

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULA STAVEBNÍ
KATEDRA ŽELEZNIČNÍCH STAVEB



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hodnocení granulometrického znečištění kolejového
lože ve vztahu k následné recyklaci

Autor: Tereza Zemanová

Vedoucí práce: Ing. Martin Lidmila Ph.D.

Praha, 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Hodnocení granulometrického znečištění kolejového lože ve vztahu k následné recyklaci zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ...

.....

Jméno Příjmení

Poděkování

Děkuji Ing. Martinu Lidmilovi Ph.D. za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Petře Čížkové za pomoc a milý přístup v průběhu psaní.

HODNOCENÍ GRANULOMETRICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ
KOLEJOVÉHO LOŽE VE VZTAHU K NÁSLEDNÉ RECYKLACI

RATING OF GRANULOMETRIC POLLUTION OF BALLAST IN
RELATION TO THE SUBSEQUENT RECYCLING

Anotace

Tato práce se zabývá charakteristikou kameniva pro kolejové lože, zejména jeho znečištěním a recyklací. Je zde řešeno několik způsobů postupu odběru vzorků a jejich vzájemné porovnání podle výsledků laboratorních měření, které byly vyhotoveny v laboratoři katedry železničních staveb ČVUT v Praze.

Klíčová slova:

Kamenivo, znečištění, kolejové lože, recyklace kameniva

Summary

This bachelor thesis deals with the characteristics of construction aggregate of track ballast. It deals in particular with its pollution and recycling. Several different ways of sampling the aggregate are being considered. Moreover the samples are tested and test results are then compared in the laboratories of the Department of railway structures, CTU in Prague.

Key words:

Aggregates, pollution, railway ballast, aggregate recycling

Obsah

1. Úvod	9
2. Kolejové lože – úvod do problematiky	10
2.1. Funkce kolejového lože	10
2.2. Kamenivo pro kolejové lože	10
2.3. Základní charakteristiky kameniva.....	12
2.4. Křivka zrnitosti	14
2.5. Zkoušky kameniva	16
2.5.1. Sítový rozbor	16
2.5.2. Index plochosti.....	18
2.5.3. Tvarový index	20
2.5.4. Zaoblenost hran	20
3. Znečištění kolejového lože.....	22
3.1. Ekologické znečištění.....	22
3.1.1. Vznik a následky	22
3.1.2. Řešení	23
3.1.3. Kontrolní den	23
3.2. Znečištění mechanického původu	24
3.2.1. Vznik	25
3.2.2. Následky	26
3.2.3. Hodnocení	26
4. Recyklace kolejového lože	28
5. Technologie odběru vzorků	30
5.1. Teorie odběru vzorků pro zkoušky na ekologické znečištění	30
5.2. Odběr vzorků pro hodnocení mechanického znečištění.....	31
6. Vyhodnocování intenzity mechanického znečištění.....	32

7. Rešerše	33
8. Praktická část	39
8.1. Odběr vzorků	39
8.1.1. Historie a popis úseku trati.....	39
8.1.2. Postupy odběru vzorků	40
8.1.3. Přehled odebraných vzorků	42
8.2. Laboratorní měření	44
8.2.1. Porovnání křivek zrnitosti v závislosti na místě odběru	44
8.2.2. Vliv postupu prosévací zkoušky na výslednou křivku zrnitosti	47
8.2.3. Porovnání křivky zrnitosti vzorku z deponie s odebranými vzorky z koleje.....	52
8.3. Výsledky recyklace.....	53
9. Závěr.....	55
10. Zdroje	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ	61
SEZNAM TABULEK.....	62
SEZNAM OBRÁZKŮ	63
SEZNAM PŘÍLOH	64

1. Úvod

Tato bakalářská práce se věnuje znečištění kolejového lože, které lze rozdělit na znečištění mechanického a ekologického původu. Tato práce stručně popisuje znečištění ekologického původu, avšak převážná část práce je zaměřená na znečištění mechanického původu.

Studie popisuje informace o vzniku a důsledcích mechanického znečištění kolejového lože. Hlavním tématem studie je granulometrické znečištění štěrkového lože, jak vzniká a jaký má vliv na správnou funkci kolejového lože.

Tuto práci je možno rozdělit do dvou částí – teoretickou rešeršní část a praktickou část, zastoupenou prací v laboratoři. Výstupem z rešeršní a praktické části by měl být návrh optimalizace či zjednodušení postupu práce recyklační firmy.

Cílem rešeršní části je zjištění postupů současných metod odbírání vzorků kameniva z kolejového lože a následné vytvoření optimálního návrhu postupu odběru vzorků a návrh postupu laboratorních zkoušek. Tyto návrhy jsou v praktické části bakalářské práce ověřovány. Výsledky laboratorních zkoušek jednotlivých vzorků jsou vzájemně porovnávány. Výstupem z laboratorních zkoušek by mělo být zhodnocení znečištění a doporučení postupu recyklačních firem, jak z hlediska odbírání vzorků, tak z hlediska následných laboratorních měření potřebných k zjištění postupu recyklace.

2. Kolejové lože – úvod do problematiky

Úvodem teoretické části studie je vhodné seznámit se se základními pojmy, které je třeba vymezit.

Kolejové lože je základní částí konstrukce železničního svršku a je tvořeno kamenivem frakce 31,5/63. Mezi hlavní funkce štěrkového lože patří přenášení silových účinků železničního provozu z kolejnicových podpor na pláň tělesa železničního spodku. Dále slouží k zajištění odporu proti příčnému a podélnému posunu kolejového roštu a k tlumení dynamických účinků provozu. Tloušťka kolejového lože závisí na materiálu, ze kterého jsou vyrobeny pražce a na významnosti tratě. U betonových pražců se pohybuje tloušťka kolejového lože od 300 do 350 mm. Stejně tloušťky vrstvy kameniva se využívá také při použití ocelových pražců. Jsou-li pro konstrukci koleje použity dřevěné pražce, je tloušťka kolejového lože menší. Pohybuje se již od 200 mm. Maximální výška kolejového lože je 900 mm.[5] Základní požadavky pro kolejové lože jsou propustnost a mrazuvzdornost, pružnost a stabilita, vzájemná elektrická izolace kolejnicových pásů.

2.1. Funkce kolejového lože

Nejdůležitější funkcí kolejového lože je roznášení zatížení z kolejového roštu na pláň tělesa. Kolejové lože je schopno přenášet velká svislá tlaková zatížení na základě úhlu vnitřního tření. Schopnost přenášení tahového namáhání a vodorovného zatížení je výrazně nižší. Další funkcí kolejového lože je úprava výškové a směrové polohy koleje. Kolejové lože zabraňuje příčnému či podélnému posunu pražců. Díky tomu, že zvyšuje pružnost kolejového svršku, napomáhá tlumení dynamických účinků železničních vozidel.

Důležitou funkcí je zabezpečení odvedení srážkové vody. V případě nedostatečně propustného štěrkového lože dochází k degradaci betonových pražců a tím zkrácení doby životnosti. Nejzávažnějším důsledkem snížené propustnosti kolejového lože je snížení únosnosti podloží.

2.2. Kamenivo pro kolejové lože

Kolejové lože je tvořeno štěrkem frakce 31,5/63. Použité kamenivo musí splňovat požadované vlastnosti dané Obecnými technickými podmínkami „*Kamenivo pro kolejové lože železničních drah*“. Tyto požadované vlastnosti musí být prokázány prodejcem

kameniva. Výrobce kameniva musí mít platné „Osvědčení o kvalitě kameniva pro kolejové lože“, která vydává a kontroluje Správa železniční dopravní cesty (dále jen „SŽDC“). Je třeba, aby použitý materiál zaručoval své vlastnosti po předpokládanou dobu životnosti stavby. Mezi požadované vlastnosti patří mechanická pevnost a stabilita stavby, ochrana šíření hluku a ochrana zdraví a životního prostředí.

Vhodné horniny pro výrobu drceného kameniva pro kolejové lože jsou vyvřelé horniny, kterými jsou například čedič, diorit a žula. Naopak nevhodnými horninami jsou sedimenty a metamorfity, např. břidlice, vápence a dolomity, a to kvůli své vysoké štěpnosti.

Kamenivo pro šterkové lože můžeme rozdělit podle původu a podle jakosti.

Podle původu rozeznáváme kamenivo nové přírodní, recyklované a umělé. Nové přírodní kamenivo je „*kamenivo pro kolejové lože nerostného původu, které bylo zpracováno pouze mechanicky*“¹. Může být vyráběno pouze z hornin nezasažených zvětráváním, nenamrzavých hornin a hornin odolných vůči povětrnostním vlivům. Kamenivo by mělo být odolné vůči dynamickým účinkům železničního provozu.

Umělé kamenivo je kamenivo anorganického původu, které bylo zpracováno tepelným nebo jiným procesem. Vyrábí se drcením a tříděním vychlazené vysokopeční strusky, která má vhodné chemické složení. Tato struska vzniká při výrobě surového železa a je řízeně skladována. Toto kamenivo lze použít pouze na koleje 5. – 6. řádu. [5]

Recyklované kamenivo pro kolejové lože je kamenivo upravené z již dříve použitého kameniva pro kolejové lože. Toto kamenivo se vytěží z kolejového lože železničních drah a je upravováno v recyklačních zařízeních podle obecných technických podmínek. Tuto recyklaci mohou provádět pouze firmy, které mají platné „*Osvědčení o způsobilosti k provádění recyklace kameniva pro kolejové lože*“. Existují speciální požadavky pro skladování a recyklaci vytěženého materiálu. [2] Kamenivo vytěžené z kolejí 1. - 4. řádu je nutné skladovat odděleně od kameniva vytěženého z kolejí 5. - 6. řádu a to z důvodu následného zařazení kameniva do tříd jakosti. Recyklované kamenivo do kolejového lože

¹ *Kolejové lože: základ konstrukce koleje*. ČVUT v Praze, Katedra železničních staveb - ZST2. str.12

lze znovu použít na tratích stejného nebo nižšího řádu. Recyklované kamenivo je možné použít do kolejového lože v plném profilu na tratích s rychlostí do 80 km/h. Na tratích s rychlostí do 160 km/h lze použít recyklované kamenivo pouze do spodní vrstvy max. 50 mm pod úroveň ložné plochy pražců. Na tratích s rychlostí nad 160 km/h není povoleno recyklované kamenivo používat. [5]

Kamenivo pro kolejové lože se v České republice zařazuje z hlediska následného použití do tříd. Rozeznáváme třídy B I, B II a C na základě vlastností a jakosti. Požadavky pro zařazení kameniva do tříd jsou uvedeny v OTP [1] a v normě ČSN EN 13450 [3].

2.3. Základní charakteristiky kameniva

Požadavky na charakteristiky kameniva pro kolejové lože lze rozdělit do dvou kategorií – požadavky na geometrické vlastnosti kameniva a fyzikální vlastnosti kameniva. [3]

Geometrické vlastnosti:

- Frakce kameniva – frakce kameniva použitelná pro konstrukci kolejového lože je 31,5/63 nebo 31,5/50. Vždy je nutné, aby bylo kamenivo řádně označené.
- Zrnitost – zrnitosti kameniva pro kolejové lože je věnována kapitola 2.4.
- Jemné částice – jsou částice v kamenivu, které propadnou sítím 0,063mm. Jejich množství se stanovuje před prosévací zkouškou a to ve fázi praní kameniva
- Drobná zrna – obsah drobných zrn v kamenivu se stanovuje pomocí síta o velikosti ok 0,5 mm. Zrna, která propadnou tímto sítím, jsou označována jako drobná zrna. Jejich maximální množství je stanoveno v EN 933-1.
- Tvar zrn
 - Index plochosti- je určen hmotnostním podílem částic propadlých tyčovým sítím určité velikosti mezer k celkové hmotnosti vzorku.
 - Tvarový index – charakteristika zrna kameniva, která dává do poměru nejdelší a nejmenší rozměr zrna.
 - Délka zrna – největší rozměr zrna, který se posuzuje vhodným pravítkem nebo posuvným měřítkem.

Fyzikální vlastnosti:

- Odolnost proti drcení – je charakterizována pomocí součinitele Los Angeles LA_{RB} , který se stanovuje za podmínek uvedených v ČSN 13450 [3] v příloze C. Referenční zkouškou pro stanovení odolnosti kameniva proti drcení je zkouška Los Angeles. Podstatou zkoušky je drcení kameniva 12 ocelovými koulemi v otáčejícím se bubnu. V některých případech je požadována také hodnota odolnosti kameniva proti drcení v rázu SZ_{RB} .

Pro oba součinitele odolnosti proti drcení kameniva pro kolejové lože jsou na základě maximální přípustné hodnoty LA a SZ stanoveny kategorie, které jsou specifikovány v [3].

- Odolnost proti otěru – součinitelem popisujícím odolnost kameniva pro kolejové lože proti otěru je součinitel mikro- Deval $M_{DE RB}$. Čím nižší je hodnota součinitele, tím lepší je odolnost kameniva proti otěru. Podstatou zkoušky je měření otěru kameniva v rotujícím bubnu za přítomnosti vody. Konkrétní podmínky postupu zkoušky jsou uvedeny v příloze E normy ČSN 13450 [3].
- Stálost
 - Odolnost proti zmrazování a rozmrazování – tato vlastnost se zkoumá z důvodu predikce chování kameniva v určitých klimatických podmínkách. Kamenivo je vystaveno cyklickému zmrazování a rozmrazování. Zkouška se provádí podle EN 1367-1 a tento postup je specifikován v příloze F normy [3].
 - Objemová hmotnost zrn kameniva pro kolejové lože nesmí být menší ani rovna 2000 kg.m^3 . Stanovení objemové hmotnosti se provádí pyknometrickou metodou, která je popsána v normě EN 1079-6.
 - Nasákavost je vlastnost kameniva pojmout určité množství vody. Zjišťuje se současně s určováním objemové hmotnosti.
 - Rozpadavost („Sonnenbrand“) – je druh porušení zrna, které se vyskytuje v některých čedičových horninách a projeví se vlivem atmosférických podmínek v době měsíců až desítek let. Tento druh prasklin má za následek snížení pevnosti horniny a její následný rozpad na menší části. Pokud jsou zjištěny známky tohoto typu porušení, je třeba provést kvalitativní zkoušku dle EN 1367-3.

2.4. Křivka zrnitosti

Zrnitost je vlastnost kameniva popsána procentuálním zastoupením hmotnosti jednotlivých frakcí kameniva. Zrnitost lze nejlépe zjistit prosévací zkouškou.

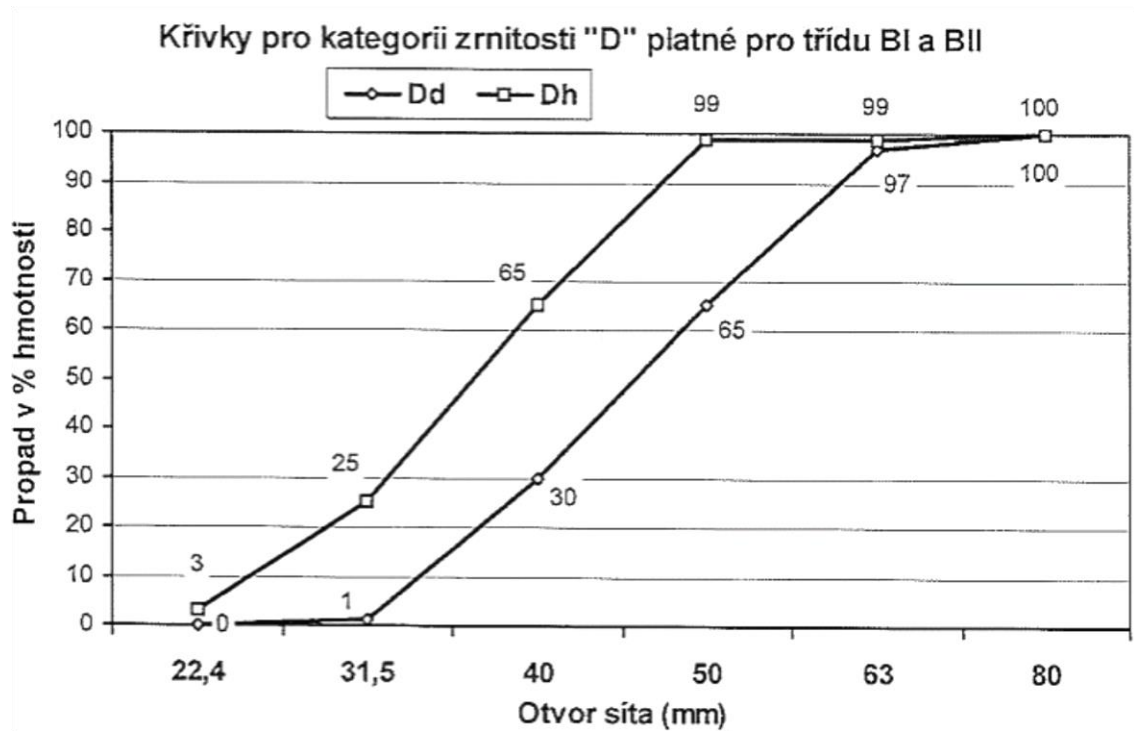
Frakce je množina zrn kameniva, které propadnou horním sítím (D) a zachytí se na spodním sítu (d). Označení frakce je d/D . Požadovaná frakce kolejového lože je 31,5/63. Ve frakci 31,5/63 musí být v určitém množství zastoupeny všechny mezilehlé frakce. Tyto hodnoty jsou uvedeny v ČN EN 13450 [3], tabulka 1 – kategorie pro zrnitost nebo z OTP pro kamenivo pro kolejové lože [1], kde jsou tyto hodnoty zaznamenány v křivce zrnitosti.

