s vodou některé strusky vykazují aktivitu vlastní hydraulickým pojivům. Tato aktivita je způsobena především mineralogickým složením strusek, v menší míře se však ovlivní vznikem čerstvých zlomů zrn při drcení nebo při mletí. Pokud chceme využít struskové kamenivo do podkladních vrstev vozovek musí se ve výrobnách třídít na frakce podle ČSN EN 13242 a míchá se na šterkodrt' podle ČSN EN 13285. Maximální velikost zrna je 90 mm.

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

Zásadité ocelářské strusky – obsah volného vápna (CaO) a obsah MgO

Kyselá ocelářské strusky – další zkoušky se nedělají. (Lucie, 2020) (138, 2000)

Fyzikálně mechanické vlastnosti

Objemová hmotnost zrn je u vysokopeční strusky obvykle 2 000 až 2 800 kg/m³, u ocelářské strusky obvykle 3100 až 3600 kg/m³. Cizorodé částice se mohou vyskytovat na odvalech vedlejších produktů hutní výroby železa a neželezných kovů v podobě částic železa, zlomků šamotových cihel, dřeva apod

Při hutnění konstrukčních nebo dílčích technologických vrstev vozovky ze struskového kameniva dochází k částečnému podrcení zrn válci. 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. (AĪTCIN, 2005) (Bohác, 2011)

3.9.3 Nestmelené podkladní vrstvy dle ČSN

Struskové kamenivo lze samostatně nebo v kombinaci s jinými frakcemi přírodního nebo recyklovaného kameniva použít do nestmelených podkladních vrstev. Mezi požadavky na kamenivo v různých typech nestmelených směsí do podkladních vrstev jsou uvedeny v ČSN EN 13285. Nárok na nestmelené podkladní vrstvy ze struskového kameniva musí být v souladu s ČSN 73 6126-1. Tloušťka jedné pokládané vrstvy souvisí s technologií zpracování (účinnosti hutnicího prostředku apod.). Zpravidla se pohybuje mezi 150–300 mm zhutněné vrstvy.

Horní vrstva je tvořena struskovým kamenivem o velikosti zrn 32/63. Výplňové kamenivo, které se používá k vyplnění mezer v kamenné vrstvě je struskové, přírodní či recyklované drcené kamenivo, které obsahuje maximální velikosti zrna 16 mm. S ohledem na drcení struskového kameniva v kostře vrstvy je menší spotřeba výplňového kameniva než u kameniva přírodního. Požadavky na vrstvu vibrovaného štěrku jsou uvedeny v ČSN 73 6126-2.

Do vrstev, které jsou stmelené hydraulickým pojivem můžeme zařadit kamenivo z vysokopecní a ocelářské strusky. Kamenivo můžeme použít samostatně nebo s přidáním jiných frakcí přírodního nebo recyklovaného kameniva a popílku. Nároky na kamenivo v různých typech vrstev stmelených pojivem jsou uvedeny v ČSN EN 13242+A1.

Návrh stmelené směsi se provádí podle ČSN EN 14227. Požadavky na vrstvy stmelené struskou jsou uvedeny v ČSN 73 6124-1. Zhutnitelnost jako stanovení maximální objemové hmotnosti a optimálního množství vody při hutnění směsi se stanoví Proctorovou modifikovanou zkouškou podle ČSN EN 13286-2. (138, 2000) (INSTITUT, 1996)

3.10 Způsob vyhodnocení environmentálních údajů o struskovém kamenivu

Struska z kamene má významný vliv na půdu, vodní prostředí a vzduch. Díky fyzikálním vlastnostem strusky se odráží ve vlastnostech půdy, jako je její struktura, provzdušněnost a schopnost udržovat vodu. Přílišný obsah strusky v půdě může snížit její úrodnost a schopnost zadržovat vodu. Proto je důležité pečlivě zvážit použití struskového kamene s ohledem na konkrétní vlastnosti půdy.

Pokud jde o vodní prostředí, struska může v sobě obsahovat různé chemikálie, které se mohou uvolňovat do vodních zdrojů a znečišťovat je. Je nezbytné sledovat a regulovat množství uvolňovaného struskového kamene do vodních toků a zajistit dodržování bezpečnostních limitů. Struska také může ovlivnit kvalitu vzduchu, zejména při rozsáhlém používání. Proto je nutné pravidelně měřit a monitorovat emise z průmyslových zařízení, aby se minimalizovalo množství uvolňovaných látek do vzduchu. Celkově je zásadní důkladně hodnotit environmentální aspekty používání struskového kamene a přijmout opatření k ochraně životního prostředí. (Kateřina, 2020)

Vliv struskového kameniva na půdu

Struskové kamenivo může vykazovat významný účinek na půdu a její vlastnosti. Jedním z hlavních důsledků je zvýšení pH půdy, což může mít negativní vliv na rostliny, které upřednostňují acidické prostředí. Tím se může snížit úrodnost půdy a omezit její schopnost udržovat vlhkost a živiny. Další konsekvencí je zvýšená koncentrace některých kovů v půdě, jako je například olovo, které může být toxické pro rostliny, živočichy a lidské zdraví. Navíc, struskové kamenivo může přispět k erozi půdy, neboť jeho pevnost a schopnost zadržovat vodu jsou omezené. Je proto důležité pečlivě zhodnotit vliv struskového kameniva na půdu před jeho použitím a přijmout vhodná opatření pro minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí. (Boháčová, 2012) (Daniel, 2024)

Vliv struskového kameniva na vodní prostředí

Struskové kamenivo může mít značný vliv na vodní prostředí prostřednictvím odplavování škodlivých látek do vodních toků a jezer. Chemické složení struskového kameniva obsahuje látky jako je měď, olovo, zinek a arsen, které mohou znečistit vodu a poškodit životní prostředí. Při kontaktu s vodou dochází k uvolňování těchto látek a vstupu do vodního prostředí. Znečištění vodních toků struskovým kamenivem může mít negativní dopad na vodní ekosystémy a zdraví živočichů žijících v těchto vodních prostředích. Je důležité monitorovat a omezovat vliv struskového kameniva na vodní prostředí prostřednictvím vhodných opatření a regulací provozu skládek a skladování strusky. Není proto úplně vhodné používat struskové kamenivo v blízkosti vodních staveb. (Grassinger, 2022) (Daniel, 2020)

Vliv struskového kameniva na vzduch

Vliv struskového kameniva na vzduch je významným environmentálním hlediskem, které vyžaduje přesvědčivou analýzu. Při rozpadu struskového kameniva mohou být do vzduchu uvolňovány emise, prachové částice a toxické substance. Tyto látky mohou ohrožovat lidské zdraví a také přispívat k znečištění ovzduší. Prachové částice mohou být vdechovány a způsobovat respirační problémy a alergie. Některé toxické látky obsažené ve struskovém kamenivu, jako je olovo, rtuť nebo kadmium, mohou mít dlouhodobé negativní dopady na lidský organismus. Je důležité zvážit vhodná opatření k minimalizaci uvolňování těchto látek do ovzduší. Sledovat a následně snižovat jejich koncentrace ve vzdušném prostředí. (Tereza, 2021) (Jana, 2024)

4. Metodika

4.1 Výběr a popis lokalit

Lení cesty byly vybrány po osobní konzultaci s docentem Zlatuškou z České zemědělské univerzity a panem inženýrem Kalinou, který je revírník na daném lesním úseku. Úseky se nachází na katastrálním území Šenov u Ostravy. V blízkosti měst Václavovice, Šenov a Havířov.

Kritéria pro výběr lokalit byly následující: vybrat minimálně 5 úseků lesních cest s vyčerpanou životností vozovky. Délka úseků je po konzultaci s vedoucím práce 200 metrů. Konkrétní lesní cesty jsou pro usnadnění práce rozděleny podle abecedy na úsek A, úsek B, úsek C, úsek D a úsek E.

Podle dopravní mapy z mapových podkladů mají úseky označení následující: úsek A – 2L Šikmá, úsek B – 1L Datyňská, úsek C – 1L Datyňská, úsek D – 1L U Josefa a úsek E – 1L Zarubaná. Cesty jsou nejčastěji využívány pro dostupnost do porostů a k rekreačním účelům, které využívá lidská veřejnost.

4.2 Popis vozovky na lokalitě

Úseky byly vybírány podle stavu vozovky, ve kterých bylo použito struskové kamenivo. Na některých úsecích je vidět, že jsou vyjeté koleje ve vozovce z důvodu přetížených odvozních souprav, dále jsou značně zarostlé a neudržované příkopy podél lesních cest. Lesní úsek C má značně poškozenou vozovku, která je propadlá a sesunutá a také nejsou příkopy a voda se zdržuje na vozovce. Na úseku D je mezi vyjetými koleji pás, kde roste tráva ve vozovce. Příčné odvodnění z vozovek cest je řešeno pomocí odvodňovacích žlabů, které jsou zanesené.

4.3 Geodetické zaměření

Úseky lesních cest se nacházejí v nadmořské výšce 300 m. n. m. Délky jednotlivých úseků jsou 200 m. Na všech úsecích je použitý střechovitý sklon, který má 3 %. Nezpevněná část krajnice má sklon 8 %. Na svazích zemního tělesa je použitý trojúhelníkový příkop v poměru 1:1.

4.4 Rozbory vzorků kameniva

4.4.1 Odběr vzorků

Odběry vzorků byly prováděny ve všech pěti úsecích lesních cest. Vzorky byly odebírány v části, kde nebyly vytvořené prohlubně ani vyjeté koleje nebo kaluže. Na místě, kde byl proveden výkop bylo potřeba udělat dostatečnou prohlubeň a dostat se až na zemní pláň. Na obrázku 3 jdou vidět vrstvy vozovky. Horní nosná vrstva má mocnost MZK 180 mm, spodní nosná vrstva má mocnost 250 mm.

Hloubka výkopů byla přibližně 45 cm. Celková mocnost všech vrstev je 750 mm. Při výkopu byly vidět vrstvy v následujícím pořadí (od horní vrstvy): kryt, podklad, ochranná vrstva a těleso zemní pláň. Vzorky byly následně vsypány do pytle, popsány dle úseků a byly odvezeny do laboratoře, která se nacházela v budově ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra silničních staveb, kde mi pomohl s laboratorní zkouškou pan Ing. Petr Mondschein, Ph.D.



