

Vysoká škola logistiky o.p.s.

**Využití recyklovaných materiálů při
modernizaci železničních tratí**
(Diplomová práce)

Přerov 2023

Bc. Martin Konečný



Vysoká škola
logistiky
o.p.s.

Zadání diplomové práce

student **Bc. Martin Konečný**

studijní program Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Využití recyklovaných materiálů při modernizaci železničních tratí**

Cíl práce:

Analyzovat využitelnost recyklovaných materiálů při modernizaci železničních tratí a zpracovat návrhy na zvýšení jejich využívání..

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Teoretická východiska železničního stavitelství
2. Analýza využitelnosti recyklovaných materiálů
3. Návrhy na využití recyklovaných materiálů
4. Vyhodnocení návrhů

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

HLAVOŇ, Ivan a kol. Dopravní a spojová soustava. Přerov: Vysoká škola logistiky o.p.s., 2010. ISBN 978-80-87179-12-3.

HLAVOŇ, Ivan a Blanka KALUPOVÁ. Teorie a konstrukce dopravních systémů: železniční dráha. Přerov: Vysoká škola logistiky o.p.s., 2013. ISBN 978-80-87179-23-9.

KREJČÍŘÍKOVÁ, Hana. Železniční stavby 1. Praha: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06157-2.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Turek, Ph.D.


Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2022

Datum odevzdání diplomové práce:

6. 5. 2023

Přerov 31. 10. 2022


Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
rektor

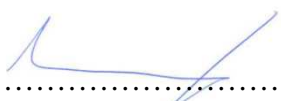
Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámen s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byl poučen o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Tímto prohlášením souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

V Přerově, dne 06. 05. 2023


.....
podpis

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Turkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, odborné připomínky a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na problematiku využití recyklovaných materiálů v konstrukčních vrstvách železniční tratě. Je provedena analýza využití současného stavu využití recyklovaných materiálů. Následně je proveden rozbor materiálů, které mohou být využity za určitých podmínek zpět do konstrukce železniční tratě. Je provedena analýza a výhody využití recyklovaných materiálů.

Klíčová slova

recyklace, kolejové lože, recyklovaný materiál, železnice

Annotation

The diploma thesis is focused on the issue of the use of recycled materials in the structural layers of the railway line. An analysis of the use of the current state of the use of recycled materials is carried out. Subsequently, an analysis of materials that can be used under certain conditions back into the construction of the railway line is carried out. The analysis and advantages of using recycled materials are carried out.

Keywords

recycling, ballast, recycled material, railways

Obsah

Úvod.....	10
1 Teoretická východiska železničního stavitelství.....	11
1.1 Vývoj železniční sítě na našem území	11
1.2 Popis železniční infrastruktury.....	11
1.3 Železniční svršek.....	12
1.3.1 Kolejnice	12
1.3.2 Kolejnicové podpory.....	13
1.3.3 Drobné kolejivo	14
1.3.4 Upevňovadla	14
1.3.5 Kolejové lože	15
1.4 Čištění kolejového lože a recyklace.....	16
1.4.1 Přípravné práce	17
1.4.2 Čističky kolejového lože.....	17
1.4.3 Čištění kolejového lože s výměnou kolejového roštu	17
1.4.4 Sanační komplexy.....	18
1.5 Železniční spodek.....	19
1.6 Plánování a výstavba železniční infrastruktury.....	21
1.6.1 Studie proveditelnosti	21
1.6.2 Záměr projektu.....	21
1.6.3 Posouzení vlivu na životní prostředí.....	22
1.6.4 Dokumentace pro územní rozhodnutí.....	22
1.6.5 Dokumentace pro stavební povolení.....	22
1.7 Vysokorychlostní tratě v České republice.....	22
2 Analýza využitelnosti recyklovaných materiálů.....	24
2.1 Kovové součásti železničního svršku.....	25