Granulometrické složení kameniva lze nejlépe vyjádřit křivkou zrnitosti. Křivka zrnitosti je „součtová čára, jejíž každý bod udává, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších, než určitý průměr zrna D v milimetrech.“²

Norma ČSN EN 13450 [3] přesně definuje rozptyl propadů zrn jednotlivými sítí, který je třeba splnit, aby mohlo být kamenivo použito pro stavbu kolejového lože.

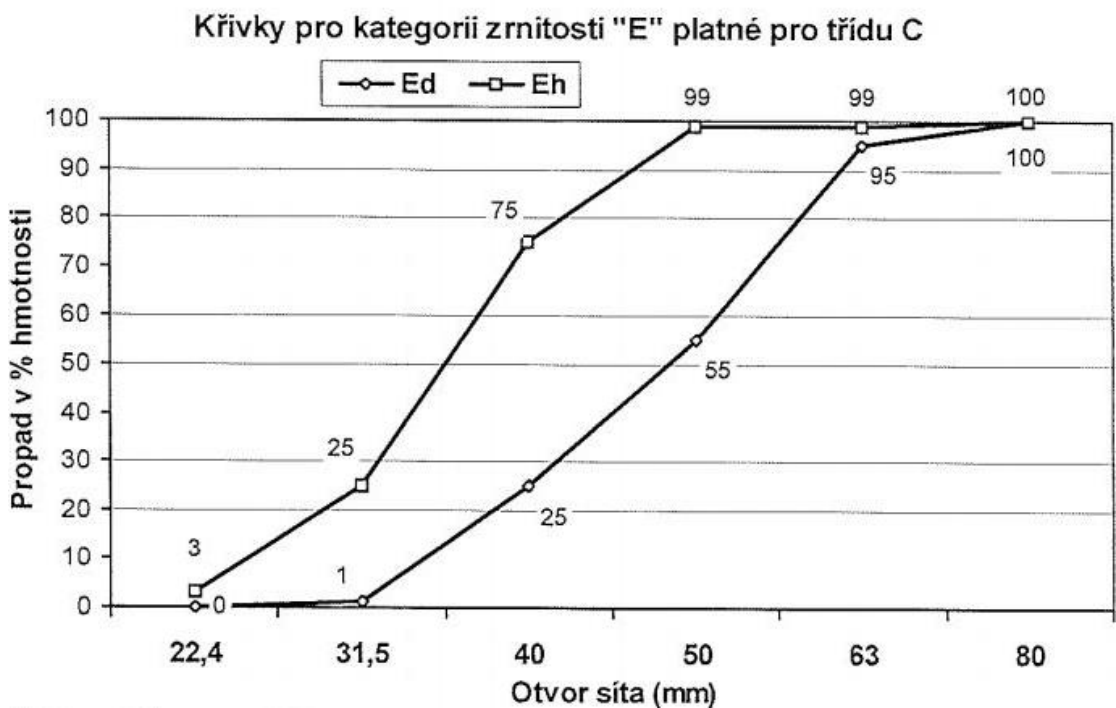
Obrázek 1 ukazuje křivky minimálních a maximálních propadů zrn u kategorie B I a B II kameniva pro kolejové lože, které se využívá pro stavbu kolejového lože na hlavních a předjízdných kolejích vybraných tratí a na ostatních kolejích 1. až 4. řádu.

² PINKA, Miroslav. *Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin*. Ostrava: Vysoká škola Báňská, 2013.



Obrázek 1 Křivka zrnitosti kameniva pro kolejové lože třídy BI a BII, zdroj: [1]

Zrnitostní složení kameniva kategorie zrnitosti E [Obrázek 2] má větší rozptyl možných propadů zrn jednotlivých frakcí, a to zejména kvůli následnému využití pouze pro stavbu kolejového lože na koleji 5. a 6. řádu.



Obrázek 2 Křivka zrnitosti kameniva pro kolejové lože třídy C, zdroj: [1]

2.5. Zkoušky kameniva

Pro deklarování splnění podmínek vlastností kameniva pro kolejové lože určených normou je potřeba provést zkoušky. Hodnoty požadovaných výstupů těchto zkoušek jsou uvedeny v normě „ČSN EN 13450 – Kamenivo pro kolejové lože“ a v „Obecných technických podmínkách – Kamenivo pro kolejové lože“. V následujících podkapitolách jsou popsány základní postupy zkoušek geometrických vlastností kameniva, které jsou z hlediska recyklace důležité. Postupy jsou přesně stanoveny normou platnou pro Českou republiku.

2.5.1. Sítový rozbor

Sítový rozbor je základní zkouškou určující granulometrické složení kameniva. Její podstatou je roztrídění zrn kameniva podle velikosti do určitých frakcí. Přesný postup je popsán v normě „ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor,“ [4] a „ČSN EN 933-2 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 2: Stanovení zrnitosti – Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů“.

Schválenou metodou je metoda praní a prosévání za sucha. V případě, že by mohlo praní ovlivnit fyzikální vlastnosti kameniva, používá se pouze prosévání za sucha.

Hmotnost jednotlivých frakcí materiálu se uvádí ve vztahu k počáteční hmotnosti vzorku. Výsledky sítového rozboru mohou být zapsány v tabulce, či vyjádřeny graficky – křivka zrnitosti viz. Kapitola 2.4.

Zkušební zařízení:

Měření je prováděno na sadě sít o základní velikosti otvorů uvedených v „ČSN EN 933 – 2“, vyhovující požadavkům ISO 3310 – 1 a ISO 3310 – 2. Jedná se o síta velikost 0,063; 0,1; 22,4; 31,5; 40; 50; 63 a 80 mm. Tato základní sada sít může být doplněna síty zvláštní velikosti. K sadě sít je nutné připevnit pevně líčující víko a dno, které zachytí podsítný materiál ze spodního síta.

Dalšími zařízeními potřebnými pro provádění síťového rozboru jsou: sušárna s ventilací a termostatickým ovládním, který umožní udržení teploty vysoušení $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, prací zařízení, nádoby, štetce a váhu s přesností $\pm 0,1\%$ hmotnosti zkušební navážky.

Zkušební navážky:

Zmenšením odebraného vzorku podle „EN 932-2“ se vytvoří potřebná zkušební navážka o vyšší hmotnosti než je minimální požadovaná. Minimální hodnoty zkušebních navážek lze zjistit v Tabulce 1, v [4]. Pro kamenivo o maximální velikosti zrna 63 mm je minimální hmotnost zkušební navážky 40 kg. Zkušební navážka je následně vysušena při teplotě $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ do ustálené hmotnosti, která je zaznamenána jako hodnota M_1 .

Postup:

V případě kameniva frakce 31,5/63 lze použít postup praní a následného prosévání.

Proces praní začíná vložením zkušební navážky do nádoby, kam se přidá tolik vody, aby byl všechn materiál pod vodou. Vzorek se dostatečně promíchá, aby došlo k rozpadu hrudek a uvolnění jemných částic. K procesu praní se využívá síto 0,063 mm, které se navlhčí z obou stran. Lze použít také síto 1 mm nebo 2 mm, jako ochranné síto. Do vhodné nádoby je přes síto 0,063 mm proléván roztok ze zkušební navážky do doby, než je voda protékající sítím čistá.

Zbytek zachycený na síti 0,063 mm se vysuší do ustálené hmotnosti, nechá se vychladnout a zváží se. Hmotnost suchého vypraného vzorku se zaznamená jako hmotnost M_2 .

Vypraný a vysušený materiál se vysype na sloupec sít s víkem a dnem. Velikost otvorů sít se od horního síta k menšímu zmenšuje. Nejmenší síto ve sloupci je 0,063 mm a to z důvodu, že při praní často nedochází k úplnému oddělení jemných částic. Sloupcem sít se mechanicky nebo ručně třese, dokud se všechn materiál nezachytí na správném síti a nedochází k hmotnostním změnám zachyceného materiálu na jednotlivých sítech.

Jednotlivá síta se zachyceným materiálem jsou od horního postupně odebírány ze sloupce a váženy. Jejich hodnoty se zaznamenávají jako $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$. Materiál zbylý na dně sloupce jako podsítný síta 0,063 mm se zváží a zaznamená jako hmotnost P .

Výpočet:

Jednotlivé hmotnosti jsou zapsány do záznamové tabulky. Zachycená hmotnost na jednotlivých sítích se přepočítá jako procento z původní suché hmotnosti M_1 .

Procento jemných částic:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad (2-5-1)$$

Kde:	f	obsah jemných částic [%hm]
	M_1	hmotnost vysušené zkušební navážky [kg]
	M_2	hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 [kg]
	P	hmotnost propadu jemných částic na dně [kg]

Pokud se součet hmotností R a P liší od hodnoty M_2 o víc než 1 %, je třeba zkoušku opakovat.

2.5.2. Index plochosti

Index plochosti je referenční zkouškou pro určení tvaru zrn kameniva pro kolejové lože. Průběh zkoušky a požadované vlastnosti jsou upřesněny v normě „ČSN EN 933 – 3: Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 3: Stanovení tvaru zrn – Index plochosti“. Index plochosti musí být deklarován podle požadované kategorie [Tabulka 1].

Tabulka 1 Kategorie pro maximální hodnoty indexu plochosti Zdroj: ČSN EN 13450

Index plochosti	Kategorie	Třída kameniva
≤ 15	Fl ₁₅	BI
≤ 20	Fl ₂₀	BII
≤ 35	Fl ₃₅	C
> 35	Fl _{DEKLAROVANÁ}	

Index plochosti se určuje u kameniva velikosti od 4 do 80mm v případě těžného i drceného kameniva. V případě určení indexu plochosti kameniva pro kolejové lože není třeba provádět zkoušku v plném rozsahu sít od 4 mm do 80 mm.

Postup:

Před zkouškou indexu plochosti je vhodné provést síťový rozbor k oddělení frakcí a rychlejšímu postupu zkoušky. Ze zkušebního vzorku jsou oddělena podsítná a nadsítná zrna frakce 31,5/63. Celkovou hmotnost frakcí prosévaných sítí označíme jako M_1 .

Každá frakce je následně proseta tyčovými sítí odpovídajících rozměrů dle Tabulky 2.

Tabulka 2 Velikost mezer tyčových sít v závislosti na frakci

Frakce kameniva	Šířka mezery tyčového síta
mm	mm
60/30	31,5±0,3
40/50	25±0,2
31,5/40	20±0,2

Prosévání probíhá ručně. Následně je zvážena hmotnost materiálu propadlého sítím a jeho hmotnost je zaznamenána jako hmotnost M_2 .

Výpočet:

Souhrnný index plochosti FI následujícím vzorcem:

$$FI = \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \times 100 \quad (2-5-2)$$

Kde:

- FI index plochosti [%hm]
- M_1 součet hmotností jednotlivých frakcí [g]
- M_2 součet hmotností zrn, která propadla jednotlivými sítí [g]

Index plochosti se pak zaokrouhlí na celé číslo.

2.5.3. Tvarový index

Podstatou zkoušky je roztřídění zrn na základě poměru jejich délky L k tloušťce E (poměr nejdelšího rozměru k nejmenšímu). K měření se používá dvoučelistová šuplera. Průměrný tvarový index kameniva se určí jako aritmetický průměr všech tvarových indexů zrn. Podrobný postup a podmínky vyhodnocení zkoušky jsou dány „ČSN EN 933 - 4: Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index“.

Postup:

Zkušební navážka závisí na velikosti horního síta D . Pro kamenivo pro kolejové lože (31,5/63) je hmotnost laboratorní navážky (označována M_1) 45 kg. Zrna jsou jednotlivě měřena pomocí dvoučelistového posuvného měřítka. Nejdříve je změřena délka zrna, označena jako L a následně je zkoušeno, zda zrno projde svou nejužší stranou (rozměr E) druhou čelistí, která je nastavena na třetinový rozměr. Zrno, které projde touto čelistí je označeno jako nekubické. Hmotnost všech nekubických zrn navážky je označena jako hmotnost M_2 .

Výpočet:

Tvarový index SI se vypočítá pomocí následujícího vzorce. Výsledek je zaokrouhlen na celé číslo.

$$SI = \left(\frac{M_2}{M_1}\right) \times 100 \quad (2-5-3)$$

Kde:	SI	tvarový index [%hm]
	M_1	hmotnost zkušební navážky [g]
	M_2	hmotnost nekubických zrn [g]

2.5.4. Zaoblenost hran

Zaoblenost hran zrn se zkoumá pouze u recyklovaného kameniva frakce 31,5/63. Tato vlastnost se zkoumá zejména pro prokázání správné funkce drtiče.

Zkoumaný vzorek musí mít nejméně 300 zrn a minimální hmotnost vzorku je 20 kilogramů.

Postup:

Zaoblenost, neboli opracovanost hran zrn se určuje vizuálně. Jednotlivá zrna se pak zařazují podle svých vlastností do pěti stupňů zaoblenosti [Tabulka 3].

Tabulka 3 Určení stupně zaoblenosti hran

Zaoblenost	Stupeň	Popis
bez zaoblenosti	Ostrohranná zrna	angulární, zcela neopracovaná zrna s ostrými řezavými hranami
s 25% zaobleností	Otupená zrna	subangulární, málo opracovaná zrna, ještě původního zchovalého tvaru s hranami jen otupenými, neřezavými
s 50% zaobleností	Polozaoblená zrna	zrno s lehce zaoblenými hranami a ještě patrnými nezaoblenými úseky původního povrchu
se 75% zaobleností	Zaoblená zrna	hodně opracovaná zrna s pouhými stopami původního tvaru
se 100% zaobleností	Oblá zrna	oblázky, velmi dobře zaoblené, plně opracovaného tvaru

Výpočet:

Výsledná hodnota zaoblenosti hran se stanoví jako vážený aritmetický průměr jednotlivých stupňů zaoblenosti (0, 25, 50, 75, 100).

$$\text{Zaoblenost} = (25 \cdot n_{25} + 50 \cdot n_{50} + 75 \cdot n_{75} + 100 \cdot n_{100}) \cdot 1/N \text{ [% kusů]} \quad (2-5-4)$$

Kde: $n_{25}, n_{50}, n_{75}, n_{100}$ počty zrn kameniva v jednotlivých stupních
 N součet všech částic vzorku

Výsledek se zaokrouhlí na celá procenta nahoru. Třída kameniva B I a B II má maximální přípustnou hodnotu zaoblenosti zrn, kterou je nutno splnit. Přípustné hodnoty jsou uvedeny v OTP [1]. Pro kamenivo třídy C neexistuje závazná hranice zaoblenosti.

3. Znečištění kolejového lože

Znečištění kolejového lože lze rozdělit na znečištění mechanického původu, kterým je například postupné drcení kameniva štěrkového lože a následná změna jeho křivky zrnitosti, dále pak zanášení kolejového lože zeminou nebo spadlým materiálem, a na znečištění ekologického původu. Znečištění kolejového lože obojího původu představuje ekologický, provozní, estetický a následně i finanční problém. Je tedy třeba jakémukoliv znečištění předcházet, nebo jej co nejefektivněji řešit.

3.1. Ekologické znečištění

Problém znečištění ekologického původu je v současnosti velmi řešeným tématem a dá se říct, že je v České republice dobře propracovaná legislativa, která zavazuje provozovatele drah eliminaci vzniku znečištění či jeho případné odstranění.

3.1.1. Vznik a následky

Znečištění kolejového lože ekologického původu vzniká převážně v místech delšího stání kolejových vozidel. Jedná se především o depa kolejových vozidel, odstavné koleje a koleje ve vlakových stanicích, kde dochází k častějšímu dlouhodobějšímu stání vlaků. Jiným způsobem vzniku znečištění může být náhodné znečištění, které vzniká především při mimořádných událostech na trati či převozu nebezpečných látek.

Mezi nejčastější způsoby znečištění kolejového lože patří úkapy. Jedná se o samovolný únik olejů a provozních kapalin.

Jako každý druh dopravy má také železniční doprava negativní vliv na životní prostředí. Z environmentálního hlediska je železniční doprava hodnocena příznivě, zvláště pak elektrické tratě. Největší podíl na znečištění mají motorové lokomotivy a motorové jednotky, které způsobují kromě emisí také chemické kontaminace podloží.

Úkapy motorových vozů na kolejové lože mohou způsobit kromě znečištění samotného kolejového lože daleko závažnější ekologické problémy. Uniklé oleje a pohonné hmoty se mohou přes štěrkové lože infiltrovat do půdy a následně do podzemních vod. Velký problém při tomto znečištění mohou být také srážky s velkou intenzitou a následný splach úkapů. Voda částečně vymyje tyto, pro přírodu nebezpečné

látky, které se díky povrchovému odtoku mohou dostat do podzemních vod nebo se následně infiltrovat do půdy, kterou mohou kontaminovat a omezit tak růst rostlin.

Další problém, který mohou oleje a provozní kapaliny způsobovat, je snížená propustnost štěrkového lože. K této situaci dochází ve chvílích, kdy se oleje a provozní kapaliny smísí s prachem a drobnými částicemi, které následně ucpávají mezery mezi jednotlivými agregáty štěrku a jejich póry.