Obrázek 3 Odběr vzorků, zdroj: Adam Trefil

4.4.2 Zrnitostní rozbor

Kamenivo se v první řadě roztřídí a oddělí pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů z klesající velikosti částic. Velikosti otvorů sít a počet sít jsou voleny podle druhu vzorku z dané lokality a požadované přesnosti. Hmotnost částic zachycených na sítích se uvádí v procentech k počáteční hmotnosti vzorku.

Postup zkoušky:

1. Zkušební vzorek se vysype z pytlů, nechá se vysušit při teplotě 110 ± 5 °C do ustálené hmotnosti. Následně se nechá vychladnout, zváží se a zaznamená se hmotnost M1.
2. Vzorek kameniva se přesune do připravené nádoby, přidá se dostatečné množství vody a promíchá – nutno uvolnit jemné částice. Na zkušební síto 0,063mm se umístí ochranné síto např. 1 nebo 2 mm a umístí do odpadní nádoby. Vzorek se pomalu nalije na zkušební síta a promývá se vodou tak dlouho, dokud voda protékající zkušebním sítem 0,063mm není čistá. Co zůstalo na sítích se následně vysuší do ustálené hmotnosti při teplotě 110 ± 5 °C. Vzorek ponechá se vychladnout a zváží se a zapíše se hmotnost M2.
3. Použije se sada zkušebních sít od největšího po nejmenší dle normy (nejmenší síto je dole). Sloupec sít je opatřen dnem a víkem. Vzorek, který je vypraný, vysušený a zvážený se vysype na sloupec sít. Sloupcem sít se ručně nebo mechanicky třese do ustálené hmotnosti.
4. Postupně se odebírají jednotlivá síta. Začíná se tím největším, zváží se zachycený materiál na síti (při maximální opatrnosti, aby nedošlo k vysypání nebo ztrátě vzorku) a zapíše se hmotnost na jednotlivých sítích R1, R2, Ri... Materiál, který zůstal na dně se zváží a zaznamená jako P.
5. Pokud dojde k tomu, že se součet hmotností Ri + P odlišuje od M2 o více jak 1 %, zkouška by se měla opakovat znovu.

4.5 Únosnost vozovky

Stanovení únosnosti vozovky

Cílem stanovení únosnosti vozovky je poskytnout konkrétní a objektivní informace o její schopnosti unést zatížení a vyhovět požadovaným normám a předpisům. Tato informace je využívána při plánování oprav a údržby silnic, při navrhování nových silničních projektů nebo při kontrole bezpečnosti silničního provozu. Získaná data slouží také jako vstup pro optimalizaci konstrukce vozovek a výběr vhodných materiálů.

Stanovení únosnosti vozovky je důležitým procesem pro správu a údržbu silničních komunikací. Tento proces umožňuje zjistit, do jaké míry je vozovka schopna odolávat namáhání a zatížení. Poskytuje tak důležité informace pro rozhodování o opravách a renovacích vozovek, což vede ke zvýšení bezpečnosti a plynulosti silničního provozu.

Křivka zrnitosti: graficky vyjadřuje zastoupení jednotlivých frakcí ve vzorku kameniva. V ideálním vzorku kameniva jsou mezery mezi většími zrny zaplněny zrny menšími, pak ještě menšími atd. U běžných betonů jsou nejmenějšími částicemi zrna cementu, u speciálních betonů mikropřímě jako např. mikro a nanosilika.

4.5.1 Provedení rázové zkoušky pomocí lehké dynamické desky

Typy rázových zařízení:

Rázová zařízení skupiny A: zkoušení krytů tuhých a netuhých vozovek silničních komunikací, letištních a dalších dopravních komunikací a pro zkoušky stmelěných i nestmelěných podkladních vrstev

Rázová zařízení skupiny B: používá se pro zkoušení nestmelěných podkladních vrstev a podloží v oblasti aktivní hloubky

Rázová zařízení skupiny C: (Lehké dynamické desky), používají se zejména pro kontrolu míry ztuhnutí hrubozrnných podložních zemin a sypanin, zemin zlepšených vápnem apod., které se nacházejí mimo aktivní hloubku.

Účel použití

Lehká dynamická deska je zařízení, které slouží pro rychlou kontrolu dynamických parametrů ztuhovaných sypanin dle ČSN 73 6192 (Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží) – stanovení dynamického modulu deformace v rozsahu 2 až 220 MPa a modulu E_{def} a E dle ČSN 7. Umožňuje měření podle nové ČSN 72 1006 odst.

Vzhledem k rychlosti vyhodnocení a malým rozměrům má široký rozsah použití od zásypů při výkopových pracích v intravilánu měst po výstavbu dálničních komunikací. Využití rázovou zkouškou je možno často i v místech, kde klasickou statickou zatěžovací zkouškou provést nelze, např. ve stísněných prostorech a výkopech, kde není možné používat velkou a hmotnou protizátěž.

Účel rázových zkoušek

Rázové zatěžovací zkoušky patří mezi nedestruktivní formy zkoušení. Povrch zkoušeného prostředí je zatížen rázovým pulzem přibližně ve tvaru poloviny sinusoidy, který je vyvozený pádem závaží na kruhovou desku. Následkem pádu beranu na kruhovou zatěžovací desku prostřednictvím tlumícího systému dojde k průhybu povrchu měřeného prostředí. Vyhodnocením průhybu se získají fyzikálně mechanické vlastnosti prostředí.

Rázová zařízení skupiny C:

Lehká dynamická deska slouží k určení rázového modulu deformace M_{vd} [MPa]. Zkouška je vhodná pro sypaniny z nesoudržných zemin (G, S) s průměrem zrn do 63 mm a jemnozrnné zeminy s tuhou až pevnou konzistencí. Využití zkouška najde při kontrolách kvality provedených zemních prací (zhutnění) na liniových stavbách, zpětných zásypech, obsypech apod. Zkouška lehkou dynamickou deskou nenahrazuje zkoušku statickou zatěžovací deskou, ale vhodně ji doplňuje a slouží k redukci míst pro detailnější ověření přetvárných parametrů pomocí stat. zatěžovací zkoušky.

Statickou zatěžovací zkoušku je tak možno situovat pro další ověření přetvárných parametrů do míst, kde bylo lehkou dynamickou deskou dosaženo nejnižších hodnot rázového modulu deformace. Naopak lehkou dynamickou desku lze využít v situacích, kdy z dispozičních či jiných důvodů nelze použít statickou zatěžovací zkoušku (např. nepřístupnost pro protizátěž). Při velkých objemech zemních prací se na základě zhutňovacích pokusů určují korelační vztahy mezi rázovým modulem deformace M_{vd} a modulem přetvárnosti M_{def} , případně mezi rázovým modulem deformace M_{vd} a objemovou hmotností zeminy (dle Proctor-standart, nebo pomocí membránového objemoměru).

Postup měření

Změření teploty prostředí: při rázových zkouškách je vždy nutné měřit teplotu zkoušeného prostředí. V případě nestmelených podkladních vrstev a podloží se měří jejich teplota vždy na začátku zkoušky, a to na povrchu vrstvy a v hloubce cca 100 mm.

Příprava povrchu měřené zeminy: povrch měřené plochy musí být urovnaný v horizontální poloze bez znaků mechanického porušení a z povrchu vozovky musí být odstraněny nečistoty (větve, listí). Povrch zkoušených zemin nesmí být rozbředlý nebo jinak poškozený a samotná zemina nesmí být zmrzlá, nebo nasycená vodou. Do hloubky 100mm zeminy nesmí být teplota nižší než + 5 °C. V případě mechanicky porušeného povrchu zeminy je nutné přistoupit k odstranění tohoto problému, např. přehutněním.

Osazení kruhové zatěžovací desky: deska musí dosedat v celé své ploše, v případě výskytu prohlubní je možné povrch vyrovnat posypovým pískem. Prohlubně nesmí být pod okrajem desky a neměly být větší než 2 % průměru desky. Přímo pod deskou se nesmí vyskytovat zrna větší než 25 % průměru desky. Přišlápnutím se deska zajistí proti odskočení a dotlačí se k povrchu třemi údery závaží.

Kompletace zařízení: k pouzdru se snímačem zrychlení se připojí mikropočítačová jednotka a před samotným měřením se zkontroluje funkčnost celé měřicí soustavy.

Zkouška: po spuštění mikropočítačové vyhodnocovací jednotky a nastavení vstupních parametrů (poissonovo číslo, popis měřeného místa) je možné přistoupit k vlastnímu měření. Obsluha je při zkoušce vedena příkazy mikropočítačové vyhodnocovací jednotky.

Předepsány jsou tři údery závažím na zatěžovací desku, poklesy desky se po každém rázu automaticky zaznamenají, zprůměrují a jsou dopočteny výsledné hodnoty rázového modulu deformace M_{vd} . Mezivýsledky s grafickým vykreslením průběhu mohou být průběžně tištěny přiloženou tiskárnou.

Popis lehké dynamické desky

Základem lehké dynamické desky je kruhová zatěžovací deska, na které je posazeno pouzdro se snímačem zrychlení, konektor komunikačního kabelu a transportní madlo. Dále je samostatná vodící tyč, která je posazena do zatěžovací desky a obsahuje držadlo se spouštěcí západkou, vodící tyč, kruhovou rukojeť, rázové zatížení, aretační kolík a tlumič rázu. Lehká dynamická deska je připojena kabelem do mikropočítačové vyhodnocovací jednotky s tiskárnou.



Obrázek 4 Lehká dynamická deska, zdroj: Adam Trefil

4.6 Zjištění technických, environmentálních a ekonomických údajů o struskovém kamenivu a o přírodním kamenivu

Technické údaje o struskovém kamenivu

Struskové kamenivo je vedlejším produktem hutní výroby a má různé technické vlastnosti. Fyzikální vlastnosti struskového kameniva jsou založeny na jeho hustotě, tvrdosti a tvaru zrn. Je charakterizováno jako lehké kamenivo s nízkou hustotou, což znamená nižší nosnost než přírodní kamenivo.