2.2	Betonové pražce a betony	26
2.3	Kolejové lože	27
2.4	Materiály železničního spodku	29
2.5	Recyklované materiály mimo železniční stavby	31
2.5.1	Cementobetonové kryty	31
2.5.2	Asfaltové recykláty	31
2.6	Zjišťování kvality tělesa železničního spodku	32
2.6.1	Statická zatěžovací zkouška.....	32
2.6.2	Rázová zatěžovací zkouška	33
2.6.3	Stanovení míry zhutnění	34
2.6.4	Proctorova zkouška.....	35
2.7	Vyhodnocení současného stavu	35
3	Návrhy na využití recyklovaných materiálů	37
3.1	Recyklační linka.....	37
3.2	Konstrukční vrstvy	39
3.2.1	Betonový recyklát	39
3.2.2	Asfaltové recykláty	40
3.3	Podkladní vrstvy.....	40
3.3.1	Betonový recyklát	40
3.3.2	Směsný recyklát	41
3.3.3	Asfaltový recyklát.....	41
3.3.4	Kamenivo nevhodné pro využití do konstrukčních vrstev	41
3.3.5	Beton z recyklovaných materiálů	42
3.4	Zásypový materiál	42
3.5	Kolejové lože	42
3.6	Využití recyklovaných pryží	43
3.6.1	Snižování hluku	44

3.6.2	Přejezdové konstrukce	45
3.6.3	Překážky pro vstup do kolejí	46
3.7	Opravy komunikací	47
3.8	Zkušební úseky	47
4	Vyhodnocení návrhů	48
4.1	Vyhodnocení kvality	48
4.1.1	Betonový recyklát	48
4.1.2	Využití R-materiálu a asfaltových směsí	50
4.2	Cenové porovnání	50
4.2.1	Cenová úspora na materiálových vstupech	51
4.2.2	Cenová úspora v přepravách	52
4.3	Vliv na životní prostředí	53
4.4	Budoucnost využití recyklovaných materiálů	57
	Závěr	58
	Seznam grafických objektů	62
	Seznam tabulek	63

Úvod

Železniční doprava je řazena svým významem k nejpoužívanějším druhům dopravy. Její obrovskou výhodou jsou vysoké přepravní kapacity s nízkým vstupem energií. Na rozdíl od říční přepravy není tolik závislá na klimatických vlivech a oproti silniční a letecké dopravě je ekologičtější. Vzhledem ke stále zvyšujícím se požadavkům na množství přepravní kapacity, zvyšujícímu se komfortu a bezpečnosti je na druhé straně tlak na emise a snižování vlivu na životní prostředí.

Cílem diplomové práce je analyzovat současné využívání recyklovaných materiálů při rekonstrukci železniční tratě a pokusit se najít vhodné alternativy ke zvýšení podílu využívaných recyklovaných materiálů.

První část diplomové práce je zaměřena na obecný popis konstrukce železniční tratě. Je popsán vývoj železnice na území České republiky, její současný stav a způsob, jakým probíhá realizace přípravy staveb. Podrobněji je zde popsána problematika železničního svršku, jednotlivých součástí, ze kterých je postaven. Dále se zabývá konstrukcí železničního spodku. Na konci první části je popsána problematika údržby železničního svršku se zaměřením na údržbu kolejového lože a způsoby, jakými se v současné době provádí jeho obnova. Druhá část diplomové práce je zaměřena na jednotlivé materiály, které jsou vyzískávány při rekonstrukci železniční tratě a jejich následné využití. Z velké části je zde popsána problematika recyklace a využití kolejového lože, dále jsou popsány další části železničního svršku a jejich současné využití. Tato část obsahuje také materiály mimo železniční stavby, které mají potenciál využití v konstrukci železniční tratě. Třetí část diplomové práce je zaměřena na možnosti využití vyzískaných materiálů, jejich způsob využití při zpětném zabudování. Materiály jsou rozděleny na využití zpět do železničního svršku, konstrukčních vrstev železničního spodku a podkladních vrstev železničního spodku. V poslední části diplomové práce jsou popsány metody, jakými se zkouší jednotlivé parametry kvality u navržených řešení. Jsou zkoušeny vyhodnoceny některé návrhy materiálů zabudované v železničním spodku. Poslední část kapitoly se zabývá hodnocením a porovnáváním vybraných návrhů z hlediska ekonomického. K tomu je využito oborových třídnic stanovujících jednotkové ceny. Další porovnání je z hlediska vlivu na životní prostředí při přepravě materiálů.

1 Teoretická východiska železničního stavitelství

Železniční doprava je nedílnou součástí dopravního systému v mnoha zemích. Železniční síť se ve světě rozvíjela převážně v 19. a 20. století. Zpočátku se železniční síť budovala a provozovala jako dopravní cesta, po které se měli pohybovat železniční vozy tažené koňmi. Rozvoji železniční sítě a využití železniční dopravy výrazně pomohl vynález parního stroje a jeho implementace do vhodné podoby.