3.1.2. Řešení

Znečištění kolejového lože ropnými látkami se řeší dle míry znečištění. V menší míře znečištění se řeší použitím různých druhů sorbentů – sorpčních posypů a sorpčních textilií. Při velkém znečištění nebo při ekologických haváriích je nutno přistoupit k odtěžení štěrkového lože, případně i vrstev pod ním.

3.1.3. Kontrolní den

Dne 15. 11. 2016 se konal kontrolní den stávajícího stavu sorpčních textilií v okolí Jihlavy, u kterého jsem byla osobně přítomná. Této kontroly se zúčastnil p. Ing. Rudolf Zelinka, systémový specialista ve společnosti SŽDC v oblasti životního prostředí a pracovnice SŽDC z Jihlavské pobočky. Náplní kontrolního dne bylo zkontrolovat a posoudit stav sorpčních textilií REO Fb – dříve nazývaných Fibroil. Byly zkontrolovány tři lokace uložení – vlaková stanice Jihlava a stanice Horní Cerekev, kde bylo nutno zkontrolovat stávající stav rok starých sorpčních textilií. Dále proběhla kontrola nově uložených textilií ve vlakové stanice Kostelec u Jihlavy. Výstupem kontrolního dne je závěrečná zpráva, ve které jsou zhodnocené stavy textilií, odsouhlasení jejich uložení, popřípadě doporučení opravy či výměny.

V rámci kontroly bylo upozorněno na boční úkapy [Obrázek 3] některých motorových vozidel. Problémem tohoto druhu ropného znečištění není ani předvídat, která místa jsou těmito úkapy ohrožena, ani množství ropných látek. V ideálním případě by se ropné látky neměly dostat na povrch kolejového lože, proto jsou hojně využívány sorpční textilie, které zabraňují znečištění samotného kameniva. Dodnes neřešeným problémem je ochrana proti bočním úkapům. Z technických a finančních důvodů se textilie nepoužívají pro ochranu vnější strany koleje. Tento problém je třeba do budoucna řešit. Mezi způsoby aktivního řešení bočních úkapů lze zařadit výměnu motorových jednotek nebo jejich konstrukční úpravou, aby k bočním úkapům nedocházelo. Pasivní řešení problému je osazení kolejového lože sorpčními textiliemi, s čímž je spojen především návrh jejich upevnění.



Obrázek 3 Znečištění bočními úkapy, Jihlava 15. 11. 2016

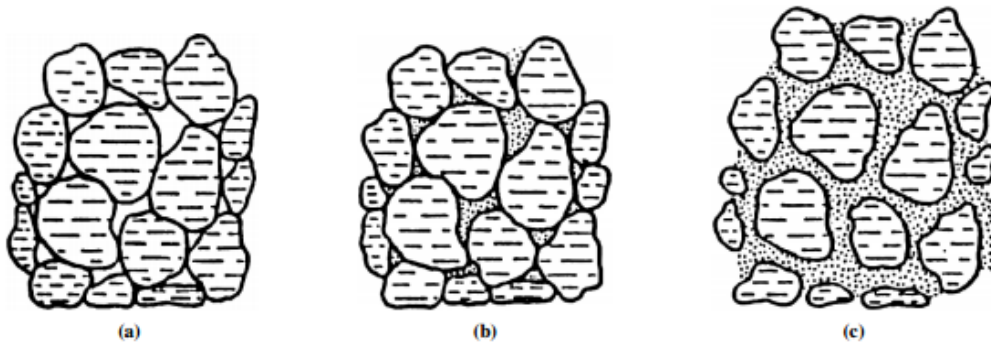
3.2. Znečištění mechanického původu

Znečištění mechanického původu lze rozdělit na vnější a vnitřní. Mezi vnější znečištění patří spad sypkých materiálů z nákladních vozů. Jedná se například o přepravu písku či uhlí. Mezi vnitřní znečištění patří rozpad zrn kameniva či pronikání částic zemin do kolejového lože.

3.2.1. Vznik

Kvalita stavu kolejového lože závisí především na provozních a klimatických podmínkách daného úseku tratě. Vlivem přenášení zatížení z železniční dopravy dochází v aktivní zóně kolejového lože k objemovým a povrchovým změnám zrn. Změněnými parametry tedy jsou zrnitost, tvarový index zrn, zaoblenost hran a množství odplavitelných částic. V oblasti pasivní zóny dochází pouze k povrchové destrukci zrn a to především ke zvýšení podílu odplavitelných částic a zaoblenosti hran.

Působením klimatického zatížení větrem, vodou a mrazem dochází ke snížení kvality hodnotících parametrů zrn kameniva kolejového lože – objemové destrukci zrn, která mění křivku zrnitosti kameniva. Vliv faktoru větru je významný, a to z důvodu manipulace jemných částic organického i anorganického původu, které následně zanášejí štěrkové lože. [6]



Obrázek 4 a) čisté kolejové lože b) částečně znečištěné kolejové lože c) silně znečištěné kolejové lože

Dalším znečištěním je pronikání jemných částic zemin do kolejového lože. Následně pak dochází k zanášení kolejového lože a tím se sníží propustnost. Na Obrázku 4 jsou zobrazeny fáze zanášení kolejového lože jemnými částicemi. Na Obrázku 4a je vidět čisté kolejové lože neobsahující více jemných částic, než je povoleno normou. Jsou zde vidět mezery mezi jednotlivými zrny hrubého kameniva, které jsou vyplněny pouze vzduchem a v případě potřeby odvodu srážkové vody plní svou drenážní funkci naplno. Částečně znečištěné kolejové lože [Obrázek 4b] neplní svou drenážní funkci stoprocentně, avšak velmi záleží na materiálu vyplňující mezery mezi hrubou frakcí. V případě, že by tyto drobné částice kameniva byly převážně písek, tak by takto znečištěné kolejové lože plnilo svou drenážní funkci lépe, než kdyby se jednalo o jílové a prachové částice. Částečné znečištění se objevuje na tratích středně využívaných po průměrnou délku životnosti. Velmi záleží na kvalitě podloží a četnosti

oprav a podbíjení, které způsobuje rozpad zrn. Obrázek 4c ukazuje silně znečištěné kolejové lože, které neplní většinu požadovaných funkcí kolejového lože. Takto znečištěné kolejové lože se vyskytuje na velmi využívaných tratích se špatnou podkladní vrstvou, přítomností podzemní vody, kde často probíhá podbíjení, kvůli udržení stability kolejového roštu.

3.2.2. Následky

Následkem mechanického znečištění a zanášení kolejového lože je především snížená propustnost šterku, která způsobuje snížení smykové pevnosti a namrzání materiálu. Špatná propustnost vody a vzlínání jemných částic zeminy mohou způsobit blátivá místa, která výrazně ovlivňují stabilitu podloží a kolejového lože.

Důsledkem změny křivky zrnitosti v některých místech kolejového lože je nerovnoměrné sedání konstrukce, které způsobuje výškové závady. Výškové a směrové závady kolejového pásu mohou v nejhorších případech způsobit až vykolejení vlakové soupravy.

V případě znečištěného kolejového lože mají opravné práce (podbíjení) menší účinnost a dobu působení než čisté kolejové lože. Tento fakt zapříčiňuje potřebu větší četnosti podbíjení, které však znečištění z nemalé části napomáhá.

3.2.3. Hodnocení

Předběžné posouzení kameniva kolejového lože slouží k odhadu další použitelnosti materiálu a případného návrhu způsobu recyklace. Předběžné posouzení znečištění probíhá vizuálně. Této kontroly se účastní zástupce investora, správce a zhotovitel. V průběhu kontroly určí druh a míru znečištění a případně vymezí úseky s nadměrným znečištěním.

Dalším možným způsobem hodnocení granulometrického znečištění z hlediska částic vyplavovaných z podloží je určení míry znečištění dle součinitele ložnosti C . [Tabulka 5] Podle hodnoty modulu reakce podloží (nebo také koeficientu ložnosti), který popisuje poddajnost horniny při zatlačování konstrukce do horninového prostředí, tedy kvalitu podloží konstrukce, je možné rozeznat kolejové lože na silně znečištěné kolejové lože, znečištěné kolejové lože a čisté kolejové lože. [18]

Tabulka 4 Závislost kvality podloží a součiniteli ložnosti na následném znečištění kolejového lože

Kvalita podloží	Součinitel ložnosti	Znečištění
	MPa.m-1	
Velmi špatná	<20	Silně znečištěné a zablácené kolejové lože
Špatná	50	Znečištěné kolejové lože
Dobrá	>100	Čisté kolejové lože po podbití

Zdroj: Železniční stavby II, Otto Plášek, Pavel Zvěřina, Richard Svoboda, Vojtěch Langer – VUT Brno

4. Recyklace kolejového lože

Vzhledem k velkému množství stavebního odpadu, mezi které se podle zákona O odpadech řadí také použité kamenivo pro šterkové lože, bylo třeba z ekologického tak z ekonomického hlediska přistoupit na znovupoužití materiálu. Na území České republiky je použito pro stavbu železniční sítě přibližně 23 000 000 m³ přírodního drceného kameniva, což je zhruba 61 milionů tun potenciálního odpadu, který by bylo třeba uložit na skládkách odpadu. [21]

Legislativně byla vyřešena recyklace kolejového lože v roce 1995, kdy byly vydány „Obecné technické podmínky pro kamenivo kolejového lože“. Mezi první významné použití recyklace kameniva pro kolejové lože patří stavba koridoru Brno- Skalice nad Svitavou v roce 1996.

Recyklací kameniva z kolejového lože se rozumí úprava výzisku z kolejového lože. Výzisk kolejového lože je materiál získaný při odtěžení kolejového lože nebo podsítný materiál při strojním čištění kolejového lože. Cílem recyklace je dosáhnout technických požadavků uvedených v OTP v souladu se zákonem 22/1997 Sb. a v příloze normy ČSN EN 13450. Hlavní procesy recyklace jsou úprava křivky zrnitosti, ohranění zrn a oddělení cizorodých částic z materiálu. Recyklace kameniva vyzískaného z kolejového lože může probíhat několika postupy. V případě, že současná zrnitost a tvar zrn vyhovuje požadovaným podmínkám, lze kamenivo pouze zbavit podsítného materiálu a jemných částic a lze použít znovu ve frakci 31,5/63 pro konstrukci kolejového lože. Mnohem častější je ale postup drcení kameniva na menší frakci, kterou lze využít pro stavbu konstrukční vrstvy železničního spodku, pro podkladní vrstvy silničních staveb či jako obsyp při uzavírání skládek či rekultivaci území. Produkty recyklace kolejového lože jsou nejčastěji 31,5/63 železniční šterk, nebo 0/32 šterkodrt.

„Praktické zkušenosti ukazují, že lze provedením recyklace získat 50-60 % kameniva frakce 32-63 třídy B1, 25-30% kameniva frakce 0-32, respektive 8-32 využitelného do konstrukce železničního spodku a pouze 15- 20 % odpadu.“³

³ [20] str. 58

Největším přínosem recyklace není cena recyklovaného kameniva, ale ušetření místa na skládkách a s tím spojené náklady na trvalé uložení odpadu.

Po recyklaci musí kamenivo splňovat technické požadavky na: zrnitost, obsah drobných částic, obsah jemných částic, tvar zrn, zaoblenost hran, obsah cizorodých částic a obsah vysokopecní strusky. U recyklovaného kameniva není třeba provádět zkoušky na: pevnost, nasákavost, mrazuvzdornost, podíl břidličnatých zrn, rozpad čediče, objemovou hmotnost, sypanou hmotnost a mezerovitost, a o z důvodu předpokladu zachování původních mechanicko-fyzikálních vlastností, které jsou neměnné i po určité době používání. V případě, že nelze dokázat původ kameniva a jeho vlastnosti, je třeba provést zkoušky všech výše uvedených vlastností.

Společnost SŽDC má oficiální seznam recyklačních firem, které recyklují kamenivo z českých drah a bylo jim uděleno „*Osvědčení o způsobilosti k provádění recyklace kameniva pro kolejové lože*“. V OTP [1] jsou popsány předpoklady a povinnosti recyklačních firem. V případě splnění všech podmínek mohou být firmy zařazeny na „*Seznam výrobců kameniva pro kolejové lože*“.

5. Technologie odběru vzorků

Jelikož se postup odběru vzorků liší pro vyhodnocování ekologického znečištění a pro vyhodnocování mechanického znečištění, je třeba popsat oba způsoby a poukázat na rozdíly. Pro odebírání vzorků kameniva pro kolejového lože není vydána žádná závazná metodika.

5.1. Teorie odběru vzorků pro zkoušky na ekologické znečištění

Odběr vzorků pro vyhodnocení ekologického znečištění je třeba provádět pravidelně na místech soustavného znečištění, a navíc je nutné vzorky odebírat v přípravné fázi projektu rekonstrukce železniční tratě. Odběr a vyhodnocení vzorků je hrazeno zhotovitelem, který je v tomto případě stavební či recyklační firma. Firma musí prokázat ekologickou nezávadnost kameniva pro další nakládání v souladu se zákonem o odpadech. Odběrem a laboratorními zkouškami je nutno prokázat ekologickou nezávadnost kameniva. Výsledky jsou platné maximálně dva roky od odebrání. V případě delší časové prodlevy mezi vzorkováním a samotnou realizací, je třeba provést dodatečné dozorkování.

Odběr vzorků a jejich vyhodnocování je prováděno pověřenou firmou. Odběr probíhá v předem vytipovaných místech a před samotným odběrem by měl být vypracován plán odběru vzorků. Jedná se o místa častého stání nebo okolí výhybek, kde je pravděpodobnost znečištění větší.

V praxi se odebírají buď vzorky jednoduché, nebo směsné. Jednoduchý vzorek je odebrán z jednoho místa a jeho hmotnost je 3-5 kilo. Směsný vzorek je odebrán z několika míst v blízkosti kolejnicového pásu. Je smíchán z několika menších vzorků např. 3x2kg. Vzorků je třeba odebrat vždy několik. Správně by se měl odebrat aspoň jeden vzorek každých 100 – 200 metrů. Hloubka odebíraného vzorku je nejlépe v celém výškovém profilu štěrkového lože, včetně vzorku zeminy, kvůli možnosti průsaku nebezpečných látek do zemní pláně. Sonda ručně kopaná či vrtaná může dosahovat i 1 metr pod úroveň spodní hrany pražce. Vzhledem k tomu, že za vzorkování platí zhotovitel, který se snaží o co největší finanční úsporu, tak se v praxi odebírá nejmenší možný počet vzorků, který závisí na charakteru daného úseku a délce úseku. [6]

5.2. Odběr vzorků pro hodnocení mechanického znečištění

Vzorkování kameniva z kolejového lože pro analýzu technické kvality není podmíněno žádnou metodikou. Slouží k následné diagnostice technických parametrů kameniva, kterými jsou: zrnitost, tvar zrn, zaoblenost hran, podíl odplavitelných a podíl cizorodých částic. V případě vstupní diagnostiky pro následnou recyklaci se zkoumá přítomnost vápenců a dolomitů v kamenivu. Před samotným odebráním je vypracován Plán odběru vzorků. Jednoduché vzorky kameniva kolejového lože jsou odbírány každých 200 metrů v traťovém úseku koleje. První místo odběru vzorku by mělo být vzdáleno od začátku diagnostikované koleje 100 metrů. V případě kratších úseků, se odebírá vzorek uprostřed úseku. Odebírání vzorků se provádí mezi pražci z vnitřní strany kolejnicového pásu. Minimální hmotnost jednoduchých vzorků kameniva je 30 kg. Odběr vzorků v místech výhybky je zastoupen jedním jednoduchým vzorkem (min. 30 kg) pro každou výhybku.

Vzorek se může získat pomocí kopané sondy o minimálních rozměrech 30x30 centimetrů nebo pomocí vrtáku o minimálním průměru 20 cm. Jako vzorek je použit celý obsah jádrového vrtu. V případě kopané sondy je hmotnost odebraného vzorku vyšší a jednoduchý vzorek se z něj získá kvartací na místě. [6]

6. Vyhodnocování intenzity mechanického znečištění

Pro vyhodnocení intenzity granulometrického znečištění dosud nejsou v České republice zavedeny žádné metodiky. Problém granulometrického znečištění se řeší jen v případě předběžného průzkumu stavu kameniva před recyklací. Provádí se síťový rozbor, který určí zastoupení jednotlivých frakcí kameniva. V případě, že křivka zrnitosti nevyhovuje mezím daným normou [3], lze kamenivo považovat za granulometricky znečištěné. Podstatným ukazatelem znečištění je také obsah jemných částic, které lze taktéž zjistit z prosévací zkoušky.

„V doporučeních ERRI (European Rail Research Institute) je nutné kolejové lože pročistit, je-li podíl částic na 22,4 mm větší než 30 %.“⁴

V západních zemích, které se věnují výzkumu granulometrického znečištění, je zaveden pro hodnocení znečištění index znečištění *FI*, podle kterého lze kategorizovat míru granulometrického znečištění kameniva kolejového lože.