Chemické složení struskového kameniva se liší v závislosti na typu hutního procesu, ale obecně obsahuje oxidy kovů, zejména železo, vápník a hořčík.

Mechanické vlastnosti struskového kameniva zahrnují pevnost, otěruvzdornost a adhezi. Struskové kamenivo je méně pevné než přírodní kamenivo, což ovlivňuje jeho použitelnost v různých aplikacích.

Environmentální údaje o struskovém kamenivu

Struskové kamenivo má značně pozitivní environmentální dopad ve srovnání s přírodním kamenivem. Vytěžení strusky jako kameniva přispívá ke snížení těžby přírodního kameniva a tím snižuje negativní dopad na životní prostředí, který je spojen s těžbou. Dále, při těžbě struskového kameniva je minimalizováno množství vytižené půdy. Recyklace strusky je také možností, která přispívá ke snižování environmentálního dopadu. Struska se může použít například jako surovina při výrobě cementu, což může vést k úsporám surovin a snížení emisí CO₂.

Ekonomické údaje o struskovém kamenivu

Struskové kamenivo je ekonomicky výhodné v porovnání s přírodním kamenivem. Má nižší výrobní náklady díky tomu, že je nebo bylo produkováno jako odpadní produkt v průmyslových závodech. To znamená, že nemusí být těženo z přírody a není nutné financovat nákladnou těžbu. Díky tomu je struskové kamenivo obecně levnější a mnohem více dostupné než přírodní kamenivo.

Technické údaje o přírodním kamenivu

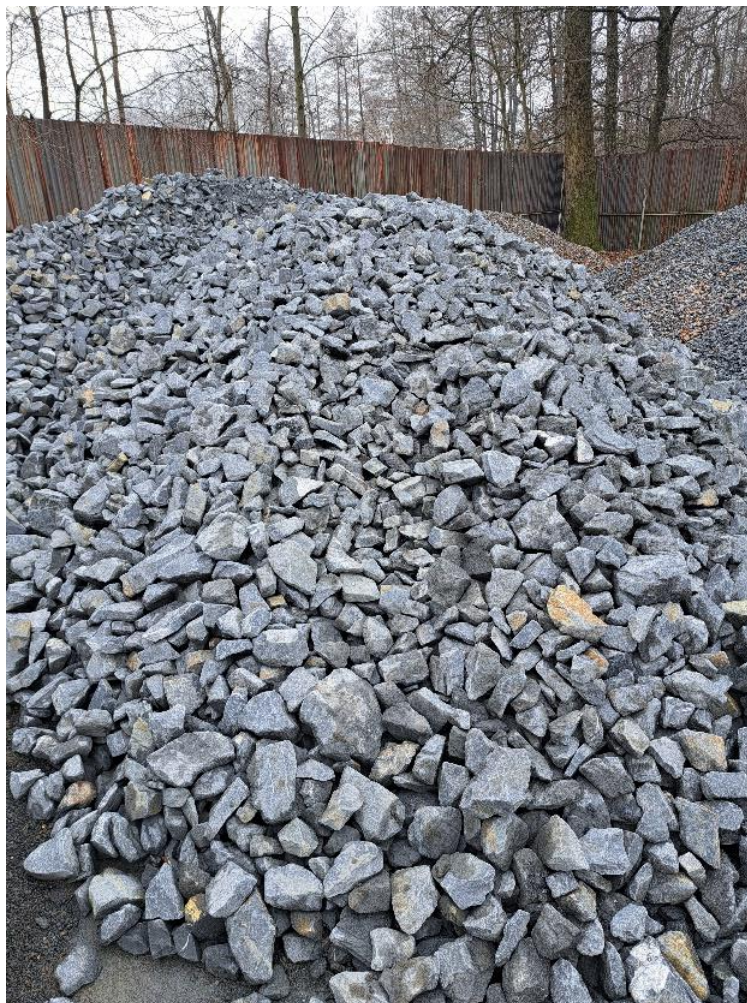
Technické údaje o přírodním kamenivu se zaměřují na jeho původ a výskyt, fyzikální vlastnosti a chemické složení. Přírodní kamenivo obvykle vzniká přirozenou erozí hornin, je nalezeno v sedimentech nebo relikttech terciérních a kvartérních moří. Jeho dostupnost se liší v závislosti na geografické lokalitě. Co se týče fyzikálních vlastností, přírodní kamenivo bývá různě zrnité a může mít různou hustotu, pevnost, absorpci a otřesovou odolnost. Chemické složení přírodního kameniva se skládá z různých minerálů, které stanovují jeho vlastnosti a kvalitu. Tato kombinace technických údajů je důležitá pro hodnocení použitelnosti přírodního kameniva v různých odvětvích průmyslu.

Environmentální údaje o přírodním kamenivu

Environmentální údaje o přírodním kamenivu jsou důležitým aspektem při hodnocení jeho vlivu na životní prostředí. Těžba přírodního kameniva může mít negativní dopad na životní prostředí, především z hlediska ztráty přírodních ekosystémů a eroze půdy. Je třeba vyhodnotit a minimalizovat tyto dopady prostřednictvím správných postupů těžby a obnovy těžebních lokalit.

Ekonomické údaje o přírodním kamenivu

Cena a dostupnost přírodního kameniva jsou základními faktory, které ovlivňují jeho ekonomickou hodnotu. Cena přírodního kameniva se odvíjí od jeho kvality, množství a dostupnosti na trhu. Vzhledem k tomu, že přírodně se vyskytující kamenivo je limitováno jeho přirozeným výskytem, jeho dostupnost může být omezená, zejména v regionech s omezenými zdroji kameniva. Vlivem těchto faktorů může cena přírodního kameniva být vyšší ve srovnání se struskovým kamenivem. S ohledem na dostupnost a cenu přírodního kameniva je důležité pečlivě plánovat jeho použití a hledat alternativní zdroje kameniva, které mohou být ekonomicky výhodnější.



Obrázek 5 Přírodní drcené kamenivo, zdroj: Adam Trefil

4.7 Způsob náhrady přírodního kameniva struskovým kamenivem v lesních cestách

Požadavky na vozovky lesních cest jsou s ohledem na jejich funkci a provozní náročnost specifické. Jedním z klíčových požadavků je dostatečná únosnost vozovky, která musí být schopná snést zatížení od těžkého vybavení a vozidel.

Dále je nezbytné, aby povrch vozovky byl odolný vůči poškození vlivem povětrnostních podmínek a negativním vlivům provozu. Kvalitní vozovka by také měla minimalizovat průchod vody a umožňovat její rychlé odvodnění. Dalším požadavkem je dostatečná přilnavost vozovky pro brzdění motorových vozidel a v neposlední řadě také snadná údržba a opravitelnost vozovky.

Náhrada přírodního kameniva struskovým kamenivem ve vozovkách lesních cest přináší řadu významných benefitů. Jedním z klíčových aspektů je ochrana přírodních zdrojů.

Těžba přírodního kameniva vede k degradaci krajiny, erozi půdy a ničení ekosystémů. Použití struskového kameniva poskytuje možnost snížení těchto negativních dopadů těžby. Navíc, ze struktury strusky vyplývá výhoda větší trvanlivosti vozovek, díky které se snižují náklady na údržbu. To v konečném důsledku přispívá ke snížení nákladů celého lesního hospodářství.

Použití struskového kameniva jako náhrady přírodního kameniva ve vozovkách lesních cest přináší řadu výhod. Struskové kamenivo je odpadovým produktem vznikajícím při průmyslových procesech, což znamená, že jeho využitím dochází k recyklaci a snížení objemu odpadu. Díky tomu je ekologičtější volbou. Další výhodou je jeho dostupnost.

Zdroje přírodního kameniva jsou často omezené, zatímco zpracování strusky umožňuje její využití ve větším množství. Navíc, fyzikální vlastnosti struskového kameniva, jako je jeho vysoká pevnost a trvanlivost, přispívají ke zvýšení životnosti vozovek a snižují nutnost časté údržby.

Ekonomické aspekty použití struskového kameniva jsou důležitým faktorem při rozhodování o jeho využití ve vozovkách lesních cest. Nejenže je struskové kamenivo levnější než přírodní kamenivo, ale také přináší další úspory. Zahrnuje náklady na výrobu a dopravu struskového kameniva, které jsou nižší než u přírodního kameniva. Navíc je možné dosáhnout významných úspor díky dlouhodobému používání struskového kameniva a redukci nákladů na údržbu vozovek lesních cest.

4.8 Vyhodnocení environmentálních údajů

Stanovení vhodných ukazatelů je zásadním krokem při vyhodnocování environmentálních údajů o struskovém kamenivu. Abychom dosáhli přesných výsledků, je nezbytné vybrat ukazatele, které nejlépe vyjadřují charakter struskového kameniva a jeho potenciální vliv na životní prostředí. Mezi možné ukazatele patří například obsah těžkých kovů, schopnost struskového kameniva vázat živiny a schopnost omezovat výskyt vodní eroze.

Dalším důležitým krokem je hodnocení údajů o působení struskového kameniva na životní prostředí, což zahrnuje analýzu a interpretaci naměřených hodnot. Na základě těchto výsledků je pak možné zhodnotit rizika spojená se struskovým kamenivem a navrhnout případná opatření pro ochranu životního prostředí. Přesvědčivé vyhodnocení těchto údajů je nezbytnou součástí celého výzkumu a poskytuje konkrétní a faktické informace o environmentálním dopadu struskového kameniva.

4.9 Srovnání struskového kameniva s tradičními materiály

Porovnání se štěrkem

Porovnání struskového kameniva s tradičním materiálem – štěrkem, je klíčové pro hodnocení jeho výhod ve vozovkách lesních cest. Struskové kamenivo se ukazuje jako výhodná alternativa ke štěrku díky svým fyzikálním, chemickým a mechanickým vlastnostem. Na rozdíl od štěrku, struska poskytuje vyšší pevnost a odolnost vůči poškození.

Díky svému složení je také méně náchylná k erozi v důsledku srážek a povětrnostních podmínek. Struska tak snižuje náklady na údržbu a opravy vozovek a zároveň prodlužuje jejich životnost. Navíc, použití struskového kameniva vede k redukci množství vytěženého štěrku, čímž se přispívá ke snižování negativního dopadu na životní prostředí.