Obdobně je tomu tak s rozvojem železniční sítě i v České republice. Železniční doprava má vysoký podíl přepravních výkonů v nákladní dopravě a je důležitá i v osobní dopravě.

1.1 Vývoj železniční sítě na našem území

V době, kdy se na našem území objevily první železniční tratě, jsme patřily ještě pod Rakousko – Uhersko. První koněspřežná trať se začala budovat v roce 1825 mezi Českými Budějovicemi a Lincem. Částečný provoz byl zahájen v roce 1827 a na celé trati v roce 1832. První železniční trať pro parní provoz byla vybudována z Vídně do Břeclavi a dále do Brna jako součást Severní dráhy císaře Františka Ferdinanda. První vlak přijel do Brna 7.7.1839. Téhož dne se při zpáteční cestě stala mimořádná událost, kdy jedna ze slavnostních souprav narazila do předchozí, která mimořádně zastavila ve stanici Vranovice, aby doplnila vodu. [1]

1.2 Popis železniční infrastruktury

V České republice se nachází jedna z nejhustších železničních sítí na světě. Dominantním vlastníkem byl historicky i v současnosti stát, stejně jako největším budovatelem dopravní sítě. V současné době je na území České republiky sedm provozovatelů dráhy celostátní nebo regionální. Největším majetkovým správcem je v současnosti Správa železnic, státní organizace. Majetkovým správcem byli do 31.12.2002 České dráhy, státní organizace a na základě zákona o transformaci Českých drah, státní organizace č. 77/2002 Sb. vznikly dvě nástupnické organizace, a to České dráhy, a.s. a Správa železniční dopravní cesty, s.o., která se k 1.1.2020 přejmenovala na Správu železnic, s.o. Celková délka tratí dosahuje 9 355 km, z toho je délka jednokolejných tratí 7 287 km, délka dvojkolejných tratí je 2 003 km a vícekolejných tratí je 65 km. Celková stavební

délka kolejí je 15 102 km. Elektrizováno je 3 215 km tratí. V České republice se také dle statistik drážního úřadu nachází 1463 provozovaných vleček, 3 místní dráhy a 3 zkušební úseky. Množství provozovaných vleček se postupně snižuje, od roku 1995 jich ubylo zhruba 800. V České republice je evidováno 104 tuzemských provozovatelů drážní dopravy a 20 zahraničních. [2] [3]

1.3 Železniční svršek

Železniční svršek je jízdní dráhou pro železniční vozidla. Jeho hlavním účelem je nesení a vedení drážního vozidla, bezpečné přenášení statických a dynamických sil od vozidel na železniční spodek. Základní části železničního svršku jsou kolejnice, kolejnicové podpory, drobné kolejivo, upevňovadla a kolejové lože nebo pevná jízdní dráha.

1.3.1 Kolejnice

Kolejnice je důležitou součástí železničního svršku, protože zabezpečuje nesení a vedení drážního vozidla, přenos adhezních sil při rozjezdu a brzdění vozidel. V případě elektrizovaných tratí zajišťuje funkci zpětného trakčního vedení a v případě zabezpečovacího zařízení má funkci kolejových obvodů. Tvar kolejnice se vyvíjel postupně od začátku výstavby prvních tratí. Nejstarším typem kolejnice byli ploché litinové kolejnice. Postupným vývojem přes hříbovitý tvar, dvouhlavou kolejnici se jako nejvhodnější tvar jeví širokopatní kolejnice. Širokopatní kolejnice se skládá z hlavy, stojny a paty. Tvar hlavy kolejnice je ovlivněn tvarem nákolku a okolku, aby byl zabezpečen bezpečný a komfortní průjezd železničního vozidla. Stojna kolejnice může být stejně široká nebo se směrem od středu rozšiřuje. Pata kolejnice a její tvar odpovídá přírubě nosníku. Pomocí paty kolejnice je kolejnice upevněna k pražci nebo podkladnici pomocí upevňovadel, dalším požadavkem je zabezpečit stabilitu koleje a roznos sil od drážních vozidel. [4] [5]

Materiál k výrobě kolejnice se používá ocel třídy R260, která dosahuje pevnosti v tlaku minimálně 880 MPa. Pro oblouky malého poloměru a místa, kde se vlivem vysokého dopravního zatížení očekává vysoké opotřebení kolejnic se používají kolejnice R350 HT s pevností v tahu minimálně 1175 MPa. Vyšší pevnosti a tvrdosti kolejnice R350 HT je dosaženo tepelným opracováním hlavy kolejnice. [4]