⁴ Zdroj: [18]

7. Rešerše

Železniční doprava je rozšířená po celém světě. Její preference jsou však v každé části světa rozdílné. Zatímco ve vyspělých státech význam osobní železniční dopravy klesá na úkor silniční dopravy, v rozvojových zemích je železniční doprava za určitých podmínek stále aktuální, jak pro osobní, tak pro nákladní přepravu. Zatímco v minulosti se rušily nerentabilní tratě, v současnosti je trend spíše výstavba vysokorychlostních tratí pro zajištění konkurenceschopnosti na středně dlouhé a dlouhé trati. Z hlediska osobní dopravy je železniční doprava významná především v Evropě, Rusku a Japonsku. Jedná se o dopravu na krátkou až středně dlouhou vzdálenost.

Ve světě je docela časté použití konstrukce pevní jízdní dráhy, kvůli stavbě vysokorychlostních tratí. Tato studie je však zaměřena na klasickou konstrukci jízdní dráhy, která je stále nejběžnější konstrukcí železničního svršku. Stavba klasické konstrukce je po celém světě obdobná, a tudíž požadavky na funkci kolejového lože a na jeho materiálové vlastnosti jsou velmi podobné.

V Evropě jsou ve většině států používány stejné normy. Je tomu tak díky existenci Evropského výboru pro normalizaci (Comité Européen de Normalisation – CEN), který vytváří normy a jsou doporučovány všem členským státům tohoto výboru. V současnosti má CEN 34 členů, mezi které patří: Norsko, Švýcarsko, Island a všechny státy Evropské Unie. Dále jsou zde přidružené členské státy, jako je: Chorvatsko, Makedonie, Albánie a Turecko. CEN spolupracuje také s jinými normalizačními organizacemi například v Austrálii či Rusku.

Základní charakteristiky kameniva pro kolejové lože v Evropě jsou dány evropskou normou EN 13450 – Aggregates for railway ballast, která vznikla roku 2002 a postupně je přijímána většinou členských států CEN. Oficiálně vyšla v angličtině, francouzštině a němčině. Pověřené orgány jednotlivých členských států ji pro větší srozumitelnost překládají do rodných jazyků.

V Austrálii je používána obdobná norma AS 2758 z roku 2009, jejíž sedmá kapitola je věnována kolejovému loži. AS 2758.7 - Part 7- Railway ballast popisuje konstrukční a materiálové vlastnosti kolejového lože. Jsou zde popsány postupy testování kameniva pro

kolejové lože, maximální a minimální povolené hodnoty jednotlivých výsledků zkoušek. Jedním z rozdílů mezi evropskou a australskou normou je kategorizace kolejového lože. Zatímco v ČR je používáno dělení kameniva pro kolejové lože na třídy BI, BII a C podle fyzikálních a geometrických vlastností kameniva, v Austrálii je používáno dělení kolejového lože do tříd H, N a L. Třída H je navrhována pro tratě se zatížením více než 6 milionů tun za rok, třída N pro zatížení 1- 6 mil. t.rok⁻¹ a nejnižší třídou kolejového lože je třída L s maximálním zatížením max. 1 t.rok⁻¹. Dalším rozdílem mezi evropským standardem a australským standardem věnovaném kamenivu pro kolejové lože je objemová hmotnost. V české normě je stanovena minimální objemová hmotnost kameniva $\rho \geq 2000 \text{ kg.m}^{-3}$, v australské normě je dána minimální objemová hmotnost kameniva $\rho \geq 2500 \text{ kg.m}^{-3}$. [7]

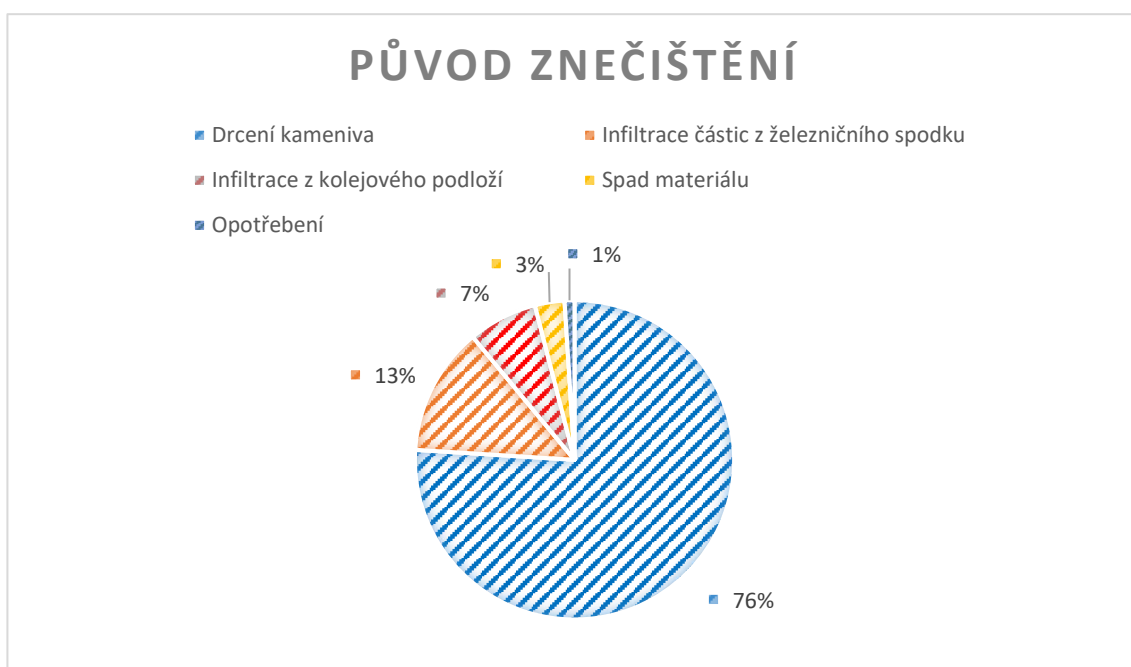
Recykláty kameniva pro kolejové lože se v západních zemích běžně využívají. Způsob využití závisí na stavu kameniva po vytěžení. Někdy se recykluje pouze promýváním kameniva a jeho tříděním, čímž lze získat kamenivo stejné frakce. Recyklát stejné frakce lze následně využít pro stejné účely, pro které bylo kamenivo primárně určeno. Častější způsob recyklace je však drcení a třídění kameniva. Recyklát menší frakce se používá při rekonstrukcích dopravních staveb, jak kolejových, tak silničních.

Jedním z větších recyklačních projektů poslední doby je využívání recyklovaného štěrkového lože při rekonstrukci Londýnského metra. Správa železničních dopravní sítě dlouhodobě najala společnost Aggregate Industries, která se zabývá recyklací kameniva. V současné době recyklují více než 80 % kameniva vhodného k recyklaci. [8] Ve studii zabývající se odstraněním kontaminantů z kolejového lože [9] byl zjišťován vliv různých koncentrací a různých dob působení BS při procesu praní kameniva. Takto vyprané kamenivo lze znovu použít pro stavební účely. Ve studii bylo zjištěno, že v abrazivním prostředí při minimální době praní 5 minut s 1% koncentrátem BS (biosolve) odstraní až 90 % ropného znečištění. Běžně se však kontaminované kolejové lože pro následnou recyklaci nepoužívá kvůli vysokým nákladům na odstranění kontaminantu.

Granulometrické znečištění kolejového lože je v západních zemích zkoumáno více než na území České republiky, a to zejména v souvislosti s propustností kolejového lože.

V průběhu posledních deseti let bylo financováno několik výzkumů, zabývajících se granulometrickým znečištěním kolejového lože.

Dřívější výzkumy prokázaly, že až 70 % znečišťujícího materiálu v kolejovém loži pochází z rozpadu zrn kameniva. Podle výzkumu Selinga a Waterse způsobuje rozpad zrn kameniva až 76 % z celkového mechanického znečištění. Druhým největším původcem znečištění je infiltrace částic z železničního spodku, která se podílí na znečištění 13%. Infiltrací z kolejového podloží pochází 7 % a 3 % znečištění je způsobeno spadem převáženého materiálu. Zbylé 1 % je způsobeno opotřebením kolejového lože. [Obrázek 5] [10]



Obrázek 5 Původ znečištění

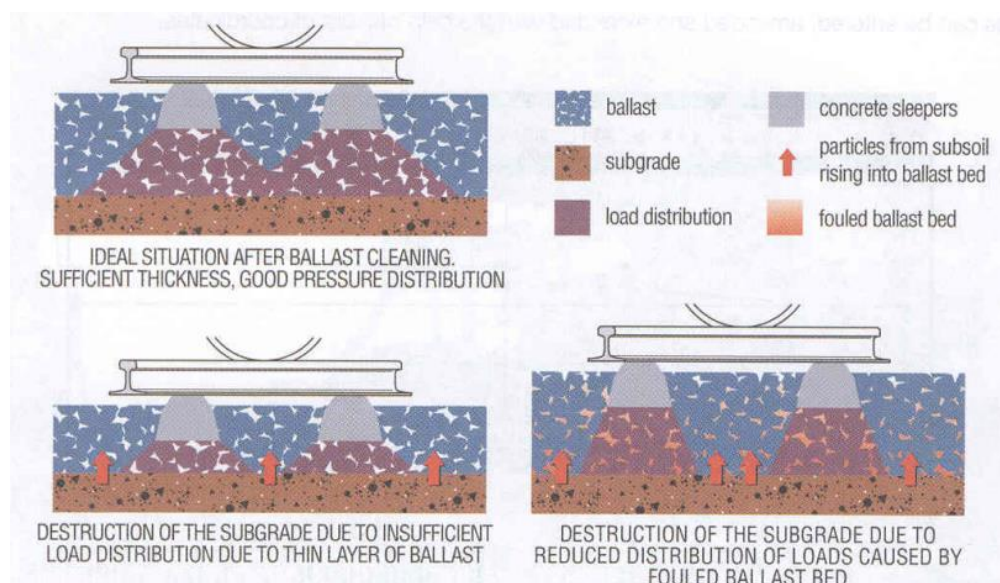
Raymond ve své studii určuje hodnotu přípustného indexu tekutosti (liquid limit) $LL = 35$, kdy kolejové lože působí stále jako drenážní vrstva. Pomocí indexu tekutosti lze odhadnout přibližný obsah jílových minerálů. Velikost zrn kameniva použitého pro kolejové lože, které by mělo bezproblémově zajišťovat drenážní funkci je mezi 12,7 mm – 63,5 mm. Množství materiálu, který zaplňuje vzduchové mezery mezi jednotlivými zrny, závisí také na charakteru materiálu, zejména tíže částic, která způsobuje jinou rychlost pohybu a rychlost usazování částic v kolejovém loži. Wallace ve své studii prokazuje, že nejproblematičtějším znečišťujícím materiálem je jíl a prach. Dokázal také, že částice písku téměř nemají vliv na propustnost šterkového lože. [10]

Největším přínosem v oblasti hodnocení granulometrického znečištění kolejového lože bylo zavedení veličiny F_i , známé jako *fouling index*, což lze do češtiny překládat jako index znečištění. Tento index zavedli ve svém výzkumu Seling a Waters. Index znečištění je součet procentuální hmotnosti částic propadlých sítím 4,75 mm a procentuální hmotnosti částic 0,075 mm. Hodnocení znečištění kolejového lože pomocí indexu znečištění pomáhá určit, míru znečištění, která do zavedení F_i nebyla nijak definovaná. Tabulka 6 ukazuje rozdělení míry znečištění kolejového lože na základě hodnoty indexu znečištění. Druhý ukazatel, který v této studii zavedli, je procento znečištění, což je poměr suché hmotnosti částic propadlých sítím 9,5 mm na suchou hmotnost celého vzorku. [10]

Tabulka 5 Hodnocení míry znečištění dle indexu znečištění

Kategorie	F_i – index znečištění
Čisté	< 1
Mírně čisté	1 - 10
Mírně znečištěné	10 - 20
Znečištěné	20 - 40
Silně znečištěné	≥ 40

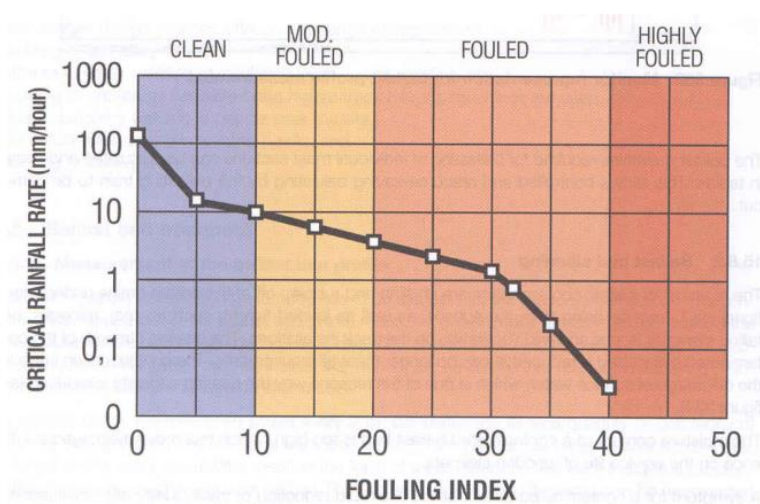
V prezentaci Franklina, která se věnuje znečištění kolejového lože lze najít převzaté obrázky z knihy Bernarda Lichtbergera, který ve své knize popisuje závislost tloušťky kolejového lože na granulometrickém znečištění kolejového lože. [Obrázek 6]



Obrázek 6 Závislost tloušťky kolejového lože na jeho znečištění Zdroj: [11]

Z Obrázku 6 je patrná závislost tloušťky kolejového lože na jeho zanášení částicemi vyplavenými z podložních vrstev. V ideálním případě je se zatížení od pražců roznáší do kolejového lože pod úhlem 45° a spodní části zatěžovací plochy se překrývá s vedlejším pražcem. V případě příliš nízké či naopak příliš vysoké tloušťky se zatěžovací plochy neprotnou a vznikne nerovnoměrné zatížení na podloží. Mezery mezi zatížením umožňují snazší průchod částicím z podloží, které jsou navíc částečně vytlačovány.

Lichterberger ve své knize popisuje závislost intenzity deště na zanášení kolejového lože jemnými částicemi. Množství znečištění je popsáno indexem znečištění F_i . Graf závislosti je zobrazen na Obrázku 7.



From 'Track Compendium' by Bernhard Lichtberger

Obrázek 7 Vztah mezi intenzitou deště a zanášením kolejového lože Zdroj: [11]

Graf závislosti ukazuje, že při vyšší intenzitě srážek je kolejové lože méně zanášeno jemnými částicemi. Tento fakt je způsoben tím, že při vyšší intenzitě deště proudí kolejovým ložem větší množství vody s vyšší rychlostí a dochází tak k promývání kameniva a následnému vyplavování částic mimo kolejové lože.

Doposud existují pouze metodiky pro odběr vzorků kameniva z kolejového lože za účelem zkoumání ekologické nezávadnosti a metodiky pro odběr vzorků kameniva pro kolejové lože z kamenolomu, vagonu či deponie. Pro odběr vzorků kameniva za účelem zjišťování mechanického znečištění kolejového lože zatím není dostupná žádná závazná ani doporučená norma. Odběry probíhají pouze za účelem laboratorních měření a to vždy

individuálním způsobem. Místo, hloubka a množství vzorků závisí převážně na konkrétní zkoumané veličině kameniva.

V průzkumné studii [13], která se zabývala praktickým odběrem vzorků a zkoumáním mechanického znečištění, bylo porovnáváno kamenivo z hlediska znečištění v několika hloubkách. Odběr probíhal mezi městy Jolliete a St. Justin v Québecu. Vzorky byly odebírány ve dvou fázích. V první fázi byl odstraněn pražec ze zkoumaného místa pro odběr, a to z důvodu lepší manipulace techniky. Celkové rozměry odebrané sondy jsou (š x d x h) 3 x 1 x 1 m. V druhé fázi byly vzorky odebírány pomocí lopaty ručně. Jednotlivé vzorky se odebíraly v různých polohách v předem určených hloubkách. Hmotnost každého vzorku pro laboratorní měření byla 10 kg. Polohy jednotlivých vzorků lze vidět na Obrázku XY. Vzorkování probíhalo v hloubkových úrovních 15 cm, 30 cm, 45 cm a 60 cm od úložné plochy pražce. Ve fázi laboratorního měření bylo na vzorcích prováděno 5 samostatných laboratorních zkoušek. Mezi pět vybraných zkoušek patří prosévání hrubého kameniva síty o velikosti 76,8 – 50,8 – 25,8 – 19,35 – 12,7 – 4,76 mm, prosévání drobného kameniva síty 2 – 0,6 – 0,425 – 0,25 – 0,15 – 0,075 mm. V rámci prosévacích zkoušek byla měřena také hodnota jemných částic o velikosti menší než 0,075 mm. Zkoušky byly prováděny dle postupu předepsaného v normě *ASTM D422.22674-1*. Dále byla zkoumána odolnost kameniva vůči drcení metodou Los Angeles. Zkouškou, která se v Česku běžně neprovádí je zjištění Atterbergových limitů, které jsou měřítkem kritického množství vody v daném materiálu. Zkoumaným limitem pro kamenivo je Liquid Limit, neboli mez tekutosti. [13]

8. Praktická část

8.1. Odběr vzorků

8.1.1. Historie a popis úseku trati

Odběr vzorků kameniva pro následné laboratorní měření probíhal dne 27. 3. 2017 na trati 230 v úseku 569 Golčův Jeníkov → Čáslav, kde v období zpracování této práce byla prováděna rekonstrukce železniční tratě za účelem zvýšení rychlosti jízdy vlaků. Dne 27. 3. 2017 probíhalo odstraňování kolejového roštu.