Porovnání s betonem

Beton je tradiční materiál používaný ve vozovkách lesních cest. Nicméně, při porovnání se struskovým kamenivem má beton některé nevýhody. Betonové vozovky jsou nákladnější na výstavbu a vyžadují možnost zakládání betonových desek. Oproti tomu, struskové kamenivo je cenově výhodnější a je možné ho přímo pokládat na připravené podloží. Dalším důležitým aspektem je životnost vozovek. Betonové vozovky jsou náchylnější na praskliny a otřesy, zatímco struskové kamenivo je elastické a schopné se přizpůsobit pohybům podloží. To znamená, že vozovky s použitím struskového kameniva jsou odolnější a vykazují lepší výsledky i při dlouhodobém využívání. V normálních podmínkách, betonové vozovky potřebují vyšší údržbu a opravy, což vede ke zvýšeným nákladům. Z těchto důvodů je použití struskového kameniva výhodnou alternativou k betonu pro vozovky lesních cest.

Porovnání s asfaltem

Struskové kamenivo přináší v porovnání s asfaltem několik konkrétních výhod. Za prvé, struska je ekonomičtější volbou, neboť je levnější než asfaltová směs. To může přinést úspory při stavbě i údržbě vozovek. Dále, struskové kamenivo je ekologicky příznivější, protože se jedná o vedlejší produkt při výrobě oceli a nevyžaduje větší těžbu přirozených surovin. Navíc, struska má vynikající mechanické vlastnosti, které jí umožňují odolávat deformacím a prasklinám ve vozovce. Oproti asfaltu má vyšší modul pružnosti a lepší odolnost vůči zatížení. Strukturou i barevností se také zpodobňuje přírodním materiálům, což může přispět k estetickému vzhledu lesních cest. Celkově lze tedy konstatovat, že použití struskového kameniva ve vozovkách představuje výhodnou alternativu k tradičnímu asfaltu.

5. Výsledky

5.1.1 Porovnání výsledků zrnitosti s požadavky ČSN

Porovnání výsledků z laboratorního měření s požadavky podle ČSN 73 6126–1 tabulky 5 – požadavky na zrnitost pro nestmelené směsi MZK, ŠD, a ŠP. Interval zrnitosti je rozdělen od 0/31,5; 0/45 a 0/63. Propad v procentech hmotnosti je rozděleno na síto A (16 mm), síto B (8 mm), síto C (4 mm), síto E (2 mm), síto F (1 mm) a síto G (0,5 mm).

Úsek AT – A–0/32: vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–32 mm, ale odpovídá požadované kategorii zrnitosti pro ŠD 0–32 mm.

Úsek AT – B–0/32: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–32 mm a také neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–32 mm.

Úsek AT – B–0/45: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–45 mm, ale odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–45 mm.

Úsek AT – B 0/63: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–63 mm a také neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–63 mm.

Úsek AT – C 0/32: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–32 mm, ale odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–32 mm.

Úsek AT – C–0/45: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–45 mm, ale odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–45 mm.

Úsek AT – C–0/63: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–63 mm a zároveň odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–63 mm.

Úsek AT – D–0/32: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–32 mm, ale Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–32 mm.

Úsek AT – D–0/45: Vzorek neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–45 mm, ale odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–45 mm.

Úsek AT – E–0/32: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–32 mm, ale neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–32 mm.

Úsek AT – E–0/45: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–45 mm, ale neodpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–45 mm.

Úsek AT – E–0/63: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti GA podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0–63 mm a zároveň odpovídá požadované kategorii zrnitosti GB podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠDB 0–63 mm.

Podle vzorků z laboratorního měření a podle samotných výsledků jsou vzorky nejčastěji shodné s požadavky podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0/45 mm a MZK 0/63 mm. Pro ŠD je nejčastěji shodné s požadavky podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD 0/45 mm a nejvíce shodné pro ŠD 0/32 mm.

5.1.2 Přepočet výsledků na statický modul přetvárnosti a porovnání výsledků s požadavky ČSN pro únosnost vozovky

Pro přepočet hodnoty na modul přetvárnosti bylo možné zvolit koeficient pro šterkodrtě od 1,8 – 2,2 dle tabulky 1 na hodnotu Edef2 (MPa). Pro přepočet hodnot jsem zvolil koeficient 2 z důvodu střední hodnoty.

Úsek A: nejnižší hodnota je 10,34 Evd (NM/m²) a nejvyšší hodnota 41,59 Evd NM/m²). Průměrná hodnota celého úseku je 19,01 Evd (NM/m²). Po přepočtu na Edef2 (MPa) je nejnižší hodnota 25,78 Edef2 (MPa) a nejvyšší hodnota 71,32 Edef2 (MPa). Průměrná hodnota úseku je 40,82 Edef2 (MPa).

Úsek B: nejnižší hodnota je 10,34 Evd (NM/m²) a nejvyšší hodnota 41,59 Evd NM/m²). Průměrná hodnota celého úseku je 19,01 Evd (NM/m²). Po přepočtu na Edef2 (MPa) je nejnižší hodnota 20,68 Edef2 (MPa) a nejvyšší hodnota 83,18 Edef2 (MPa). Průměrná hodnota úseku je 38,01 Edef2 (MPa).

Úsek C: nejnižší hodnota je 12,15 Evd (NM/m²) a nejvyšší hodnota 32,80 Evd NM/m²). Průměrná hodnota celého úseku je 20,15 Evd (NM/m²). Po přepočtu na Edef2 (MPa) je nejnižší hodnota 24,30 Edef2 (MPa) a nejvyšší hodnota 65,60 Edef2 (MPa). Průměrná hodnota úseku je 40,31 Edef2 (MPa).

Úsek D: nejnižší hodnota je 13,42 Evd (NM/m²) a nejvyšší hodnota 50,56 Evd NM/m²). Průměrná hodnota celého úseku je 25,52 Evd (NM/m²). Po přepočtu na Edef2 (MPa) je nejnižší hodnota 26,84 Edef2 (MPa) a nejvyšší hodnota 101,12 Edef2 (MPa). Průměrná hodnota úseku je 51,03 Edef2 (MPa).

Úsek E: nejnižší hodnota je 14,12 Evd (NM/m²) a nejvyšší hodnota 24,56 Evd NM/m²). Průměrná hodnota celého úseku je 19,38 Evd (NM/m²). Po přepočtu na Edef2 (MPa) je nejnižší hodnota 28,24 Edef2 (MPa) a nejvyšší hodnota 49,12 Edef2 (MPa). Průměrná hodnota úseku je 38,76 Edef2 (MPa).

Minimální hodnota je na úseku B, která má po přepočtu 20,68 Edef2 (MPa). Maximální hodnota je na úseku D, která má hodnotu 101,12 Edef2 (MPa).

Podle katalogu vozovek polních cest (technické podmínky – část 2.) naměřené a vypočítané výsledky nedosahují předepsaných hodnot. Katalogový list PN 6-5: netuhé vozovky – kryt nestmelený. Podle ČSN 73 6109 je optimální požadovaná hodnota modulu přetvárnosti podložní zeminy $E_{def,2} = 45$ MPa. V případě vyšších vlhkostních poměrů v podloží lze za postačující považovat i hodnotu $E_{def,2} = 30$ MPa. Pro 30 MPa je modul přetvárnosti podloží stanoven na 115 MPa v podkladní vrstvě. Nejvyšší výsledná hodnota vyšla 101,12 MPa.

Naměřené hodnoty pomocí lehké dynamické desky nedosahují hodnotám dle katalogu vozovek polních cest.

5.2 Rozpočty rekonstrukcí

Úsek 1-A

úsek 1 - A	40,82 Mpa				
Přírodní kamenivo		Struskové kamenivo		délka úseku (m)	660
podloží ŠD 200mm (t/m2)	0,460	podloží struska 200mm (t/m2)	0,283	šířka vozovky podloží (m)	4,96
kryt MZK 180mm (t/m2)	0,446	kryt struska 180mm (t/m2)	0,255	množství na 1 úsek (t)	3273,600
podloží ŠD 200mm (t/m2)	1445,136	podloží struska 200mm (t/m2)	889,073	délka úseku (m)	660
kryt MZK 180mm (t/m2)	1460,026	kryt struska 180mm (t/m2)	834,768	šířka vozovky krytu (m)	4,76
cena za ŠD	700890,960	cena za strusku v podloží	320066,208	množství na 1 úsek (t)	3141,600
cena za MZK	708112,416	cena za strusku v krytu	300516,480		
přesun hmot				přesun hmot (Kč/t)	77,7
podloží +kryt (t)	2905,162	podloží +kryt (t)	1723,841	struska (Kč/t) bez DPH	360
cena za přesun hmot	225731,056	cena za přesun hmot	133942,430	drčený kámen (Kč/t) bez DP	485

úsek 1 - A			
Přírodní kamenivo	částka	Struskové kamenivo	částka
Celkem	1409003,38	Celkem	620582,69
Celkem vč. přesunu hmot	1634734,43	Celkem vč. přesunu hmot	754525,12
Rozdíl cen	880209,31		

Tabulka 1 Úsek 1-A

Ve vybraném úseku 1-A je hodnota 40,82 MPa. Bylo by tedy vhodné udělat rekonstrukci v celé tloušťce vozovky. Pro přírodní kamenivo jsem zvolil: podloží ŠD 200 mm a kryt z MZK 180 mm. Pro struskové kamenivo jsem zvolil: podloží strusku 200 mm a pro kryt strusku 180 mm.

Hodnoty 0,460 a 0,446 je hmotnost pro 1 m2. Hodnoty 0,283 a 0,255 je hmotnost pro 1 m2.

Množství použitého kameniva jsem určil podle skutečné délky úseku (660 m). Střední příčka pro konstrukční vrstvy vozovky je: pro podloží je šířka 4,96m a pro kryt je šířka 4,76m.

Při použití přírodního kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 1 634 734,43,- Kč.

Při použití struskového kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 754 525,12,- Kč.

Cena za použití struskového kameniva do vozovky je oproti přírodnímu kamenivu o 880 209,31,- Kč nižší pro úsek A.