1.3.2 Kolejnicové podpory

Hlavním účelem kolejnicových podpor je přenos sil z kolejnice do pražcového podloží, zabezpečení stálého rozchodu kolejnic a řádná držebnost kolejnic. Rozdělení kolejnicových podpor může být dle typu konstrukce na příčné pražce, mostnice, pevná jízdní dráha a různé konstrukce mostů, vah, točen a přesuven. Další rozdělení je určeno materiálem, a to na dřevěné, betonové nebo ocelové. [4]

Dřevěné pražce jsou nejstarším typem pražců. Nízká hmotnost a s tím spojená snadná manipulace, pružnost a relativně dlouhá výdrž a lepší odolnost proti důsledkům vykolejení drážních vozidel jsou jejich hlavní výhodou. Nevýhodou je naopak horší dostupnost kvalitního materiálu pro jejich výrobu. [4]

Vývoj betonových pražců byl poměrně zdoluhavý. První betonové pražce na území Československa byli vloženy do zkušebního úseku v roce 1950 v počtu několika set kusů. Hromadná výroba byla zahájena v roce 1955. První pražce nesli označení PAB 2a a SB2. Zvláštností pražce SB2 bylo dodatečné předpínání výztuže. Maximální rychlost byla stanovena na 100 km/h, se zavedením pražců SB3, SB4, SB5 a SB6 se návrhová rychlost zvedla na 130 km/h. Pražec s označením SB8 byl první, u kterého byl realizován úklon kolejnice přímo na pražci a navržen pro rychlost 160 km/h při nápravovém tlaku 22,5 t. Moderní koridorové tratě si vyžádaly modernější řešení. Byl navržen betonový pražec B91S, který konstrukčně vycházel z návrhu betonového pražce B 70. Do nedávna vyráběný pražec B91S je vyztužen předpnutými strunami o průměru 6 mm, které jsou doplněny třmínky v oblasti uzlu upevnění. Pražec je vyroben z betonu třídy C 45/55. V současné době se používá modernizovaný pražec B 91 T, u kterého nastaly drobné konstrukční změny ve výztuži. Změna spočívá v nahrazení předpnutých strun čtyřmi kusy napínacích tyčí o průměru 9,5mm. Další drobnou změnou je rozšíření rozchodu na 1437 mm. Celková hmotnost pražce činí 304 kg. Výhoda tohoto pražce je velký příčný odpor proti vytlačení. Úspornější variantou pro tratě s nižším provozním zatížením je pražec B03. Konstrukční hmotnost pražce je 252 kg a jeho délka je 2400 mm. Maximální konstrukční rychlost je do 120 km/h. Speciálním typem betonových pražců jsou výhybkové. Jejich délka a konstrukční hmotnost závisí na tvaru výhybky. [4]

V roce 2003 se poprvé v České republice použili ocelové pražce tvaru „Y“. Základním prvkem tohoto pražce jsou dva spojené nosníky tvaru „I“. Na jednom pražci se nachází tři body pro upevnění kolejnice. Čela pražců jsou zkosena pod úhlem 32°, díky čemu je

délka pražce 2000-2300 mm. Hmotnost samotného pražce je 140 kg. Výhodou pražce je při vystřídání pokládce velká příčná tuhost proti vytlačení, proto se pražce hodí do oblouků o malých poloměrech. Pražec lze použít do tratě s maximální rychlostí do 80 km/h. [4]

Zvláštním typem kolejnicových podpor je pevná jízdní dráha. Jedná se o zpravidla betonovou dráhu, ke které se připevňují kolejnice. Její výhodou je díky absenci šterkového lože snížení nákladů na údržbu a delší životnost. Velkou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na vybudování. V současné době se v České republice používají dva systémy, a to Porr a Rheda. [4]