Provoz na této trati byl zahájen 6. 12. 1869. Výstavbu trati prováděla jedna z největších dopravních rakousko-uherských společností, ÖNWB – Österreichische Nordwestbahn. Tehdejší vlastník a dopravce. V té době byla postavena pouze jedna kolej. Zprovoznění druhé koleje nastalo až v roce 1941, dvacet let poté, co se stala vlastníkem a provozovatelem trati státní společnost ČSD – Československé dráhy. V roce 1964 začaly přípravy pro elektrizaci trati. V následujícím roce byla trať elektrizovaná, a až do současnosti je zde střídavá trakce 25 kV/50 Hz. Od roku 2003 je vlastníkem SŽDC, s.o a dopravcem ČD,a.s.

Současný materiál kolejového lože na koleji 1 je zde s určitostí déle než dvacet let. Statistiky uvádějí, že průměrné stáří kolejového lože na železniční dráze v ČR je 30-40 let.

Tato trať byla vybrána pro odběr vzorků kvůli právě probíhající rekonstrukci. V době odběru zde probíhalo strhávání kolejového roštu. Po stržení roštu probíhala těžba kolejového lože do hloubky 20 centimetrů pod ložnou plochu betonového pražce. Následně bylo kamenivo odváženo na deponii do obce Horky u Čáslavi, kde byla rekonstrukce úseku v pokročilejší fázi a začalo se zde s recyklací.

Recyklace kameniva z rekonstruovaného úseku probíhala tak, že se kamenivo z deponie pomocí kolového nakladače sypalo do dvousítového třídíče kameniva. [Obrázek 8] Velikost prvního třídícího síta na třídíči byla 0 – 80 mm a druhé síto mělo velikost 0 – 18 mm. Nadsítný a podsítný materiál byl vyřazen jako stavební odpad. Kamenivo velikosti 18 – 80 mm bylo pomocí transportního pásu dopravováno do drtiče. Kamenivo bylo drceno na frakci 0/32 v kuželovém drtiči, který byl nastaven na velikost 21 mm.



Obrázek 8 Recyklační linka - Třídíč (vpravo), drtič (vlevo vzadu); deponie Horky u Čáslavi 27. 3. 2017

Dle pracovníka obsluhujícího tuto recyklační linku je poměr výsledného množství recyklovaného kameniva k množství odpadu odhadem 3:1. Z čehož vyplývá, že při této rekonstrukci tratě, bylo množství odpadu z železničního svršku redukováno na jednu čtvrtinu. Cena za uložení tuny odpadu na skládce je srovnatelná s cenou recyklace jedné tuny kameniva, přičemž při použití recyklátu jsou náklady sniženy o dopravu materiálu na stavbu.

Výsledkem recyklace kameniva vytěženého z kolejového lože na trati 230 v okolí obce Horky u Čáslavi bylo recyklované kamenivo frakce 0/32. Toto kamenivo najde uplatnění při rekonstrukci téže trati, avšak ne již jako kamenivo pro kolejové lože, ale jako součást konstrukční vrstvy železničního spodku.

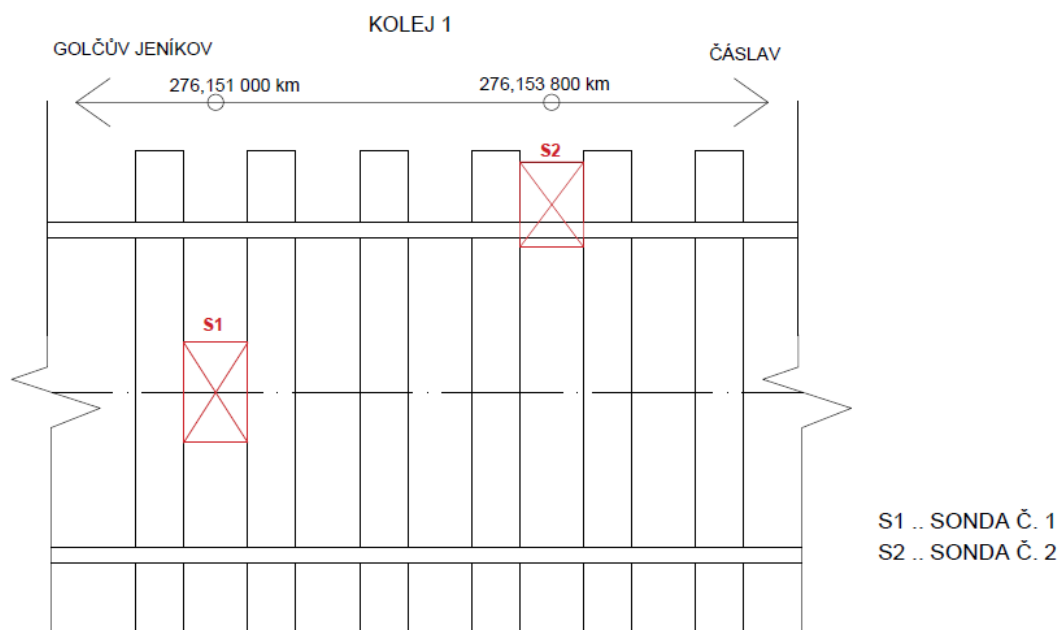
8.1.2. Postupy odběru vzorků

Odběr vzorků kolejového lože byl realizován na dvou místech koleje [Obrázek 9]. Vzorkování bylo prováděno ruční kopanou sondou. Pro samotný odběr bylo třeba použít několik pomůcek, a to lopatku, hrabičky, předem zvážené nádoby, pytle na odebrané vzorky a digitální závěsnou váhu, pomocí které se monitorovala váha odebraných vzorků.

GPS souřadnice Sondy 1: Y = 675050,754 m X = 1072645,419 m H = 259,052 m

GPS souřadnice Sondy 2: Y = 675053,716 m X = 1072645,273 m H = 259,067 m

(S –JTSK, Bpv)



Obrázek 9 Poloha kopaných sond v místě koleje

Sonda 1 [Obrázek 10] se nachází v ose koleje 1 a dosahuje hloubky 85 centimetrů od úložné plochy pražce. Štěrk se nacházel až do hloubky 50 centimetrů. V konstrukci železničního spodku byla nalezena vrstva kypré drcené strusky o mocnosti 15 centimetrů, dále zde byla objevena vrstva štěrkopísku o mocnosti 10 centimetrů a posledním nalezeným materiálem byla vrstva písčitého jílu.



Obrázek 10 Průběh odběru vzorku v Sondě 1; 27. 3. 2017

Jednotlivé vzorky byly odebírány ve třech hloubkových úrovních. První úroveň dosahovala hloubky 15 centimetrů od úložné plochy pražce. Těchto 15 centimetrů je současně výška pražce. Dále byl odebrán vzorek v ose koleje z mezipražcového prostoru do hloubky 20 centimetrů pod ložnou plochu pražce, což je hloubka, do které se těží kamenivo za účelem následné recyklace. Poté v rámci průzkumu podkladních vrstev

kolejového lože byla sonda prohlubována až do největší možné hloubky. Bylo zjištěno, že kolejové lože má tloušťku necelých 0,5 metru. V průběhu odebírání vzorků z mezipražcového prostoru byl pro další srovnání odebrán štěrk také zpod pražců.

Místo pro výkop Sondy 2 bylo zvoleno o tři pražce dál směrem na Čáslav. Odběr vzorků probíhal za hlavami pražců pod kolejnicovým pásem a to kvůli předpokladu, že v tomto místě je větší statické zatížení a tudíž by mělo být granulometrické znečištění větší nežli je tomu v ose koleje. Při výkopu Sondy 2 byl použit stejný postup odběru jako při odběru vzorků v Sondě 1, akorát s tím rozdílem, že v této sondě již nebyly odebrány vzorky z podkladních vrstev. Průběh výkopu Sondy 2 je vidět na Obrázku 11. Zajímavostí je, že od hloubky 0,35 m zde byly nalezeny měkké, drtící se horniny, které jsou kvůli svým vlastnostem pro kamenivo do kolejového lože nepoužitelné. S velkou pravděpodobností se jedná o zrna žilného křemene.

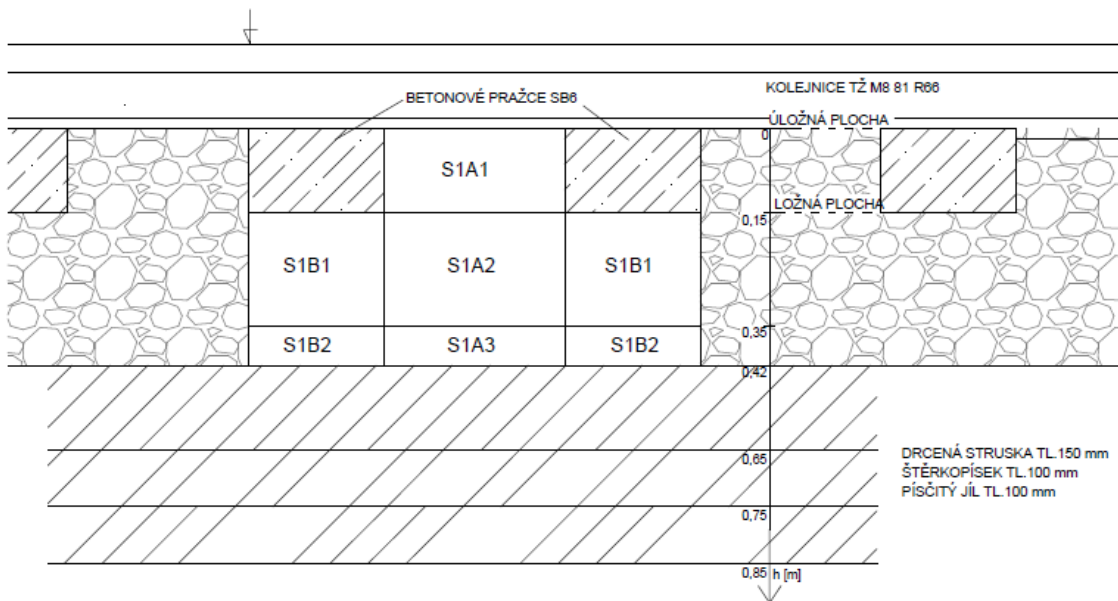


Obrázek 11 Průběh odběru vzorku v Sondě 2; 27. 3. 2017

8.1.3. Přehled odebraných vzorků

Tabulka 6 Přehled vzorků Sonda 1

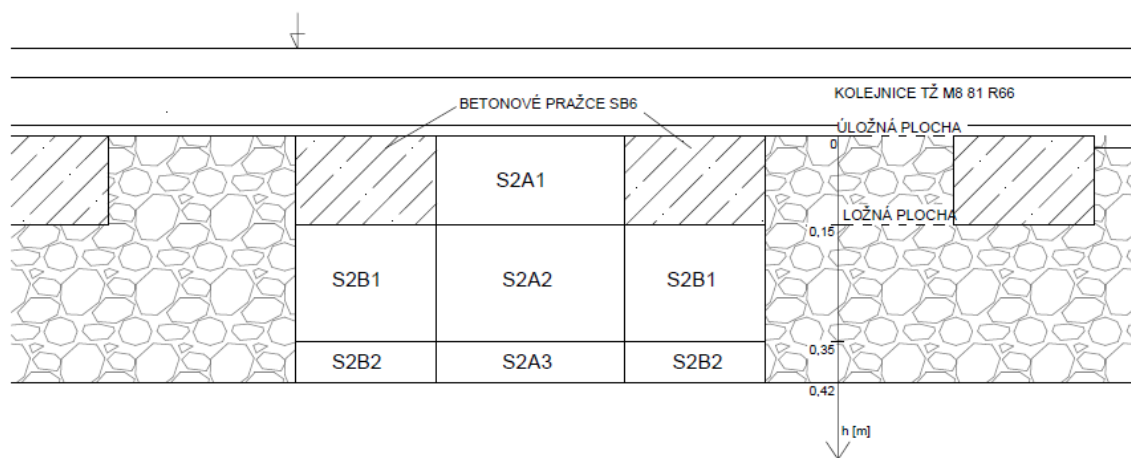
Sonda 1	Kolej 1, staničení 276,151 000	
Označení	Hloubka [m]	Místo odběru
S1A1	0-0,15	v ose koleje mezi pražci
S1A2	0,15-0,35	v ose koleje mezi pražci
S1A3	0,35-0,42	v ose koleje mezi pražci
S1B1	0,15-0,35	v ose koleje pod pražcem
SKV1	0,5-0,65	v ose koleje mezi pražci
SKV2	0,65-0,75	v ose koleje mezi pražci
SKV3	0,75-0,85	v ose koleje mezi pražci



Obrázek 12 Vzorky - Sonda 1

Tabulka 7 Přehled vzorků Sonda 2

Sonda 2	Kolej 1, staničení 276,153 800	
Označení	Hloubka [m]	Místo odběru
S2A1	0-0,15	za hlavou pražce pod kolejnicovým pásem
S2A2	0,15-0,35	za hlavou pražce pod kolejnicovým pásem
S2A3	0,35-0,42	za hlavou pražce pod kolejnicovým pásem
S2A3	0,35-0,42	za hlavou pražce pod kolejnicovým pásem
S2B1	0,15-0,35	za hlavou pražce pod pražci
S2B2	0,35-0,42	za hlavou pražce pod pražci



Obrázek 13 Vzorky - Sonda 2

Jelikož je zrnitostní rozbor při recyklaci prováděn ze vzorků odebraných z hromady, bylo třeba odebrat několik vzorků i zde. Vzorky z deponie se budou následně srovnávat se vzorky odebranými přímo z koleje, za účelem zjištění největší podobnosti. Tímto pokusem lze pak předpovědět, kde nejlépe odebírat vzorky již v projektové fázi recyklace, aby se křivka zrnitosti výrazně nelišila od reality na hromadě. Pro zajímavost byly odebrány také vzorky recyklátu 0/32.

Vzorky odebrané z deponie:

Recyklace REMEX

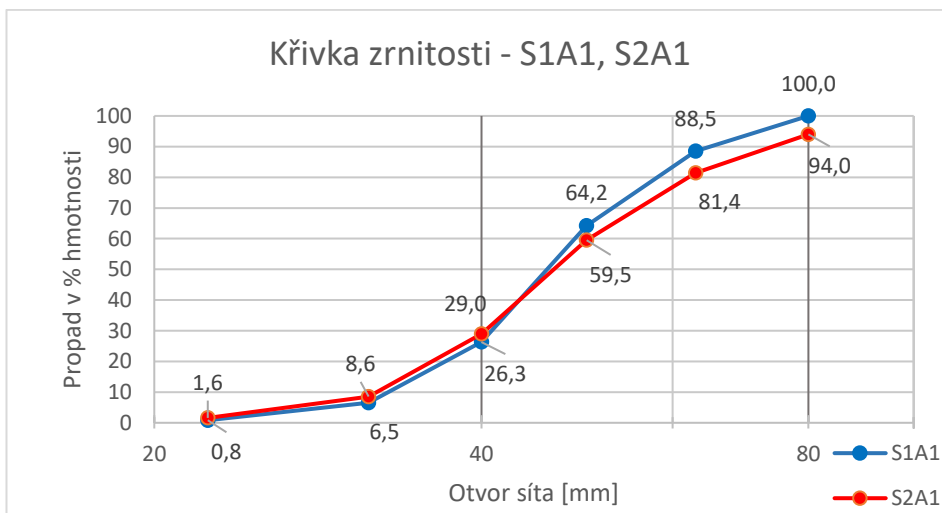
	Označení	
Hromada - Horky u Čáslavi	D11	vytěžené kamenivo z hloubky 20 cm pod ložnou plochu pražce 32/63
	D12	
	D13	
po recyklaci - Horky u Čáslavi	R14	recyklovaná 0/32
	R15	
	R16	

8.2. Laboratorní měření

8.2.1. Porovnání křivek zrnitosti v závislosti na místě odběru

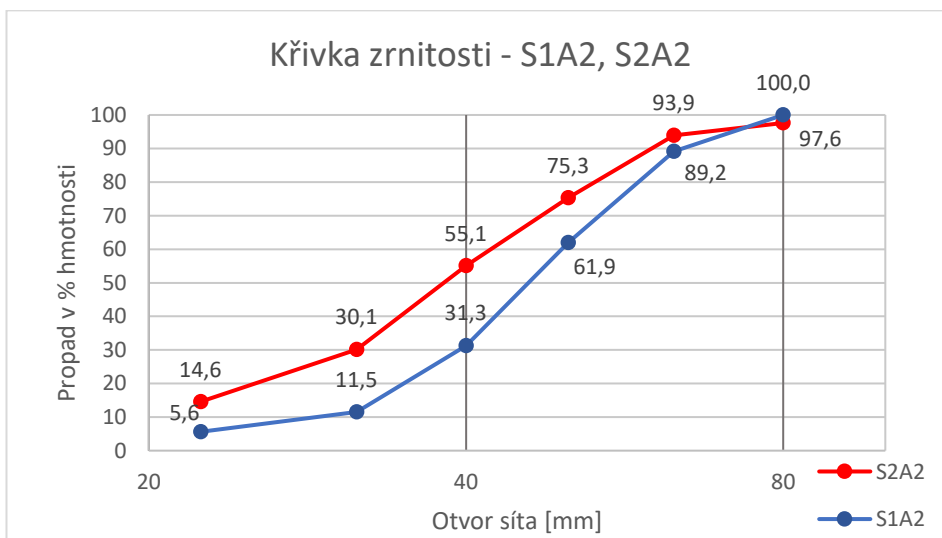
Porovnáním křivek zrnitosti ze vzorků odebraných v Sondě 1 [Obrázek 12] a Sondě 2 [Obrázek 13] v jednotlivých hloubkách zjistíme, ve kterých místech kolejového lože dochází k největšímu drcení zrn kameniva.