Úsek 2-B

úsek 2- B	38,01 Mpa				
Přírodní kamenivo		Struskové kamenivo		délka úseku (m)	500
podloží ŠD 200mm (t/m2)	0,460	podloží struska 200mm (t/m2)	0,283	šířka vozovky podloží (m)	4,96
kryt MZK 180mm (t/m2)	0,446	kryt struska 180mm (t/m2)	0,255	množství na 1 úsek (t)	2480,000
podloží ŠD 200mm (t/m2)	1094,800	podloží struska 200mm (t/m2)	673,540	délka úseku (m)	500
kryt MZK 180mm (t/m2)	1106,080	kryt struska 180mm (t/m2)	632,400	šířka vozovky krytu (m)	4,76
cena za ŠD	530978,000	cena za strusku v podloží	242474,400	množství na 1 úsek (t)	2380,000
cena za MZK	536448,800	cena za strusku v krytu	227664,000		
přesun hmot				přesun hmot (Kč/t)	77,7
podloží +kryt (t)	2200,880	podloží +kryt (t)	1305,940	struska (Kč/t) bez DPH	360
cena za přesun hmot	171008,376	cena za přesun hmot	101471,538	drcený kámen (Kč/t) bez DP	485

úsek 2- B			
Přírodní kamenivo	částka	Struskové kamenivo	částka
Celkem	1067426,80	Celkem	470138,40
Celkem vč. přesunu hmot	1238435,18	Celkem vč. přesunu hmot	571609,94
Rozdíl cen	666825,24		

Tabulka 2 Úsek 2-B

Ve vybraném úseku 2-B je hodnota 38,01 MPa. Bylo by tedy vhodné udělat rekonstrukci v celé tloušťce vozovky. Pro přírodní kamenivo jsem zvolil: podloží ŠD 200 mm a kryt z MZK 180 mm. Pro struskové kamenivo jsem zvolil: podloží strusku 200 mm a pro kryt strusku 180 mm.

Hodnoty 0,460 a 0,446 je hmotnost pro 1 m². Hodnoty 0,283 a 0,255 je hmotnost pro 1 m².

Množství použitého kameniva jsem určil podle skutečné délky úseku (500 m). Střední příčka pro konstrukční vrstvy vozovky je: pro podloží je šířka 4,96m a pro kryt je šířka 4,76m.

Při použití přírodního kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 1 238 435,18,- Kč.

Při použití struskového kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 571 609,94,- Kč.

Cena za použití struskového kameniva do vozovky je oproti přírodnímu kamenivu o 666 825,24,- Kč nižší pro úsek B.

Úsek 3-C

úsek 3 - C	40,31 Mpa				
Přírodní kamenivo		Struskové kamenivo		délka úseku (m)	450
podloží ŠD 200mm (t/m2)	0,460	podloží struska 200mm (t/m2)	0,283	šířka vozovky podloží (m)	4,96
kryt MZK 180mm (t/m2)	0,446	kryt struska 180mm (t/m2)	0,255	množství na 1 úsek (t)	2232,000
podloží ŠD 200mm (t/m2)	985,320	podloží struska 200mm (t/m2)	606,186	délka úseku (m)	450
kryt MZK 180mm (t/m2)	995,472	kryt struska 180mm (t/m2)	569,160	šířka vozovky krytu (m)	4,76
cena za ŠD	477880,200	cena za strusku v podloží	218226,960	množství na 1 úsek (t)	2142,000
cena za MZK	482803,920	cena za strusku v krytu	204897,600		
přesun hmot				přesun hmot (Kč/t)	77,7
podloží +kryt (t)	1980,792	podloží +kryt (t)	1175,346	struska (Kč/t) bez DPH	360
cena za přesun hmot	153907,538	cena za přesun hmot	91324,384	drčený kámen (Kč/t) bez DP	485

úsek 3 - C			
Přírodní kamenivo	částka	Struskové kamenivo	částka
Celkem	960684,12	Celkem	423124,56
Celkem vč. přesunu hmot	1114591,66	Celkem vč. přesunu hmot	514448,94
Rozdíl cen	600142,71		

Tabulka 3 Úsek 3-C

Ve vybraném úseku 3-C je hodnota 40,31 MPa. Bylo by tedy vhodné udělat rekonstrukci v celé tloušťce vozovky. Pro přírodní kamenivo jsem zvolil: podloží ŠD 200 mm a kryt z MZK 180 mm. Pro struskové kamenivo jsem zvolil: podloží strusku 200 mm a pro kryt strusku 180 mm.

Hodnoty 0,460 a 0,446 je hmotnost pro 1 m². Hodnoty 0,283 a 0,255 je hmotnost pro 1 m².

Množství použitého kameniva jsem určil podle skutečné délky úseku (450 m). Střední příčka pro konstrukční vrstvy vozovky je: pro podloží je šířka 4,96m a pro kryt je šířka 4,76m.

Při použití přírodního kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 1 114 591,66,- Kč.

Při použití struskového kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 514 448,94,- Kč.

Cena za použití struskového kameniva do vozovky je oproti přírodnímu kamenivu o 600 142,71,- Kč nižší pro úsek C.

Úsek 4-D

úsek 4 - D	51,03 Mpa				
Přírodní kamenivo		Struskové kamenivo		délka úseku (m)	700
podloží ŠD 200mm (t/m2)	0,460	podloží struska 200mm (t/m2)	0,283	šířka vozovky podloží (m)	4,96
kryt MZK 180mm (t/m2)	0,446	kryt struska 180mm (t/m2)	0,255	množství na 1 úsek (t)	3472,000
podloží ŠD 200mm (t/m2)	1532,720	podloží struska 200mm (t/m2)	942,956	délka úseku (m)	700
kryt MZK 180mm (t/m2)	1548,512	kryt struska 180mm (t/m2)	885,360	šířka vozovky krytu (m)	4,76
cena za ŠD	743369,200	cena za strusku v podloží	339464,160	množství na 1 úsek (t)	3332,000
cena za MZK	751028,320	cena za strusku v krytu	318729,600		
přesun hmot				přesun hmot (Kč/t)	77,7
podloží +kryt (t)	3081,232	podloží +kryt (t)	1828,316	struska (Kč/t) bez DPH	360
cena za přesun hmot	239411,726	cena za přesun hmot	142060,153	drcený kámen (Kč/t) bez DP	485

úsek 4 - D			
Přírodní kamenivo	částka	Struskové kamenivo	částka
Celkem	1494397,52	Celkem	658193,76
Celkem vč. přesunu hmot	1733809,25	Celkem vč. přesunu hmot	800253,91
Rozdíl cen	933555,33		

Tabulka 4 Úsek 4-D

Ve vybraném úseku 4-D je hodnota 51,03 MPa. Bylo by tedy vhodné udělat rekonstrukci v celé tloušťce vozovky. Pro přírodní kamenivo jsem zvolil: podloží ŠD 200 mm a kryt z MZK 180 mm. Pro struskové kamenivo jsem zvolil: podloží strusku 200 mm a pro kryt strusku 180 mm.

Hodnoty 0,460 a 0,446 je hmotnost pro 1 m2. Hodnoty 0,283 a 0,255 je hmotnost pro 1 m2.

Množství použitého kameniva jsem určil podle skutečné délky úseku (700 m). Střední příčka pro konstrukční vrstvy vozovky je: pro podloží je šířka 4,96m a pro kryt je šířka 4,76m.

Při použití přírodního kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 1 733 809,25,- Kč.

Při použití struskového kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 800 253,91,- Kč.

Cena za použití struskového kameniva do vozovky je oproti přírodnímu kamenivu o 933 555,33,- Kč nižší pro úsek D.

Úsek 5-E

úsek 5 - E	38,76 Mpa				
Přírodní kamenivo		Struskové kamenivo		délka úseku (m)	270
podloží ŠD 200mm (t/m2)	0,460	podloží struska 200mm (t/m2)	0,283	šířka vozovky podloží (m)	4,96
kryt MZK 180mm (t/m2)	0,446	kryt struska 180mm (t/m2)	0,255	množství na 1 úsek (t)	1339,200
podloží ŠD 200mm (t/m2)	591,192	podloží struska 200mm (t/m2)	363,712	délka úseku (m)	270
kryt MZK 180mm (t/m2)	597,283	kryt struska 180mm (t/m2)	341,496	šířka vozovky krytu (m)	4,76
cena za ŠD	286728,120	cena za strusku v podloží	130936,176	množství na 1 úsek (t)	1285,200
cena za MZK	289682,352	cena za strusku v krytu	122938,560		
přesun hmot				přesun hmot (Kč/t)	77,7
podloží +kryt (t)	1188,4752	podloží +kryt (t)	705,208	struska (Kč/t) bez DPH	360
cena za přesun hmot	92344,52304	cena za přesun hmot	54794,631	drčený kámen (Kč/t) bez DP	485

úsek 5 - E			
Přírodní kamenivo	částka	Struskové kamenivo	částka
Celkem	576410,47	Celkem	253874,74
Celkem vč. přesunu hmot	668755,00	Celkem vč. přesunu hmot	308669,37
Rozdíl cen	360085,63		

Tabulka 5 Úsek 5-E

Ve vybraném úseku 5-E je hodnota 38,76 MPa. Bylo by tedy vhodné udělat rekonstrukci v celé tloušťce vozovky. Pro přírodní kamenivo jsem zvolil: podloží ŠD 200 mm a kryt z MZK 180 mm. Pro struskové kamenivo jsem zvolil: podloží strusku 200 mm a pro kryt strusku 180 mm.

Hodnoty 0,460 a 0,446 je hmotnost pro 1 m². Hodnoty 0,283 a 0,255 je hmotnost pro 1 m².