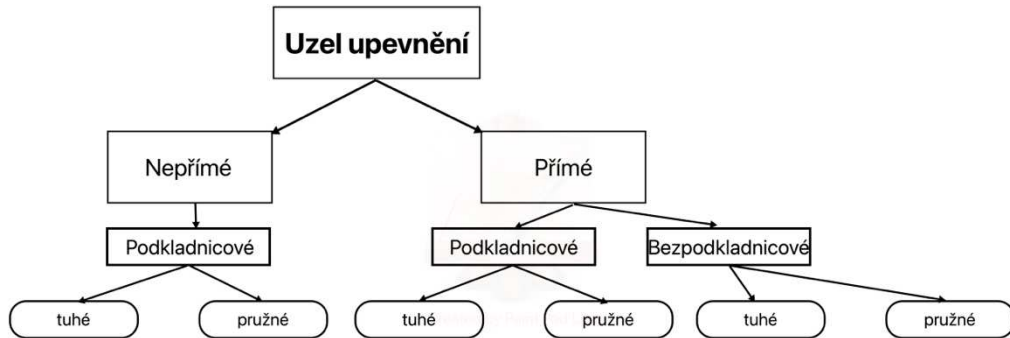
1.3.3 Drobné kolejivo

Ve skupině drobné kolejivo rozlišujeme tyto prvky: hřeby, vrtule, pražcové šrouby, svěrkové šrouby, pružné kroužky, podložky, svěrky, spony, distanční kroužky, můstkové podkladnice a další. Hřeby jsou předchůdci vrtulí a používali se k upevnění kolejnic nebo podkladnic k dřevěnému pražci. Vrtule je součástí modernějšího upevnění a jejich účelem je upevnění kolejnice nebo podkladnice k pražci, a to jak dřevěnému, tak i betonovému. Spolu s vrtulí se používají i plastové hmoždinky, které jsou součástí betonových pražců. Pražcové šrouby se uplatňují při upevnění k výhybkovému pražci. Pro snížení účinku dynamického zatížení se používají pružné kroužky, které jsou zajištěny proti povolení maticí. Na stykové spáře mezi pražcem a kolejnicí vzniká napětí a pro snížení nepříznivého vlivu napětí se používá podkladnice. Historicky se používala klínová podkladnice pro přímé upevnění kolejnice k pražci, následovala rozponová podkladnice, která se již nově nezřizuje. V roce 1974 se u nás začala používat žebrová podkladnice, které se v současnosti využívá na dřevěných pražcích a mostnicích. Žebrová podkladnice je konstruována s úklonem 1:20 v původní verzi a pro novější pražce je již konstruována i bez úklonu. [4]

1.3.4 Upevňovadla

Upevnění jednotlivých kolejnicových pasů k pražcům je dosaženo v uzlu upevnění. Funkce upevnění je zajistit předepsaný rozchod kolejnic, přenést statické a dynamické síly od projíždějících drážních vozidel. Upevnění lze rozdělit na přímé, kdy je kolejnice upevněna přímo k pražci a nepřímé, kdy je kolejnice upevněna k podkladnici a následně

podkladnice je upevněna k pražci. Další základní rozdělení je na podkladnicové a bezpodkladnicové, pružné nebo tuhé viz Obr. 1.1. [4]



Obrázek 1.1 Uzel upevnění

Zdroj: vlastní zpracování dle [4]

Dnes nejpoužívanějším typem upevnění je přímé bezpodkladnicové upevnění pružné. Součástí uzlu upevnění jsou vrtule, vodící vložka, pryžová podložka a svěrky.

1.3.5 Kolejové lože

Kolejové lože je tvořeno směsí hrubého, hutného, drceného kameniva frakce 31,5/63. Hlavní funkcí kolejového lože je roznošení zatížení z kolejového roštu na železniční spodek, tlumení dynamických účinků od železničních vozidel, zajištění dostatečného odporu proti příčnému a podélnému posunu pražců. Konstruktivní vlastnosti kolejového lože umožňují směrovou a výškovou úpravu koleje a odvádění srážkových vod z konstrukce koleje. Kamenivo pro kolejové lože musí mít minimální objemovou hmotnost 2000 kg/m³, nesmí být vyrobeno z dolomitických nebo vápencových hornin. Kamenivo musí mít předepsanou křivku zrnitosti, musí mít předepsaný podíl ostrohranných zrn, nesmí překročit maximální povolenou hodnotu cizorodých částic a musí splnit požadovaný tvarový index. Nesplnění těchto podmínek by mohlo mít za následek zvýšené náklady na údržbu a v krajním případě až vznik mimořádné události. Minimální tloušťka kolejového lože je u celostátních drah 350 mm pod ložnou plochou betonového pražce a 300 mm pod ložnou plochou dřevěného pražce. V případě, že je konstrukční vrstva železničního spodku tvořena asfaltovou vrstvou, skalním podložím nebo betonovou

deskou a není překryta krycí vrstvou, je nutné zvětšit tloušťku kolejového lože o 50 mm. [4]