Z grafu na Obrázku 14 lze vyčíst, že trend křivky zrnitosti ze Sondy 1 a Sondy 2 je velmi podobný a propad zrn na jednotlivých sítích se výrazně neliší. Tento výsledek zrnitostní zkoušky ukazuje, že je kolejové lože v hloubce 0,00 – 0,15 m tj. do úrovně ložné plochy pražců kolejové lože namáháno stejně. Při odběru vzorků do této hloubky nemá místo odběru zásadní vliv na výsledné zrnitosti.



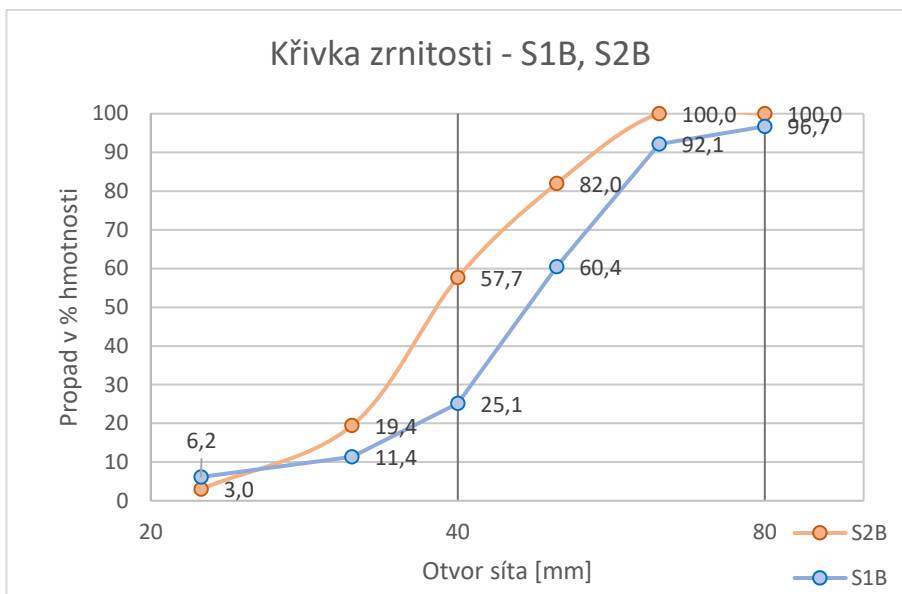
Obrázek 14 Graf křivky zrnitosti z hloubky 0,00 - 0,15 m

Na obrázku 15 jsou vyneseny křivky zrnitosti vzorků S1A2 a S2A2, které byly odebrány v hloubce 0,15 - 0,35 m z mezipražcového prostoru. Na křivce zrnitosti vzorku S2A2 je výrazně větší propad zrn než je tomu u vzorku S1A2. Znamená to tedy větší podíl menších zrn kameniva u vzorku odebraného z místa za hlavou pražce pod kolejnicovým pásem, což může být způsobeno především podbíjením kolejí.



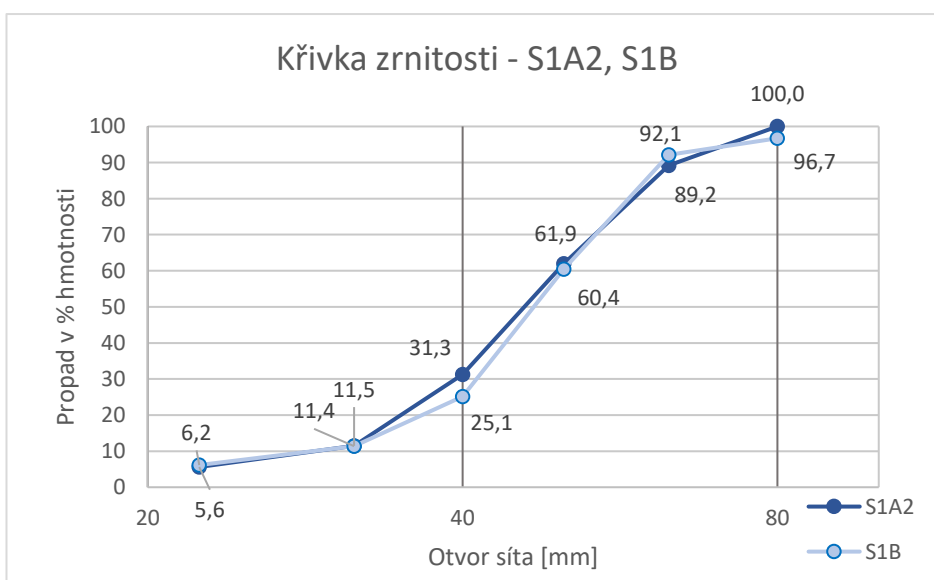
Obrázek 15 Graf křivky zrnitosti z hloubky 0,15 - 0,35 m

Křivky zrnitosti z podpražcového prostoru, které jsou zobrazeny na Obrázku 16, se výrazně liší, dle místa odběru. Na první pohled je zřejmý vyšší podíl propadu zrn až do velikosti síta 31,5 mm u vzorku odebraného za hlavou pražce. Tento fakt opět ukazuje následky podbíjení kolejí. Propad sítem 22,4 mm je však menší.



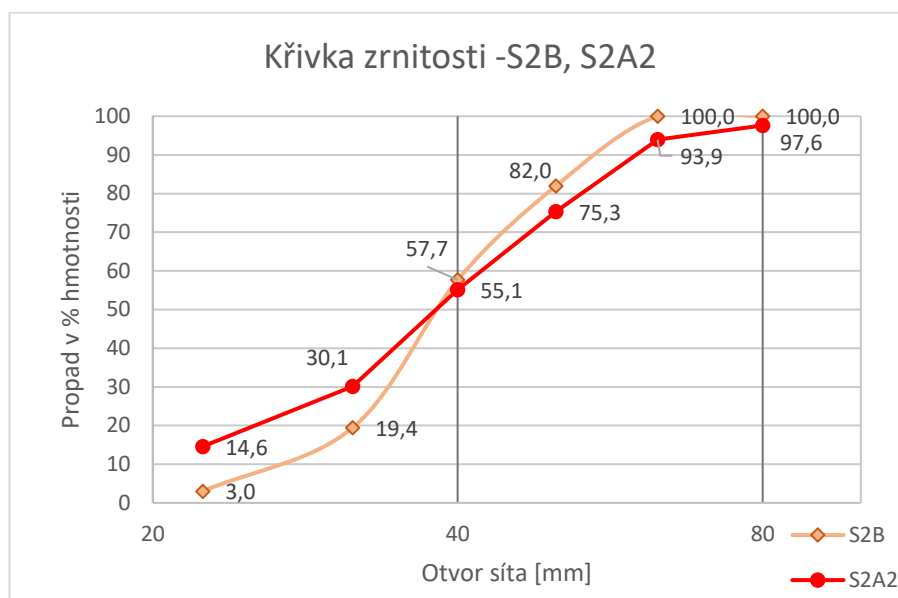
Obrázek 16 Graf křivky zrnitosti z hloubky 0,15 - 0,35 m

Porovnání mezi křivkami zrnitosti z mezipražcového a podpražcového vzorku odebraného v Sondě 1 je zobrazeno na Obrázku 17. Je zde vidět jen velmi malý rozdíl v zrnitostním složení jednotlivých vzorků, což značí podobnou velikost napětí kolejového lože, které má za následek drcení zrn a následnou změnu zrnitostního složení. Z hlediska granulometrického znečištění v hloubce 0,15 – 0,35 m nejsou patrné výrazné rozdíly v míře znečištění kameniva.



Obrázek 17 Sonda 1 - 0,15 - 0,35 m

Na Obrázku 18 lze vidět porovnání křivek zrnitosti vzorků odebraných za hlavou pražce. Na grafu je vidět, že vzorek odebraný zpod pražce má menší procentuální obsah zrn větších 40mm než vzorek odebraný mezi pražci. Tento jev může být způsoben tím, že pod hlavou pražce je kolejové lože nejvíce namáháno a tudíž tam dochází k obrušování a nadrcení zrn velké frakce. Na druhou stranu vzorek S2A2 má několikanásobně větší podíl propadu sítem 22,4 mm, což je pravděpodobně způsobeno postupem práce strojní podbíječky pražců.



Obrázek 18 Sonda 2 – 0,15 – 0,35 m

8.2.2. Vliv postupu prosévací zkoušky na výslednou křivku zrnitosti

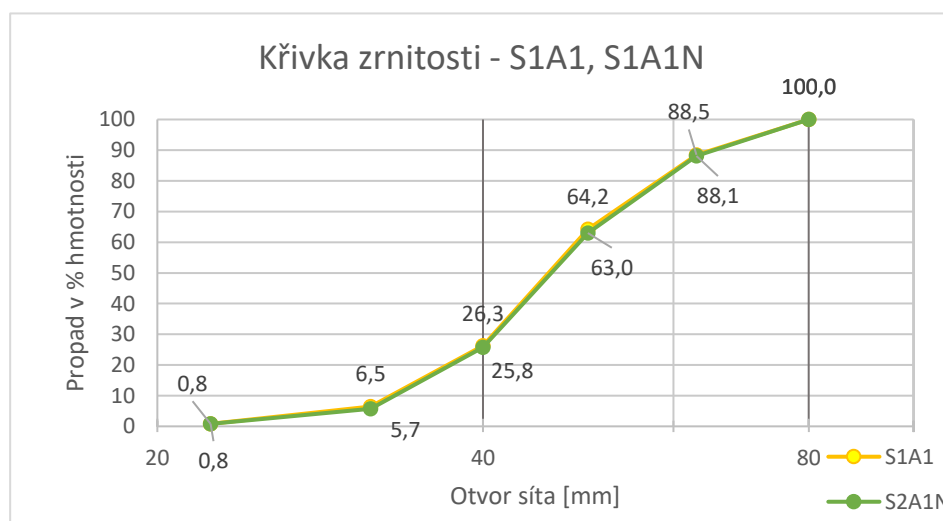
Tato kapitola popisuje vliv způsobu provedení prosévací zkoušky na výsledky křivky zrnitosti. Prosévací zkouška byla provedena dvěma způsoby.

Prvním prosévacím postupem bylo prosévání kameniva ve stavu takovém, v jakém byly vzorky odebrány. Kamenivo nebylo před prosévací zkouškou vysušeno ani promyto. Druhá metoda prosévání byla použita dle ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Postup této zkoušky je popsán v kapitole 2.5.1.

Cílem porovnání těchto dvou metod je zjištění chyby měření. Využitím postupu sítového rozboru s nevysušeným a nevypraným kamenivem, by bylo možné ušetřit čas potřebný k vyhotovení křivky zrnitosti a také možnost odvozu menšího množství

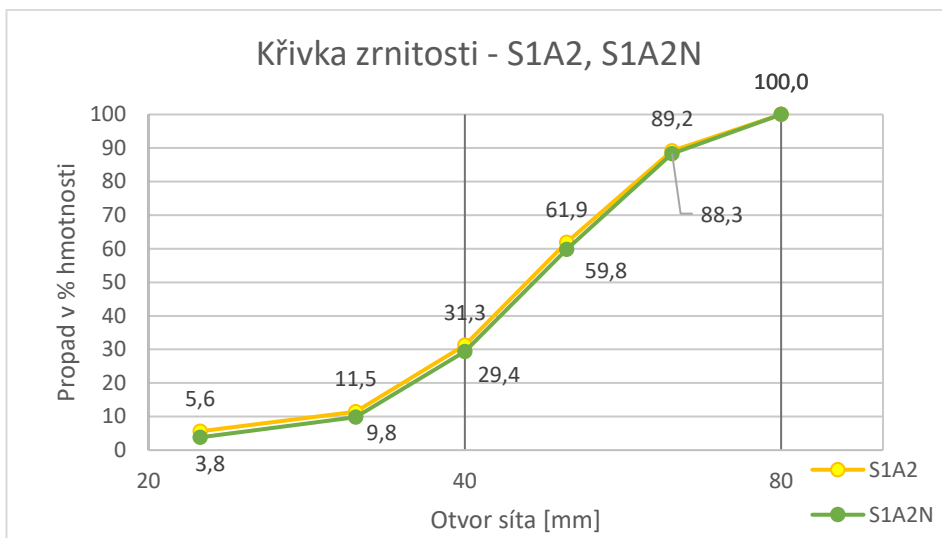
kameniva do laboratoře. V případě, že by se přímo v terénu provedlo prosetí sítí největších frakcí, nebylo by již třeba odvážet tuto velkou frakci do laboratoře k dalšímu zkoumání. Pro určení konkrétních sítí, která by se použila, aby byla chyba měření minimální, je třeba další výzkum. Menší frakce (pod 40), které obsahují největší množství jemných částic, by bylo třeba odvézt do akreditované laboratoře za účelem zjištění obsahu jemných částic, které v terénu nelze provést.

Obrázek 19 ukazuje křivky zrnitosti vzorku S1A1 z hloubky 0,00- 0,15 m. Rozdíl ve výsledných hmotnostních procentech propadu kameniva je minimální. Je to způsobeno především tím, že kamenivo odebrané v této hloubce bylo vlivem příznivého počasí dostatečně vysušené a vlhkost vzorku $w_{S1A1} = 1,0 \%$. To mělo za následek, že drobné, především prachové částice propadly na dno sloupce sítí již při prvním měření. Jediným rozdílem těchto křivek je obsah jemných částic, který byl metodou terénního prosévání neměřitelný. Dle postupu podle normy byl zjištěn obsah částic $f_{S1A1} = 4,8 \%$.



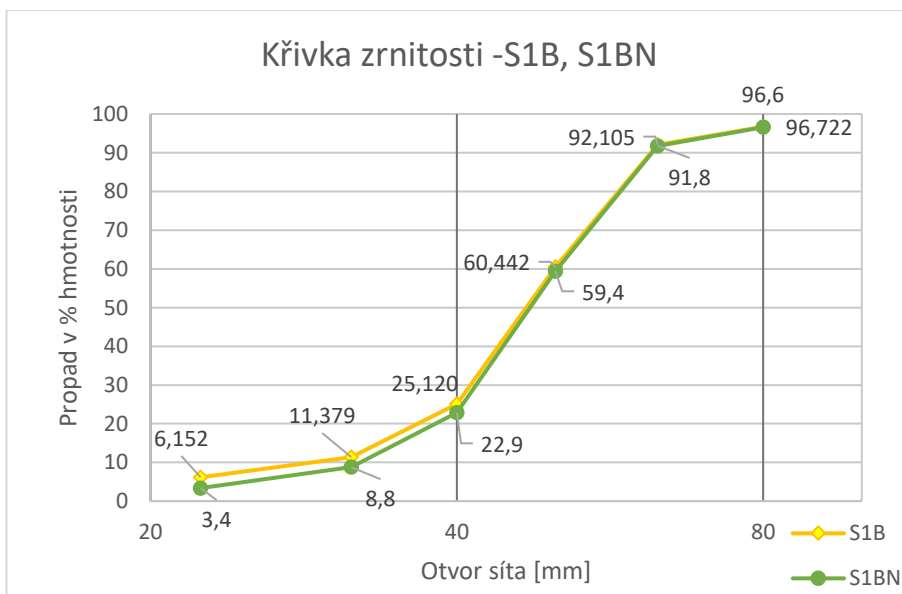
Obrázek 19 S1A1 - terénní postup, postup dle normy

Na Obrázku 20 jsou znázorněny křivky zrnitosti vzorku S1A2 s terénním postupem prosévání a s postupem prosévání dle normy. Po vysušení byla vypočtena vlhkost vzorku $w_{S1A2} = 6,9 \%$. Je vidět, že kamenivo v hloubce 0,15- 0,35 m má vyšší vlhkost než vzorek odebraný ze svrchní vrstvy kolejového lože. Je to způsobeno tím, že v nižších vrstvách kolejového lože není tak velké působení slunečního záření a větru, který by kamenivo vysoušel. Podíl jemných částic $f_{S1A2} = 7,0 \%$ je vyšší než je tomu u vzorku odebraného ve stejné hloubce, ale pod pražcem.