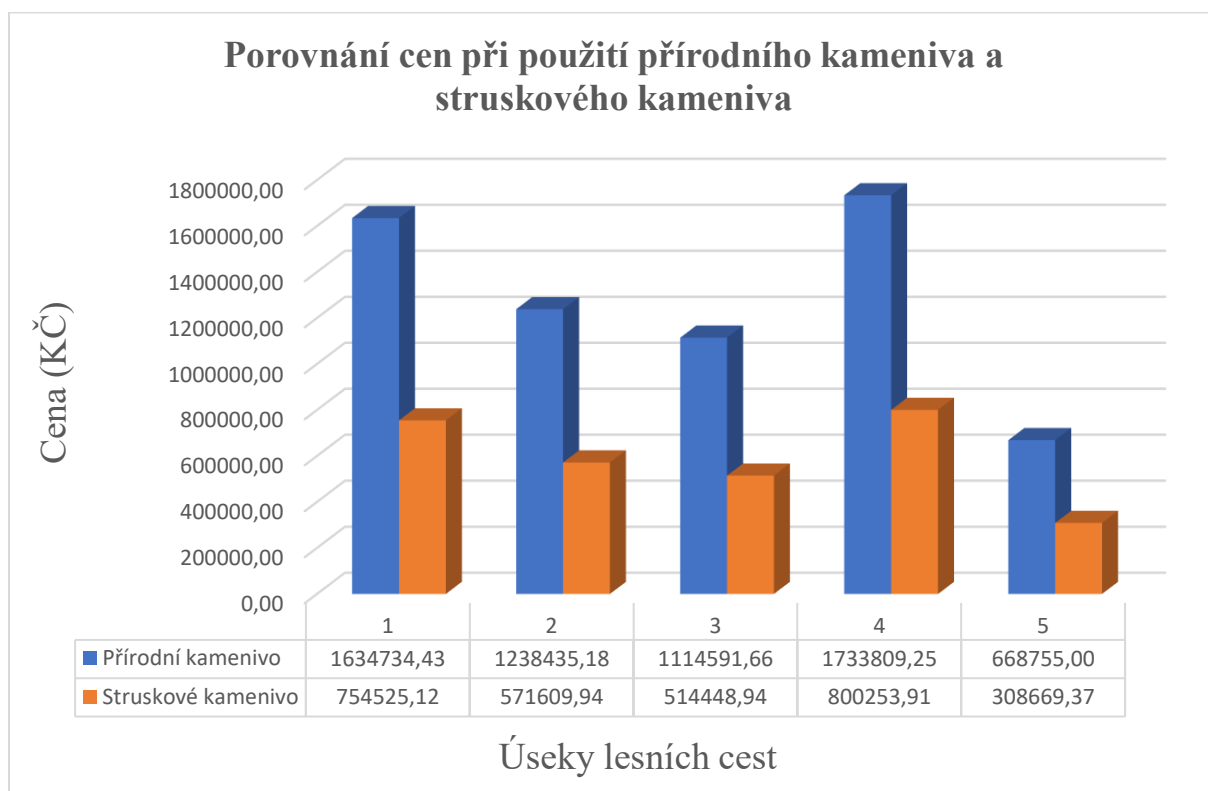
Množství použitého kameniva jsem určil podle skutečné délky úseku (270 m). Střední příčka pro konstrukční vrstvy vozovky je: pro podloží je šířka 4,96m a pro kryt je šířka 4,76m.

Při použití přírodního kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 668 755,00- Kč.

Při použití struskového kameniva je cena za podloží, kryt a přesun hmot 308 669,37,- Kč.

Cena za použití struskového kameniva do vozovky je oproti přírodnímu kamenivu o 360 085,63,- Kč nižší pro úsek E.

5.2.1 Porovnání cen všech úseků



Tabulka 6 Porovnání cen při použití přírodního kameniva a struskového kameniva

V grafu můžeme vidět porovnání hodnot ze všech úseků. Porovnání cen za použití přírodního kameniva s použitím struskového kameniva v úsecích. Označení úseků je 1-A, 2-B, 3-C, 4-D a 5-E.

Celkové shrnutí	
Přírodní kamenivo - průměr (Kč)	1278065,10
Struskové kamenivo - průměr (Kč)	589901,46
Celková délka úseků (m)	2580
Průměrná délka úseků (m)	516
Procentuální rozdíl cen (%)	46

Tabulka 7 Celkové shrnutí rozpočtu

Při celkovém shrnutí je potvrzující, že při použití struskového kameniva může dojít k úspoře finanční částky až o 46 %.

6. Diskuse

Z výsledků pro stanovení únosnosti vozovky je dokazující, že použité směsi nejsou vhodné a nebyly použity správně. Je zřejmé, že použité kamenivo nemá požadovanou únosnost. Naměřené hodnoty pomocí lehké dynamické desky nedosahují hodnotám dle katalogu vozovek polních cest. Z tohoto důvodu by bylo vhodné udělat samostatný katalogový list.

Z laboratorního měření je pro stanovení zrnitosti nejvíce shodných vzorků podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro štěrkodeř 0/32. Ze všech úseku je ale podle měření značné, že aplikované kamenivo nebylo správně použito.

Podle vypočítaného rozpočtu je prokazatelné, že struskové kamenivo je finančně výhodnější než přírodní kamenivo. Při správném použití vysokopeční strusky – struskového kameniva, které má lepší vlastnosti než ocelářská struska, je výhodné použít pro výstavbu nebo rekonstrukci komunikací.

Využívání druhotných produktů jsou již dlouhodobě využívány v zemních pracích. V nejčastějších případech se stává, že jsou problémy způsobeny použitím nevhodných materiálů – ocelářská struska. Ta je totiž méně kvalitní, bývá často levnější a pro takové účely není vhodná. V praxi velice často dochází k záměně těchto dvou rozdílných materiálů. Pokud dojde k deformaci konstrukcí (zvlněné vozovky nebo poškozené podlahy) není to zpravidla způsobeno použitím vysokopeční strusky.

Zkušenosti z jiných zemí potvrzují výhody využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest. Například ve Švédsku se struskové kamenivo používá již několik desetiletí a bylo zaznamenáno, že tato alternativa k tradičním materiálům vykazuje vysokou odolnost vůči zatížení a opotřebení. Ve Finsku a Estonsku se také zjistilo, že struska je výhodná z hlediska stability a odolnosti vozovek. Na Novém Zélandu bylo provedeno porovnání mezi struskou a tradičním štěrkovým povrchem a zjistilo se, že struskové kamenivo je ekonomicky výhodnější a zároveň poskytuje lepší výsledky v oblasti trakce a bezpečnosti provozu. Podobné pozitivní zkušenosti byly také zaznamenány v Kanadě a Spojených státech, kde se struska prokázala jako efektivní a ekologicky šetrná alternativa pro lesní cesty.

Struskové kamenivo se může výhodně srovnávat s tradičními materiály, jako je štěrk, asfalt nebo beton. Naopak štěrk může být náchylný k erozi, asfaltové povrchy vyžadují nákladnou údržbu a beton je často nepružný a trhavý.

Pokud jde o parametr ekonomických výhod, struskové kamenivo je obvykle levnější než tradiční materiály, což představuje značnou úsporu pro lesní správu.

Z hlediska ekologie je struskové kamenivo také výhodné, protože je recyklovaného původu a tím se snižuje spotřeba přírodních zdrojů.

Technicky se struskové kamenivo také osvědčuje, protože má dobrou nosnost, je odolné proti povětrnostním vlivům a snadno se udržuje

Celkově lze tedy říct, že struskové kamenivo má mnoho výhod oproti tradičním materiálům a je vhodnou alternativou pro vozovky lesních cest, pokud je správně dodržený postup a správně vybrané struskové kamenivo.

7. Závěr

Na závěr lze konstatovat, že využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest je výhodné a perspektivní. Struskové kamenivo má řadu výhod, které ho činí vhodným materiálem pro tuto aplikaci. Ekonomické výhody zahrnují nižší náklady na získání a přepravu strusky ve srovnání s tradičními materiály. Ekologické výhody spočívají v jejím sekundárním využití, čímž se minimalizuje množství odpadu. Technické výhody zahrnují odolnost a stabilitu struskového kameniva.

Nicméně, je důležité dodržovat správnou technologii pokládky a provádět pravidelnou údržbu a opravy vozovek. Omezení a rizika spojená s využitím struskového kameniva lze minimalizovat vhodným plánováním a vhodným výběrem lesních cest pro tuto aplikaci. Například v porovnání s betonovou vozovkou, která je křehká a lámavá, a to značně omezuje její použití v lesních prostředích. Tyto problémy a omezení ukazují, že je třeba najít alternativní materiál pro lesní cesty, který by přinášel efektivnější a udržitelnější řešení.

Pro úspěšnou implementaci struskového kameniva ve vozovkách je důležité opírat se o příklady úspěšného využití v různých oblastech a informace z jiných zemí, které mohou poskytnout užitečné zkušenosti a poznatky. Celkově lze tedy konstatovat, že využití struskového kameniva ve vozovkách lesních cest je perspektivní a přináší řadu výhod, pokud jsou dodrženy správné postupy a podmínky pro jeho využití.

Tradiční materiály ve vozovkách lesních cest často přinášejí různé problémy a omezení. Například použití štěrku může vést k častým opravám, protože štěrkový povrch je náchylný ke vzniku jamek a výmolů. Navíc štěrková vozovka může být pro uživatele lesních cest kluzká, zejména při deštivém počasí. Asfaltové vozovky jsou sice odolné vůči poškození a mají lepší přilnavost, ale stavba asfaltové vozovky je časově i finančně náročná.

V našich podmínkách je struskové kamenivo zatím využíváno jen v omezené míře a jeho vlastnosti pro tuto konkrétní aplikaci nejsou dostatečně prozkoumané.

Na základě výsledků provedených měření a zhodnocení únosnosti vozovek lze formulovat několik doporučení pro zlepšení. Je nezbytné pravidelně monitorovat a správně udržovat povrchy vozovek, aby se minimalizovalo vznikání trhlin a nerovností, které snižují únosnost. Je také vhodné zvážit optimalizaci zatížení vozovek a případně omezit průjezd těžkých vozidel na místech s většími deformacemi.

Použití struskového kameniva je ekonomicky efektivním řešením, které vytváří přidanou hodnotu a snižuje provozní náklady.

V neposlední řadě je důležité brát v úvahu klimatické podmínky při výstavbě a údržbě vozovek, aby byly schopné odolat extrémním teplotám a vlhkosti. Tato doporučení by měla přispět k zvýšení bezpečnosti silničního provozu a prodloužení životnosti vozovek.

8. Bibliografie

138, TP. 2000. *Užití struskového kameniva do pozemních komunikací.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2000.