1.4 Čištění kolejového lože a recyklace

Kolejové lože je důležitou součástí železničního svršku a plní mnoho důležitých funkcí. Vlastnosti kolejového lože musí být propustné, nenamrzavé, stabilní, pružné a v úsecích s kolejovými obvody zabezpečovacího zařízení nebo na elektrifikovaných tratích musí zajišťovat dostatečný izolační odpor. Kamenivo kolejového lože je namáháno dynamickými účinky železničního provozu, mechanicky při podbíjení koleje. Je znečišťováno navátým materiálem, spadem substrátů z železničních vozů a zatlačováním vrstvy železničního spodku viz Obr. 1.2. Všechny tyto faktory negativně ovlivňují vlastnosti kolejového lože a tím vznikají častější nároky na úpravu geometrických parametrů koleje (dále jen GPK). Se zkracujícím se intervalem úpravy GPK dochází vlivem podbíjení koleje k drcení kameniva kolejového lože a jeho postupnému zhoršování kvality. K obnovení kvality kolejového lože lze docílit dvěma způsoby. Prvním je kompletní odtěžení štěrku, druhým je pročištění a následné doplnění novým kamenivem. [6]



Obrázek 1.2 Znečištěné štěrkové lože

Zdroj: vlastní fotodokumentace

1.4.1 Přípravné práce

První důležitou věcí při přípravě čištění kolejového lože je zajištění dostatečně dlouhých výluk, aby mohly být všechny práce včas a s náležitou kvalitou provedeny. Následujícím úkonem musí být pročištění odvodnění, kontrola a případná úprava banketů, aby byla v souladu s hloubkou čištění. Je nutná kontrola uzlů upevnění a stav pražců. V případě špatné držebnosti upevňovadel musí dojít k jejich výměně. Poškozené pražce se musí vyměnit před zahájením prací. Uvolněný nebo poškozený pražec by mohl vést k přerušení prací nebo i poškození stroje. Při strojním čištění probíhá i nadzvednutí kolejového roštu, proto je nutné provést i kontrolu kolejnic a svarů. [6]

1.4.2 Čističky kolejového lože

Jednou variantou, jak čistit kolejové lože je ruční čištění za použití vidlí. Při této fyzicky náročné činnosti se provede odebrání štěrkového lože z mezipražcového prostoru na drážní stezku. Po úpravě pláne tělesa železničního spodku se vrátí čistý štěrk zpět a doplní se novým. Tento způsob je vhodný pro lokální čištění štěrkového lože. Modernějším, rychlejším a efektivnějším způsobem je použití strojního čištění. Stroje při čištění přizvednou kolejový rošt až o 50 mm z důvodu uvolnění pražců ze znečištěného štěrkového lože. Některé stroje jsou vybaveny pro práci, kdy je štěrkové lože silně znečištěné a ulehlé a jsou doplněny zařízením pro odstranění kolejového lože v mezipražcovém prostoru. U strojů, které nemají vlastní zdvihací zařízení, je vhodné před čističkou projet automatickou strojní podbíječkou a provést zdvih kolejového roštu a tím uvolnit pražce ze štěrkového lože. [6]

1.4.3 Čištění kolejového lože s výměnou kolejového roštu

Čištění kolejového lože s výměnou kolejového roštu lze rozdělit na dva způsoby, a to se snášením kolejového roštu a bez snášení kolejového roštu. Technologie bez snášení kolejového roštu spočívá v použití sanačních komplexů. Při snášení kolejového roštu lze postupovat dvěma způsoby, a to využitím strojní čističky, kolejového jeřábu a následně dotěžení zbytku kolejového lože pomocí bagrů do nákladních automobilů nebo snesení kolejového lože a kompletního odtěžení bagry do nákladních automobilů. V obou případech je příprava stejná, dojde k odpojení všech součástí od kolejnic, snesení přejezdu a přechodů, zrušení bezstykové koleje a rozřezání na kolejová pole o základní délce kolejnic. Proběhne kontrola držebnosti uzlů upevnění. V případě použití čističky