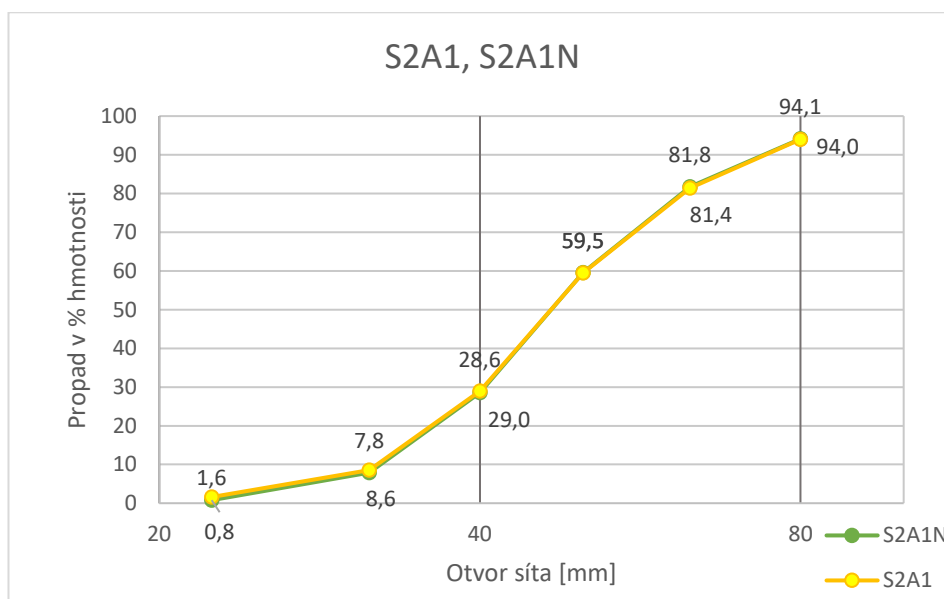
Obrázek 20 S1A2 – terénní postup, normovaný postup

Porovnáním křivek zrnitosti kameniva s vlhkostí $w_{S1B} = 8,4 \%$ a vysušeného a vypraného kameniva S1BN lze zjistit, že největší procentuální rozdíl propadů se odehrává na síti 22,4 mm. Vzorek S1B, který byl zkoušen pomocí terénního postupu, má větší propad zrn na dno než vzorek vypraný a vysušený. Tento jev je způsoben vyplavením jemných částic v procesu praní. Tento vzorek byl odebrán v ose koleje pod pražcem, kde není tak výrazný vliv drcení zrn od roznášení silového napětí pražce na kolejové lože. Z této skutečnosti lze odhadovat, že velký podíl jemných částic pochází z vyplavení částic z podkladových vrstev. Podíl jemných částic ve vzorku S1BN je $f_{S1B} = 4,0 \%$.



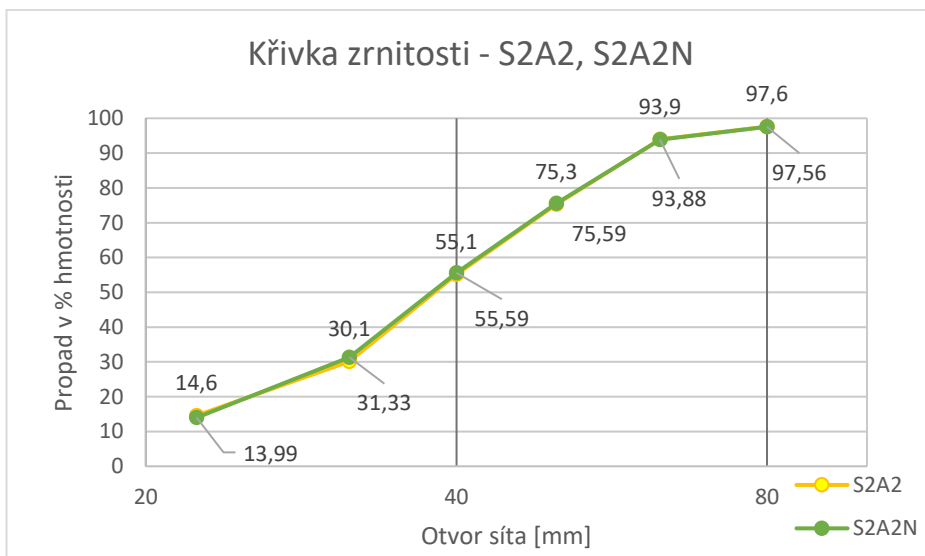
Obrázek 21 S1B - terénní postup, normovaný postup

Na Obrázku 22 jsou zobrazeny křivky zrnitosti dvou postupů síťového rozboru v svrchní vrstvě kolejového lože do hloubky 0,15 m. Stejně jako u vzorku S1A1 jsou křivky zrnitosti téměř identické a to z důvodu malé vlhkosti kameniva při terénním postupu a malému obsahu jemných částic ve vzorku. Vlhkost vzorku $w_{S2A1} = 1,5 \%$ a obsah jemných částic $f_{S2A1} = 1,2 \%$.



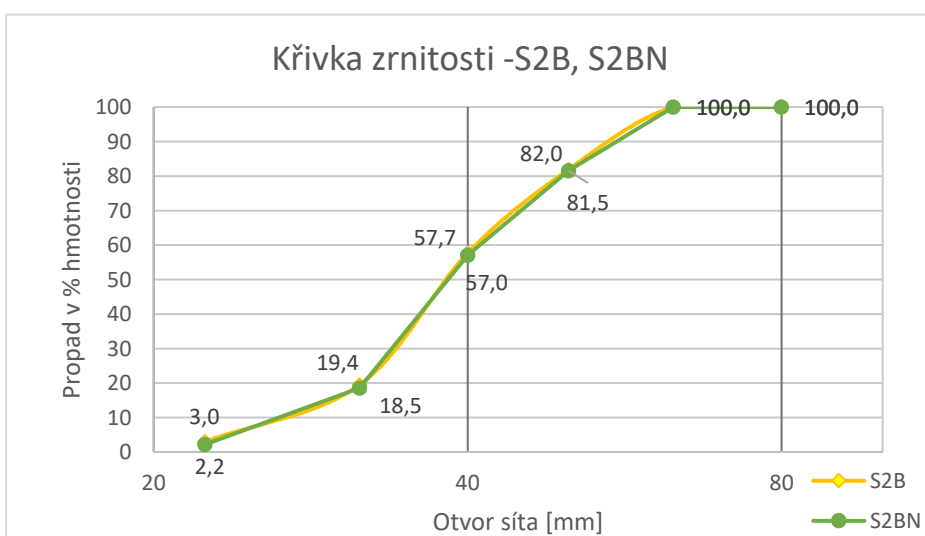
Obrázek 22 S2A1 - terénní postup, normovaný postup

Vzorek odebraný za hlavou pražce pod kolejnicovým pásem v hloubce 0,15 – 0,35 m je zobrazen na Obrázku 23. Na první pohled je patrné, že se křivky zrnitosti téměř neliší a tudíž ani při síťovém rozboru neměl postup zkoušky zásadní vliv na výsledek. Z tohoto výsledku usoudit, že obsah jemných částic byl v celém vzorku uložen relativně rovnoměrně, jelikož propad sítem 22,14 mm je procentuálně velmi podobný, jak ve vlhkém, tak ve vysušeném vzorku. Zároveň obalení hrubé frakce jemnými částicemi nemělo zásadní vliv na propad zrna. Vlhkost kameniva při terénním prosévání je $w_{S2A2} = 9,6 \%$ a podíl jemných částic $f_{S2A2} = 12,8 \%$. Vzorek S2A2 lze z pohledu granulometrického znečištění považovat za nejvíce znečištěný. Je to způsobeno podbíjením koleje a drcením zrn pod hlavami pražce, kde je zatížení na kolejové lože největší.



Obrázek 23 S2A2 - terénní postup, normovaný postup

Vlhkost vzorku odebraného pod pražcem v Sondě 2 je $w_{S2B} = 7,7\%$. Vyšší vlhkost odpovídá menšímu možnosti odpařování vody vzhledem k hloubce vzorku. Přeséváním vlhkého kameniva nebyl zjištěn žádný obsah materiálu, který by propadl sítem 0,063 mm a to proto, že vlhké jílové částice byly slepeny do větších agregátů. Po vysušení a vyprání byl zjištěn podíl jemných částic $f_{S2B} = 4,2\%$. Hrubé kamenivo má téměř shodné podíly propadu zrn na sítích, což může být tím, že znečištění na jednotlivých zrn nebylo tak velké, aby ovlivnilo propad zrna. [Obrázek 24] Podle předpokladu by měl mít vzorek S2B větší podíl jemných částic a znečištění, než vzorek S1B. Rozdíl však není zásadní, což může být způsobeno relativně malým stupněm znečištění kolejového lože. V případě silně znečištěného kolejového lože mohou výsledky vypadat úplně jinak.

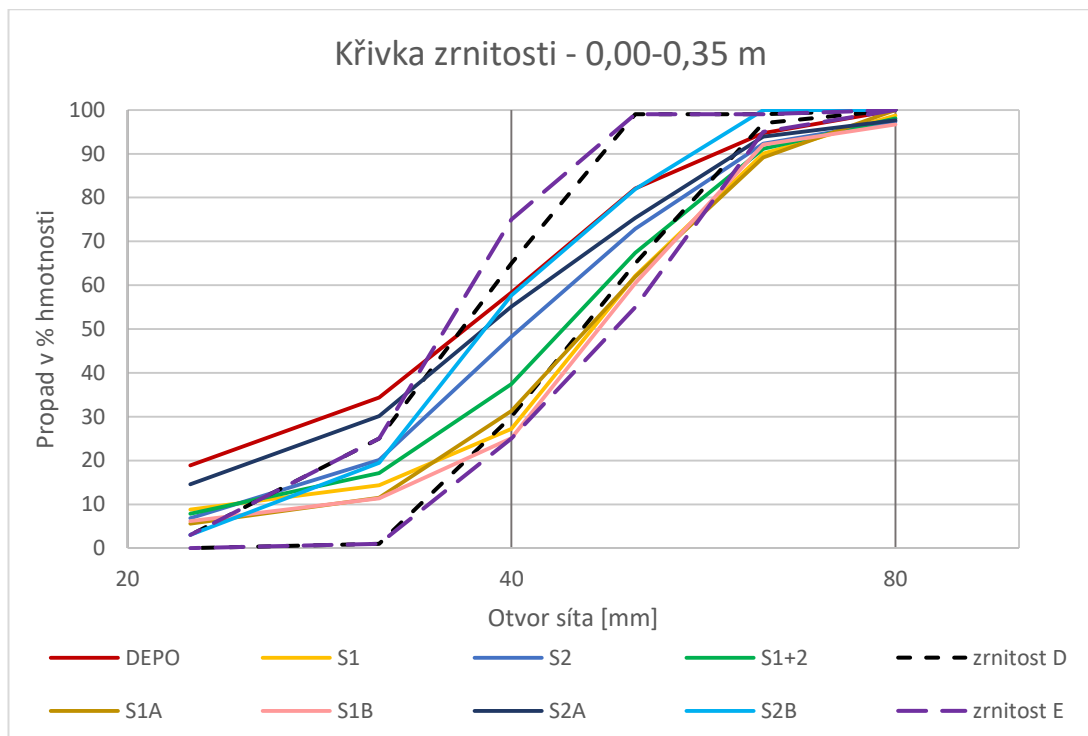


Obrázek 24 S2B - terénní postup, normovaný postup

8.2.3. Porovnání křivky zrnitosti vzorku z deponie s odebranými vzorky z koleje

Pro srovnání zrnitosti vzorků kameniva odebraných přímo z koleje se vzorkem odebraným z deponie Horky u Čáslavy, kde bylo kamenivo skladováno před následnou recyklací, byla použita křivka zrnitosti získána při síťovém rozboru použitým v studentské práci *Porovnání vybraných vlastností kameniva pro kolejové lože* [14].

Cílem tohoto srovnání bylo zjistit, který ze vzorků je zrnitostním složením nejbližší vzorku z deponie. V průběhu recyklace jsou pro kontrolu odebírány vzorky pouze z deponie, a tak bylo vhodné zjistit, ze kterého místa v koleji a v jaké hloubce odebírat vzorky před úplným začátkem těžby, aby vzorky co nejvíce odpovídaly realitě z deponie.



Obrázek 25 Porovnání křivek zrnitosti odebraných vzorků se vzorkem z deponie

Z grafu na Obrázku 25 je vidět, že pouze vzorek S2B vyhovuje požadavkům OTP pro kamenivo kategorie zrnitosti D, které je možné využívat pro kamenivo třídy B I. Všechny zbylé vzorky neodpovídají ani kategorii zrnitosti E. Z hlediska postupu recyklace bylo tedy správně zvoleno drcení na jinou frakci. Všechny vzorky mají nedostatek podílu zůstatku kameniva na síti 63 mm a velký podíl podsítného materiálu.

Směsný vzorek S2A je nejvíce odpovídající vzorku odebranému z deponie. Jedná se o vzorek se Sondy 2 u hlavy pražce v mezipražcovém prostoru pod kolejnicovým pásu a hloubce 0,00 – 0,35 m. Z celkových směsných vzorků Sondy 1, Sondy 2 a Sondy 1 + 2 se křivce zrnitosti z deponie nejvíce přiblížil směsný vzorek S2, ve kterém bylo zahrnut jak vzorek zpod pražců, tak vzorky odebrané mezi pražci. Největší odchylku vykazuje křivka zrnitosti na propadu sítím 31,5 mm, kde rozdíl obou křivek tvoří až 14 %.

8.3. Výsledky recyklace

Recyklace kameniva z úseku 569 na trati 230 probíhala tříděním kameniva na třídiče a následným drcením na frakci 0/32, která bude použita do konstrukčních vrstev železničního spodku.

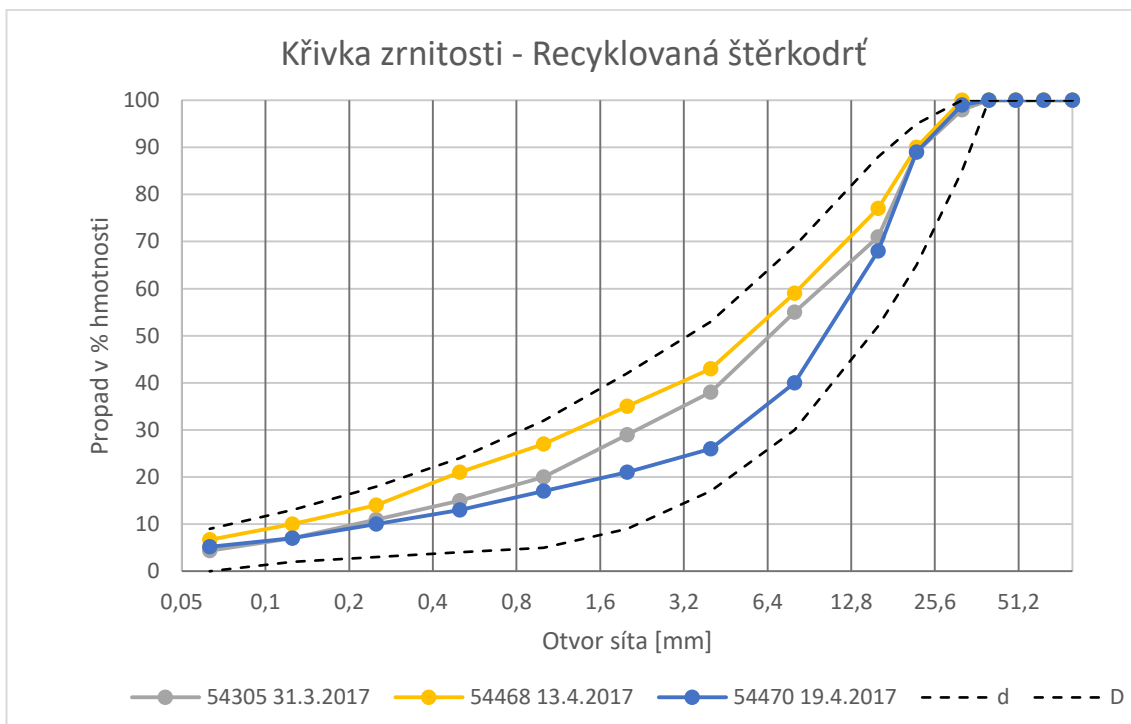
Postup drcení kameniva na menší frakci byl pravděpodobně zvolen kvůli nevyhovující křivce zrnitosti kameniva pro kolejové lože frakce 31,5/63.

Meze křivky zrnitosti pro recyklovanou štěrkodrt jsou uvedeny v předpisu SŽDC S4 – Železniční spodek, stejně jako další požadované vlastnosti. Mezi zkoumané vlastnosti patří: zrnitost, hmotnostní procento nadsítné frakce, hmotnostní procento jemných částic, hmotnostní procento cizorodých částic, čísl nestejnorodosti, otlukovost a maximální procento vápence ve výzisku. [19]

Prokázané výsledky počáteční zkoušky recyklované štěrkodrtě se v průběhu recyklace ověřují kontrolními zkouškami. Kontrolní zkoušky zajišťuje na své náklady zhotovitel a jejich výsledky předává stavebnímu dozoru. „Kontrolní zkoušky musí být provedeny akreditovanou zkušebnou. Odběr vzorků recyklované štěrkodrtě se provádí podle ČSN EN 932-1. Nesplňuje-li recyklovaná štěrkodrtě předepsané požadavky, stavební dozor její použití do konstrukční vrstvy nepovolí.“⁵ Je třeba provést minimálně 2 kontrolní zkoušky na každých 2000 vyrobených tun recyklátu.

Z výsledných křivek zrnitosti [Obrázek 26] lze potvrdit požadovanou zrnitostní kvalitu recyklované štěrkodrti, která je předepsána v předpisu S4 [19] pro použití recyklovaného materiálu v konstrukčních vrstvách železničního spodku.