AÏTCIN, Pierre-Claude. 2005. *Vysokohodnotný beton. 1.* ISBN 80-86769-39-9. Praha : ČKAIT, 2005.

Bamigboye, Gideon O., et al. 2021. *Waste materials in highway applications: An overview on generation and utilization implications on sustainability.* 124581.academia.edu : Journal of Cleaner Production 283 , 2021.

Boháč, M. 2011. *Vývoj cementových směsí pro sklovláknový kompozit, Disertační práce. Masarykova univerzita, Fakulta přírodovědecká. Vedoucí práce doc. RNDr. Miroslava Gregerová, CSc.* Brno : autor neznámý, 2011.

Boháčová, D. 2012. *Analýza Hydroizolačních Technologii pro Sanaci Historických Objektů.* Praha : autor neznámý, 2012.

Bureš, J. 2023. *Potenciál využití recyklovaných materiálů ve stavebnictví v Plzeňském kraji.* Plzeň : zcu.cz, 2023.

BUZATU T., TALPOS E., PETRESCU M. I., GHICA V. G., IACOB G., BUZATU M. 2015. *Utilization of granulated lead slag as a structural material in roads constructions.* místo neznámé : Journal of Material Cycles and Waste Management, <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0297-z>, 2015.

Daniel, B. 2024. *Vliv náhrad drceného kameniva na bázi strusky na vybrané vlastnosti betonů pro CB kryty.* místo neznámé : cvut.cz, 2024.

Daniel, V. 2020. *Stanovení nákladů životního cyklu silničních vozovek.* Praha : cvut.cz, 2020.

Das, Shaswat Kumar, et al. 2023. *Ferrochrome slag: a critical review of its properties, environmental issues and sustainable utilization.* místo neznámé : Journal of Environmental Management 326, 2023.

Denisa, B. 2022. *Analýza hydroizolačních technologií pro sanaci historických objektů.* místo neznámé : cvut.cz, 2022.

doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc. (ed.). 2020. *Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě.* Praha : Ministerstvo zemědělství Těšnov, 2020. 978-80-7434-556-2.

DONDI G., MAZZOTTA F., LANTIERI C., CUPPI F., VIGNALI V., SANGIOVANNI C. 2014. *Use of Steel Slag as an Alternative to Aggregate and Filler in Road Pavements. Materials. Vol. 14.* 2014.

Eminger, L. 2022. *Optimalizace návrhu složení ultra-vysokohodnotného betonu (UHPC) pro místní betonárny.* Pardubice : upce.cz, 2022.

Erber, Gernot, et al. 2021. *Periodical maintenance of forest roads with a mobile stone crusher." Croatian Journal of Forest Engineering.* místo neznámé : Journal for Theory and Application of Forestry Engineering 42.1, 2021.

Fazekas, K. 2021. *Rizika implementace BIM do procesu projektové přípravy, správy a údržby vozovek pozemních komunikací.* Praha : cvut.cz, 2021.

Grajewski, S. M. 2022. *Forest road engineering in Poland: current status and development perspectives.* místo neznámé : sylwan, icm.edu.pl, 2022.

Grajewski, Sylwester M. 2023. *Evaluation of Light Falling Weight Deflectometer for In Situ Measurement of Secondary Deformation Modulus of Various Forest Road Pavements.* místo neznámé : roatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering 44.2, 2023.

Grassinger, T. 2022. *Historie chemických výroby na území ČR.* Praha : cvut.cz, 2022.

Hanák, Karel. 2008. *Stavby pro plnění funkcí lesa.* Praha : ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, 2008. 978-80-87093-76-4.

Hrůza, Petr, et al. 2020. *Recycled asphalt as an alternative to natural aggregates for forest road reinforcement.* Croatian : Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering 41.1 , 2020.

INSTITUT, ČESKÝ NORMALIZAČNÍ. 1996. *lesní dopravní síť.* Praha : Český normalizační institut, ČSN 736108 , 1996.

Jana, Fréharová. 2019. *Využívání vedlejších energetických produktů a jeho vliv na životní prostředí.* Brno : autor neznámý, 2019.

Jana, H. 2024. *Progresivní metoda zjišťování velikosti kontaktní plochy mezi pražcem a kolejovým ložem.* místo neznámé : cvut.cz, 2024.

Jaroslav, Tománek. 2018. *Lesnické stavby.* Praha : autor neznámý, 2018. 978-80-213-2880-8.

Jirásek, J., Vavro, M. 2008. *Nerostné suroviny a jejich využití.* Ostrava : Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská – Technická univerzita ISBN 978-80-248-1378-3, 2008.

Kateřina, S. 2021. *Posouzení environmentálních a ekonomických dopadů životního cyklu průmyslového výrobku.* místo neznámé : cvut.cz, 2021.

Kateřina, Š. 2020. *Strusky a popílky jako alternativní hydraulická pojiva pro užití v dopravním stavitelství.* místo neznámé : cvut.cz, 2020.

KRAYUSHKINA K., PRENTKOVSKIS O., BIELIATYNSKYI A., JANEVIČIUS R. 2012. *Use of steel slags in automobile road construction.* 2012.

Li, L., Ling, T. C., and Pan, S. Y. 2022. *Environmental benefit assessment of steel slag utilization and carbonation: A systematic review.* místo neznámé : Science of The Total Environment, 2022.

Lopes, Emerson Cordeiro, et al. 2023. *Stabilisation of clayey and sandy soils with ladle furnace slag fines for road construction.* Road Materials and Pavement Design 24.1 : autor neznámý, 2023.

Lucie, L. 2020. *Přilnavost a odolnost proti účinkům vody u asfaltových směsí-vliv filerů a přilnavostních přísad.* místo neznámé : cvut.cz, 2020.

Majerčák, Š., Brož, L. 1988. *Výroba surového železa, Hutnictví železa.* Praha : SNTL, 1988.

Mbiyana, Keegan, et al. 2023. *Literature Review on Gravel Road Maintenance: Current State and Directions for Future Research.* "Transportation Research Record 2677.5. místo neznámé : sagepub.com, 2023.

Pascal, André. 1997. *Recycling Strategies for Road Works, OECD, ROAD RESEARCH.* Paris : Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj, 1997. 9264154612.

Pavel, K. 2024. *Vliv uplatnění vysokopecních strusek a fluidního popílku jako náhrad cementu v betonech pro cementobetonové kryty na konečnou cenu vozovky.* Praha : cvut.cz, 2024.

—. 2024. *Vliv uplatnění vysokopecních strusek a fluidního popílku jako náhrad cementu v betonech pro cementobetonové kryty na konečnou cenu vozovky.* Praha : cvut.cz, 2024.

Polák, Bc. Marek. 2019. *Využití elektrárenské strusky pro konstrukci pozemních komunikací.* Praha : cvut.cz, 2019.

PRIBULOVA A., FUTAS P. , BARICOVA D. 2016. *Processing and utilization of metallurgical slags. Production Engineering Archives.* 2016. 2353-7779.

Susanto, I., Irawan, R. R., and Hamdani, D. 2020. *Nickel slag waste utilization for road pavement material as strategy to reduce environmental pollution.* E3S Web of Conferences : e3s-conferences.org, 2020.

Tereza, V. 2021. *Analýza trvanlivosti stability asfaltových směsí.* cvut.cz : autor neznámý, 2021.

Vacková, P. 2020. *Výzkum a zhodocení vybraných vlastností ovlivňujících životnost asfaltových vozovek.* Praha : autor neznámý, 2020.

Vlastislav, T. 2021. *Využití stříkaného betonu pro definitivní ostění podzemních staveb.* Praha : cvut.cz, 2021.

8.1 Ostatní zdroje a použité zákony, vyhlášky a normy

ČSN 73 6192 *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží. ICS 93.080.10, Praha: ÚNMZ, březen 1996.*

ECM-LDD 100 [online]. Electronic Control & Measurement s.r.o. [vid. 7.5.2014]. Dostupné z: <http://www.ecm-cz.com/cs/ecm-produkty-ldd100.php>

<http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/hmoty/kamenivo.html>

8.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 Lesní cesta, zdroj: Adam Trefil.....	12
Obrázek 2 Struskové kamenivo, zdroj: Adam Trefil.....	17
Obrázek 3 Odběr vzorků, zdroj: Adam Trefil.....	28
Obrázek 4 Lehká dynamická deska, zdroj: Adam Trefil.....	32
Obrázek 5 Přírodní drcené kamenivo, zdroj: Adam Trefil.....	34

8.3 Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1 Úsek 1-A.....	40
Tabulka 2 Úsek 2-B.....	41
Tabulka 3 Úsek 3-C.....	42
Tabulka 4 Úsek 4-D.....	43
Tabulka 5 Úsek 5-E.....	44
Tabulka 6 Porovnání cen při použití přírodního kameniva a struskového kameniva	45
Tabulka 7 Celkové shrnutí rozpočtu.....	45
Tabulka 8 Přepočtní tabulka Evd na Edef2 (MPa)	52
Tabulka 9 Sítový rozbor – A 0/32.....	53
Tabulka 10 Sítový rozbor – B 0/32	54
Tabulka 11 Sítový rozbor – B 0/45.....	55
Tabulka 12 Sítový rozbor – B 0/63	56
Tabulka 13 Sítový rozbor – C 0/32	57
Tabulka 14 Sítový rozbor – C 0/45	58
Tabulka 15 Sítový rozbor – C 0/63	59
Tabulka 16 Sítový rozbor – D 0/32	60
Tabulka 17 Sítový rozbor – D 0/45	61
Tabulka 18 Sítový rozbor – E 0/32.....	62
Tabulka 19 Sítový rozbor – E 0/45.....	63
Tabulka 20 Sítový rozbor – E 0/63.....	64

9. Přílohy

Orientační přepočít E_{vd} na E_{def2}

	Rozpětí E _{vr} (MPa)	Koeficient na E _{def,2} (MPa)
1. pro hlinité a jílovité zeminy tuhé až pevné konzistence (I _c = 0,7 - 1,3)	0 až 5	0,5
	5 až 10	0,7
	10 až 15	0,8
	15 až 20	1
	20 až 25	1,2
	25 až 30	1,3
	30 až 35	1,5
	frakce	Koeficient na E _{def,2} (MPa)
Recyklaty	0-16	1,6
	16-32	1,7
	32-63	1,8
	popis materiálu	Koeficient na E _{def,2} (MPa)
Ostatní	šterkopisky	1,6 až 1,8
	šterkodrtě	1,8 až 2,2
	makadam	2,0 až 2,6

Pro přesnější hodnoty korelace doporučujeme provést srovnávací zkoušky

Tabulka 8 Přepočítací tabulka E_{vd} na E_{def2} (MPa)

Možnosti využití struskového kameniva va vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-A	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-32 G _A		ŠD 0-32 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				4	6,0	
0,125				6	8,9	
0,25				9	12,8	
0,5	0	20	5	35	13	17,5
1	10	35	9	40	18	23,8
2	15	40	16	47	25	33,5
4	22	50	22	60	36	47,2
5,6	29	58	29	64	42	56,3
8	35	65	35	68	50	67,0
11,2	45	75	45	78	60	72,7
16	55	85	55	85	71	81,8
22,4					84	91,8
31,5					100	96,8
45					100	100,0
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 31,5 mm.
FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 32 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 32 mm.