⁵ [2]



Obrázek 26 Výsledky zkoušek recyklované štěrkodrtě Zdroj: převzato z výsledků zkoušek pro recyklační firmu Remex CZ a.s., ZTR Golčův Jeníkov - Čáslav, SG Geotechnika a.s, laboratoř geomechaniky a laboratorní měření

9. Závěr

Cílem teoretické části práce bylo stručně popsat ekologické znečištění a jeho vzorkování. Bylo potvrzeno, že v České republice se velmi dbá na ekologickou nezávadnost kolejového lože, jak už při běžném užívání, tak před recyklací. Na kontrolním dni se zástupci SŽDC bylo upozorněno na problém bočních úkapů, které jsou doposud neřešeným problémem. Stálo by za uvážení problém bočních úkapů eliminovat úpravou problematických motorových jednotek, nebo aspoň chránit kolejové lože od znečištění pomocí sorpčních textilií, nebo občasným sorpčním posypem.

Hlavní část studie je věnovaná mechanickému znečištění, jeho popisu, jak vzniká a co způsobuje. Pro účely této práce je velká část soustředěna na granulometrické znečištění, což znamená znečištění změnou podílů jednotlivých frakcí zrn. Toto znečištění je patrné z křivky zrnitosti, kterou lze získat síťovým rozbořem.

Největším následkem granulometrického znečištění je snížená propustnost vrstvy kolejového lože, která má negativní vliv na tvar kolejového lože a tím na stabilitu koleje. Znečištěné kolejové lože je třeba častěji podbíjet, čímž se ale způsobuje další drcení zrn. Proto je třeba stav kolejového lože průběžně monitorovat nejen z hlediska ekologického znečištění, ale také z hlediska mechanického znečištění.

Ačkoliv byly v teoretické části popsány různé zkoušky kameniva související s granulometrickým znečištěním, v praktické – laboratorní práci byl prováděn pouze síťový rozbor. Granulometrické znečištění je patrné také z odolnosti zrn proti drcení pomocí zkoušky LA, dále lze predikovat znečištění kolejového lože podle ostrohranosti zrn a tvarovému indexu. Je logické, že v průběhu užívání kolejového lože se částice z ostrých hran zrn díky drcení a obrušování uvolňují a nyní tvoří podsítnou frakci kameniva 31,5/63.

První laboratorní pokus měl za úkol porovnat zrnitost kameniva ze Sondy 1 a Sondy 2 v jednotlivých hloubkách. Vzorky odebrané z hloubky 0,00 – 0,15 m jsou zrnitostním složením velmi podobné. Mezi sítěmi 40 mm a 50 mm dochází ke změně trendu křivky a vzorek odebraný za hlavou pražce má větší propad zrn než vzorek z osy koleje. To znamená větší podíl menších zrn. V hloubce 0,15 – 0,35 m jsou již rozdíly

mezi křivkami značné. Podíl propadů zrn u hlavy pražců v mezipražcovém prostoru, stejně tak pod pražci, je i dvojnásobně vyšší než propady zrn v ose koleje. Tento fakt byl z velké části způsoben podbíjením kolejového lože, které má za následek drcení kameniva a změnu jeho křivky zrnitosti. Další příčinou drcení kameniva u hlavy pražce je statické namáhání pražců, a tím i kolejového lože, které je v tomto místě největší.

Dalším bodem laboratorního měření bylo srovnání vlivu postupu při tvorbě křivky zrnitosti. Pro srovnání byly použity dvě metody prosévání, a to prosévání kameniva ve stavu, v jakém bylo odebrané při vzorkování a prosévání s promýváním a vysoušením, předepsané normou [4].

Zkoumání chybovosti prosévání vlhkého kameniva bez vyprání vůči normovanému postupu mělo za úkol doporučit zjednodušení postupu recyklační firmy při odběru vzorků pro síťový rozbor. Zde je třeba upozornit na konkrétní podmínky ovlivňující výsledky zkoumání. Kamenivo bylo málo až středně znečištěné a bylo odebíráno po několika dnech bez deště. Vlhkost kameniva a jemných částic byla tedy jiná, než kdyby odběr probíhal za deště či po něm. Relativně nízká vlhkost kameniva způsobila dobré oddělení jílových a prachových částic již při prosévání. Obzvláště u vzorků odebraných do hloubky 0,15 m, kde nebyly patrné téměř žádné rozdíly. I přesto, že kamenivo odebrané v hloubce 0,15 – 0,35 m mělo větší vlhkost, na křivku zrnitosti to mělo jen zanedbatelný vliv. Největší rozdíly bylo možno pozorovat u podsítné frakce kameniva. Při prosévání vlhkého kameniva bylo téměř nezjistitelné množství jemných částic, které se určují propadem síta 0,063 mm. Množství propadlé tímto sítem bylo zanedbatelné, či nulové. Na rozdíl od postupu promývání, kdy při praní a prosévání sítem 0,063 mm, kdy byly zjištěny obsahy jemných částic až 12,8 % hmotnosti vzorku. Největší podíl jemných částic byl zjištěn u vzorku S2A2.

Podle „*Obecných technických podmínek – kamenivo pro kolejové lože železničních drah*“ je maximální povolený podíl jemných částic 3 % pro třídu recyklovaného kameniva B I, pro třídu B II je povolený limit 3,5 % hm., a pro kamenivo nejnižší třídy E je tento limit až 5,5 % hm. Výjimkou je použití recyklovaného kameniva pro stavbu drah pro rychlost vyšší než 160 km.h⁻¹, kde je použití recyklovaného kamenivo zakázáno.

Limit pro kamenivo třídy B I byl splněn pouze u vzorku S2A1. Vzorky S1A1, S1B a S2B by svým podílem jemných částic splnily požadavky pouze na kamenivo zrnitosti E, tj. použití pro stavbu kolejového lože třídy C.

Největší podíl jemných částic měly vzorky z hloubky 0,15 – 0,35 m z mezipražcového prostoru, a to u vzorku odebraného z osy koleje i mezi hlavami pražců.

Dle doporučení ERRI je třeba vyměnit kamenivo pro kolejové lože při podílu propadu zrn sítím 22,4 mm větším než 30 %. Z tohoto kritéria nebylo znečištění v žádném vzorku dosaženo ani z poloviny.

Z pohledu následné recyklace bylo však znečištění podsítnou frakcí velké, tudíž nemohl být zvolen postup znovupoužití frakce 31,5/63, ale bylo nutné kamenivo drtit na menší frakci. V případě recyklace z deponie Horky u Čáslavi se jednalo o drcení na frakci 0/32, která se následně využije pro stavbu železničního spodku.

Zajímavým námětem pro budoucí zkoumání granulometrického znečištění kolejového lože v ČR by bylo zavedení indexu znečištění, který je již několik let zaveden v západních zemích.

Poslední zkoumanou vlastností vzorků byla podobnost křivky zrnitosti odebraných vzorků z koleje s křivkou zrnitosti vzorku z deponie. Křivka zrnitosti vzorku z deponie byla převzata ze studentské práce [14]. Na hromadě se nacházelo vytěžené kamenivo z hloubky 0,00 – 0,35 m. Proto byly pro porovnání zavedeny směsné vzorky, které vznikly matematickým dopočtem. Nejvíce podobný byl vzorek S2A, jehož křivka měla stejný trend, avšak na všech sítích menší propady.

Ze zkoumání podobností s křivkou zrnitosti z deponie lze říct, že před samotnou recyklací by bylo v tomto konkrétním případě vhodné odebrat vzorek v projektové fázi z mezipražcového prostoru pod kolejnicovým pásem mezi hlavami pražců, aby bylo dosaženo nejrealnějších návrhů na způsob recyklace, vzhledem ke skutečnému zrnitostnímu složení kameniva na hromadě.

V závěru práce jsou ukázány reálné výsledky recyklace firmou Remex CZ, která je povinna dokazovat kvalitu vyrobeného recyklátu pravidelnými kontrolami křivky zrnitosti. Všechny křivky dle očekávání splnily limity zrnitosti pro recyklovanou šterkodř.

10. Zdroje

- [1] *Obecné technické podmínky: Kamenivo pro kolejové lože*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2006.
- [2] *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: Kapitola 7 Kolejové lože*. 3. aktualizované vydání. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2013
- [3] *ČSN EN 13450: Kamenivo pro kolejové lože*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [4] *ČSN EN 933-1: Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [5] S3: *Železniční svršek*. Správa železniční dopravní cesty, 2006
- [6] Libor Ižvolt, J. Š. (2015). *Železničné staviteľstvo 2*. EDIS.
- [7] *Aggregate for Railway Ballast: The requirements of AS 2758.7* [online]. 2009, , 8 [cit. 2017-05-08]. DOI: TN75. AUG14. Dostupné z:
http://www.ccaa.com.au/imis_prod/documents/Library%20Documents/Tech%20Note%2075%20Railway%20Ballast%20LR.pdf
- [8] AGGREGATE INDUSTRIES. *London Underground* [online]. 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.aggregate.com/media-and-resources/case-studies/london-underground/>
- [9] ANDERSON, P., C.J. CUNNINGHAM, R.A. HEARN DEN, D.A. BARRY a J.C. PHILIP. Optimisation and assessment of different railway ballast cleaning systems. *Environmental data services* [online]. 2003 [cit. 2017-05-04]. DOI: 10.2462/09670513.628. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/profile/Jim_Philp/publication/37426947_Optimisation_and_assessment_of_different_railway_ballast_cleaning_systems/links/0fcfd50ea921f36cee000000.pdf
- [10] L. PARSONS, PH.D., P.E., Robert. *Mechanical and Hydraulic Properties of Railroad Ballast* [online]. In: . 2012, s. 55 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
http://matc.unl.edu/assets/documents/matcfinal/Parsons_MechanicalandHydraulicPropertiesofRecycledRailroadBallast.pdf
- [11] FRANKLIN, Andy. *CURRENT PRACTICE IN CURRENT PRACTICE IN BALLAST MAINTENANCE & BALLAST MAINTENANCE & RENEWAL RENEWAL* [online]. In: . 2006 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z:
<http://www.nottingham.ac.uk/railwaysymposium/Presentations/Franklin.pdf>

[12] BELL, Garry a Peter DAVES. A re-use for spent railway ballast. *Environmental data services* [online]. 2011 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.mineralandwasteplanning.co.uk/re-use-spent-railway-ballast/aggregates/article/1101827>

[13] BAILEY, Brennan, Jean HUTCHINSON a Duncan GORDON. *Field and laboratory procedures for investigating the fouling process within railway track ballast* [online]. 2011, , 9 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://geoserver.ing.puc.cl/info/conferences/PanAm2011/panam2011/pdfs/GEO11Paper718.pdf>

[14] ŠUK, Jan a Barbora PAVELKOVÁ. *Porovnání vybraných vlastností kameniva pro kolejové lože*. Praha, 2017.

[15] *Kolejové lože: základ konstrukce koleje*. ČVUT v Praze, Katedra železničních staveb - ZST2.

[16] PINKA, Miroslav. *Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin*. Ostrava: Vysoká škola Báňská, 2013.

[17] VÍTKOVÁ, Kateřina. *KVALITA DROBNÉHO DRCENÉHO PŘÍRODNÍHO KAMENIVA DO POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ* [online]. Brno, 2012 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55206. Bakalářská práce. VUT Brno.

[18] PLÁŠEK, Otto, Pavel ZVĚŘINA, Richard SVOBODA a Vojtěch LANGER. *Železniční stavby II: Základní součásti železničního svršku* [online]. 1. Brno: VUTIUM, 2006 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BN02-Zeleznicni%20stavby%20II/M04-%C5%BDlezn%C4%8Dn%C3%AD%20svr%C5%A1ek%20-%20z%C3%A1kladn%C3%AD%20sou%C4%8D%C3%A1sti.pdf>

[19] *S4: Železniční spodek*. Praha: SŽDC, 2008.

[20] ČIHÁK, Jan, Jindřich FAJTL, Ladislav KOPSA a Jiří ŠÍDLO. *Ekologie v oblasti železniční dopravní cesty. VĚDECKOTECHNICKÝ SBORNÍK ČD* [online]. 1998, **1998**(6), 59 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/51448/51583/606.pdf/6cf7fe6b-ae8-41f9-be0f-0845e5552439>

[21] *SBORNÍK PŘEDNÁŠEK Z MEZINÁRODNÍHO REGIONÁLNÍHO SEMINÁŘE K PROBLEMATICE PODNIKOVÉHO ENVIRONMENTÁLNÍHO ÚČETNICTVÍ (ČESKÁ REPUBLIKA, SLOVENSKO, POLSKO A MAĎARSKO)* [online]. Pardubice: MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ UNIVERZITA PARDUBICE, 2001 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z:
http://www.enviweb.cz/download/ea/20011029_cz.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Značka	Veličina	Jednotka
f	podíl jemných částic	[%hm]
M _i	hmotnost	[kg]
R _i	hmotnost materiálu zachyceného na jednotlivých sítích	[kg]
P	hmotnost materiálu zbylého na dně	[kg]
SI	Tvarový index	[%hm]
FI	Index plochosti	[%hm]
D	Horní rozměr frakce	[mm]
d	Spodní rozměr frakce	[mm]
L	Délka zrna	[mm]
E	Tloušťka zrna	[mm]
C	Součinitel ložnosti	[Pa.m ⁻¹]
LA _{RB}	Součinitel Los Angeles	[-]
SZ _{RB}	Součinitel odolnosti drcení v rázu	[%hm]
M _{DERB}	Součinitel proti otěru	[%hm]
FI	Fouling index – index znečištění	[%hm]
LL	Liquid limit – stupeň tekutosti	[-]
ERRI	European Railway Research Institute	
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty	
OTP	Obecné technické podmínky	
TKP	Technické kvalitativní podmínky	

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Kategorie pro maximální hodnoty indexu plochosti Zdroj: ČSN EN 13450	18
Tabulka 2 Velikost mezer tyčových sít v závislosti na frakci	19
Tabulka 3 Určení stupně zaoblenosti hran	21
Tabulka 4 Závislost kvality podloží a součiniteli ložnosti na následném znečištění kolejového lože	27
Tabulka 5 Hodnocení míry znečištění dle indexu znečištění	36
Tabulka 6 Přehled vzorků Sonda 1	42
Tabulka 7 Přehled vzorků Sonda 2	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Křivka zrnitosti kameniva pro kolejové lože třídy BI a BII, zdroj: [1]	15
Obrázek 2 Křivka zrnitosti kameniva pro kolejové lože třídy C, zdroj: [1].....	15
Obrázek 3 Znečištění bočními úkapy, Jihlava 15. 11. 2016	24
Obrázek 4 a) čisté kolejové lože b) částečně znečištěné kolejové lože c) silně znečištěné kolejové lože	25
Obrázek 5 Původ znečištění	35
Obrázek 6 Závislost tloušťky kolejového lože na jeho zanášení Zdroj: [11].....	36
Obrázek 7 Vztah mezi intenzitou deště a zanášením kolejového lože Zdroj: [11]	37
Obrázek 8 Recyklační linka - Třídíč (vpravo), drtič (vlevo vzadu); deponie Horky u Čáslavi 27. 3. 2017	40
Obrázek 9 Poloha kopaných sond v místě koleje.....	41
Obrázek 10 Průběh odběru vzorku v Sondě 1; 27. 3. 2017	41
<i>Obrázek 11 Průběh odběru vzorku v Sondě 2; 27. 3. 2017</i>	<i>42</i>
Obrázek 12 Vzorky - Sonda 1	43
Obrázek 13 Vzorky - Sonda 2	43
Obrázek 14 Graf křivky zrnitosti z hloubky 0,00 - 0,15 m.....	45
Obrázek 15 Graf křivky zrnitosti z hloubky 0,15 - 0,35 m.....	45
Obrázek 16 Graf křivky zrnitosti z hloubky 0,15 - 0,35 m.....	46
Obrázek 17 Sonda 1 - 0,15 - 0,35 m.....	46
Obrázek 18 Sonda 2 – 0,15 – 0,35 m.....	47
Obrázek 19 S1A1 - terénní postup, postup dle normy	48
Obrázek 20 S1A2 – terénní postup, normovaný postup	49
Obrázek 21 S1B - terénní postup, normovaný postup	49
Obrázek 22 S2A1 - terénní postup, normovaný postup	50
Obrázek 23 S2A2 - terénní postup, normovaný postup	51
Obrázek 24 S2B - terénní postup, normovaný postup	51
Obrázek 25 Porovnání křivek zrnitosti odebraných vzorků se vzorkem z deponie.....	52
Obrázek 26 Výsledky zkoušek recyklované šterkodrtě Zdroj: převzato z výsledků zkoušek pro recyklační firmu Remex CZ a.s., ZTR Golčův Jeníkov - Čáslav, SG Geotechnika a.s, laboratoř geomechaniky a laboratorní měření.....	54

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1- P6: Stanovení křivky zrnitosti vlhkého kameniva

P1	vzorek S1A1V
P2	vzorek S1A2V
P3	vzorek S1BV
P4	vzorek S2A1V
P5	vzorek S2A2V
P6	vzorek S2BV

Příloha P7- P12: Stanovení křivky zrnitosti ČSN EN 933-1

P7	vzorek S1A1N
P8	vzorek S1A2N
P9	vzorek S1BN
P10	vzorek S2A1N
P11	vzorek S2A2N
P12	vzorek S2BN