Tabulka 9 Síťový rozbor – A 0/32

Možnosti využití struskového kameniva va vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-B	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾				Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v % hm.
	MZK 0-32 G _A		ŠD 0-32 G _B			
0,05						
0,09						
0,063					4	13,6
0,125					6	15,4
0,25					9	17,6
0,5	0	20	5	35	13	19,6
1	10	35	9	40	18	21,6
2	15	40	16	47	25	24,7
4	22	50	22	60	36	29,8
5,6	29	58	29	64	42	33,0
8	35	65	35	68	50	38,6
11,2	45	75	45	78	60	43,4
16	55	85	55	85	71	53,8
22,4					84	68,1
31,5					100	80,6
45					100	94,5
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 31,5 mm.
FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 32 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 32 mm.

Možnosti využití struskového kameniva ve vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-B	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾				Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v % hm.
	MZK 0-45 G _A		ŠD 0-45 G _B			
0,05						
0,09						
0,063					4	13,6
0,125					5	15,4
0,25					7	17,6
0,5	0	20	5	35	11	19,6
1	10	35	9	40	15	21,6
2	15	40	16	47	21	24,7
4	19	45	19	53	30	29,8
5,6	22	50	22	60	35	33,0
8	28	57	28	64	42	38,6
11,2	35	65	35	68	50	43,4
16	45	77	45	77	60	53,8
22,4	55	85	55	85	71	68,1
31,5					84	80,6
45					100	94,5
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 45 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.*

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 45 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 45 mm.

Tabulka 11 Sítový rozbor – B 0/45

Možnosti využití struskového kameniva va vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-B	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾				Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v % hm.
	MZK 0-63 G _A		ŠD 0-63 G _B			
0,05						
0,09						
0,063					3	13,6
0,125					4	15,4
0,25					6	17,6
0,5					9	19,6
1	0	20	5	35	13	21,6
2	10	35	9	40	18	24,7
4	15	40	16	47	25	29,8
5,6	21	45	19	54	30	33,0
8	22	50	22	60	36	38,6
11,2	28	58	28	64	42	43,4
16	35	65	35	68	50	53,8
22,4	45	75	45	77	60	68,1
31,5	55	85	55	85	71	80,6
45					85	94,5
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 63 mm.
FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 63 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 63 mm.

Tabulka 12 Sítový rozbor – B 0/63

Možnosti využití struskového kameniva ve vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-C	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-32 G _A		SD 0-32 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				4	18,1	
0,125				6	20,5	
0,25				9	23,7	
0,5	0	20	5	35	13	28,5
1	10	35	9	40	18	34,0
2	15	40	16	47	25	41,6
4	22	50	22	60	36	51,6
5,6	29	58	29	64	42	57,9
8	35	65	35	68	50	65,8
11,2	45	75	45	78	60	70,1
16	55	85	55	85	71	76,7
22,4					84	81,7
31,5					100	87,9
45					100	94,6
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 31,5 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.*

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 32 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 32 mm.

Tabulka 13 Síťový rozbor – C 0/32

Možnosti využití struskového kameniva va vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍŤOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-C	
Síťo (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-45 G _A		ŠD 0-45 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				4	18,1	
0,125				5	20,5	
0,25				7	23,7	
0,5	0	20	5	35	11	28,5
1	10	35	9	40	15	34,0
2	15	40	16	47	21	41,6
4	19	45	19	53	30	51,6
5,6	22	50	22	60	35	57,9
8	28	57	28	64	42	65,8
11,2	35	65	35	68	50	70,1
16	45	77	45	77	60	76,7
22,4	55	85	55	85	71	81,7
31,5					84	87,9
45					100	94,6
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 45 mm.
FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 45 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 45 mm.

Tabulka 14 Síťový rozbor – C 0/45

Možnosti využití struskového kameniva ve vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-C	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-63 G _A		ŠD 0-63 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				3	18,1	
0,125				4	20,5	
0,25				6	23,7	
0,5				9	28,5	
1	0	20	5	35	13	34,0
2	10	35	9	40	18	41,6
4	15	40	16	47	25	51,6
5,6	21	45	19	54	30	57,9
8	22	50	22	60	36	65,8
11,2	28	58	28	64	42	70,1
16	35	65	35	68	50	76,7
22,4	45	75	45	77	60	81,7
31,5	55	85	55	85	71	87,9
45					85	94,6
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 63 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.*

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 63 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 63 mm.

Tabulka 15 Sítový rozbor – C 0/63

Možnosti využití struskového kameniva va vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-D	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-32 G _A		SD 0-32 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				4	19,8	
0,125				6	22,3	
0,25				9	25,5	
0,5	0	20	5	35	29,6	
1	10	35	9	40	34,0	
2	15	40	16	47	39,8	
4	22	50	22	60	46,8	
5,6	29	58	29	64	50,8	
8	35	65	35	68	56,2	
11,2	45	75	45	78	58,6	
16	55	85	55	85	65,7	
22,4				84	70,9	
31,5				100	77,2	
45				100	100,0	
63				100	100,0	

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 31,5 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.*

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 32 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 32 mm.

Tabulka 16 Síťový rozbor – D 0/32

Možnosti využití struskového kameniva va vozovkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-D	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole CSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-45 G _A	ŠD 0-45 G _B				
0,05						
0,09						
0,063				4	19,8	
0,125				5	22,3	
0,25				7	25,5	
0,5	0	20	5	35	11	29,6
1	10	35	9	40	15	34,0
2	15	40	16	47	21	39,8
4	19	45	19	53	30	46,8
5,6	22	50	22	60	35	50,8
8	28	57	28	64	42	56,2
11,2	35	65	35	68	50	58,6
16	45	77	45	77	60	65,7
22,4	55	85	55	85	71	70,9
31,5					84	77,2
45					100	100,0
63					100	100,0

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 45 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.*

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 45 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 45 mm.

Tabulka 17 Sítový rozbor – D 0/45

Možnosti využití struskového kameniva va vozovkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-E	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-32 G _A	ŠD 0-32 G _B				
0,05						
0,09						
0,063				4	6,8	
0,125				6	8,4	
0,25				9	10,9	
0,5	0	20	5	35	13	14,7
1	10	35	9	40	18	20,0
2	15	40	16	47	25	27,6
4	22	50	22	60	36	37,5
5,6	29	58	29	64	42	43,0
8	35	65	35	68	50	49,9
11,2	45	75	45	78	60	54,6
16	55	85	55	85	71	63,6
22,4					84	68,3
31,5					100	74,4
45					100	79,5
63					100	95,4

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 31.5 mm.
FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 32 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 32 mm.

Tabulka 18 Síťový rozbor – E 0/32

Možnosti využití struskového kameniva va vozkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-E	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-45 G _A		ŠD 0-45 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				4	6,8	
0,125				5	8,4	
0,25				7	10,9	
0,5	0	20	5	35	11	14,7
1	10	35	9	40	15	20,0
2	15	40	16	47	21	27,6
4	19	45	19	53	30	37,5
5,6	22	50	22	60	35	43,0
8	28	57	28	64	42	49,9
11,2	35	65	35	68	50	54,6
16	45	77	45	77	60	63,6
22,4	55	85	55	85	71	68,3
31,5					84	74,4
45					100	79,5
63					100	95,4

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 45 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete. In: Transactions of the American Society of Civil Engineers. 1907, s 67-143.*

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 45 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 - 45 mm.

Tabulka 19 Sítový rozbor – E 0/45

Možnosti využití struskového kameniva va vozovkách lesních cest na Ostravsku

Čára zrnitosti kameniva podle ČSN EN 933-1 (prosévání za mokra)

SÍTOVÝ ROZBOR - VZOREK (označení)					AT-C	
Síto (mm)	Obor zrnitosti pole ČSN EN 13 285 ed. 2 ¹⁾			Fullerova křivka ²⁾	Propad sítím v %	
	MZK 0-63 G _A		ŠD 0-63 G _B			
0,05						
0,09						
0,063				3	6,8	
0,125				4	8,4	
0,25				6	10,9	
0,5				9	14,7	
1	0	20	5	35	13	20,0
2	10	35	9	40	18	27,6
4	15	40	16	47	25	37,5
5,6	21	45	19	54	30	43,0
8	22	50	22	60	36	49,9
11,2	28	58	28	64	42	54,6
16	35	65	35	68	50	63,6
22,4	45	75	45	77	60	68,3
31,5	55	85	55	85	71	74,4
45					85	79,5
63					100	95,4

Poznámka:

- 1) Silně označené hodnoty jsou převzaty z ČSN EN 13 285 ed. 2. Šedě označené hodnoty jsou dopočítané; nejedná se o tabulkové hodnoty ani o hodnoty naměřené.
- 2) Ideální zrnitostní křivka podle W. B. Fullera pro frakci kameniva 0 - 63 mm. FULLER, W. B. a S. E. THOMPSON. *The laws of proportioning concrete*. In: *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. 1907, s 67-143.

Závěr: Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_A podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro MZK 0 - 63 mm.

Vzorek odpovídá požadované kategorii zrnitosti G_B podle ČSN EN 13 285 ed. 2 pro ŠD_B 0 -63 mm.

Tabulka 20 Sítový rozbor – E 0/63