šterkového lože se vyhloubí na začátku úseku počáteční jáma, do které se nainstaluje lišta s nekonečným hrabacím řetězem. V technologickém procesu odtěžování kolejového lože strojní čističkou se vytěžené kolejové lože pomocí dopravníkových pásů přesouvá do zásobníkových vozů. Zásobníkové vozy jsou nejčastěji vícenápravové speciální vozy upravené pro přepravu sypkých materiálů. Konstrukce vozů umožňuje kontinuální nakládání materiálu a ve spojení více vozů do soupravy umožňuje naložit celou soupravu kontinuálním nakládáním a překládáním z vozu do vozu. Vozy jsou vybaveny doplňkovým dopravníkem, který přesahuje čelo vozu. Dopravník umožňuje vyprázdnění vozu na deponii materiálu, přesun do dalšího vozu nebo v případě čistého šterku jeho kontinuální rozprostření v kolejovém loži. Po odtěžení kolejového pole následuje snesení kolejových polí pokladačem. Pokladač kolejových polí je stroj skládající se z tahače, který je upraven pro pohyb po kolejích a portálu pohybujícímu se po čtyřdílném jeřábovém mostu příhradové konstrukce na železničním podvozku. Po dráze uvnitř jeřábu se pohybují tři spojené jeřábové kočky. Pokladačem dojde ke snesení kolejových polí na podvozky pro přepravu kolejových polí. Na podvozky se pokládají čtyři kolejová pole, která jsou uvázána do balíku. Pohyb balíků zajišťuje dieselová lokomotiva s ochranným vozem před prvním podvozkem. Souprava je omezena maximálním počtem 7 balíků po 4 kusech kolejových polí. Po snesení kolejových polí se zbývající kolejové lože odebere otočnými bagry do nákladních vozů nebo do železničních vagonů. [6]

Opačným postupem při snášení železničního svršku dojde nejprve ke snesení kolejových polí, případně může proběhnout demontáž v ose. Následně se odtěží kolejové lože do nákladních automobilů nebo železničních vozů do vedlejší koleje. [6]

1.4.4 Sanační komplexy

Snaha o co největší využití výluk vede k tomu, že jsou dané maximální nároky na prováděné práce. Při výměně kolejového lože bez snášení železničního svršku lze využít speciální stroje, které umožňují výměnu železničního svršku, ale umí i sanovat železniční spodek. Speciální stroje umožňující tyto činnosti se nazývají sanační komplexy. Princip jejich práce spočívá v odtěžení kolejového lože, odtěžení konstrukce pražcového podloží, vložení geosyntetika a zřízení konstrukční vrstvy a kolejového lože. Součástí soupravy jsou i podbýjecí a stabilizační agregáty. Po průjezdu moderních sanačních komplexů je možné zahájit provoz rychlostí až 60 km/h. Výhody těchto strojů spočívají ve zkrácení délky výluk a využití v hůře dostupných místech. Sanační komplexy

jsou zásobeny po kolejích, zezadu ve směru práce je dodáván nový materiál a zepředu je odvážen starý materiál. Sanační komplexy zasahující do železničního spodku jsou omezeny drobnými stavbami železničního spodku, přechody kabelových tras a umělými objekty. Dalším omezujícím faktorem může být délka sanačních strojů a vozů s nimi spojenými, je potřebná dostatečná délka odstavných kolejí. [6]

Jedním z nejmodernějších strojů je RUS 1000 S. Byl použit v roce 2020 u Velimi na malém zkušebním okruhu. Jednotlivá písmena v názvu mají svůj význam z němčiny: R – Reinigung – čištění šterku, U – Umbau – obnova kolejového roštu, S – Stopfen – podbíjení směrová a výšková úprava koleje, 1000–1000 m³/hod pročištění až 1.000 m³ šterku/hod, S – SWIETELSKY. Stroj má délku 278 metrů a hmotnost přes 600 tun. Vozy pro jeho logistické zásobování mají délku dalších 600 metrů.

1.5 Železniční spodek

Železniční spodek je tvořen konstrukční vrstvou od pláně tělesa železničního spodku níže po styk s rostlým terénem, odvodněním, drobnými stavbami železničního spodku, nástupišti a rampami. Dle současné legislativy je rozlišováno 6 typů konstrukcí železničního spodku, které jsou vždy navrženy tak, aby v maximální možné míře splňovali kvalitativní požadavky. Hlavním požadavkem na konstrukční vlastnosti je trvalá nedeformovatelnost a schopnost přenášet statické a dynamické zatížení dále do podloží. Deformace v konstrukčních vrstvách železničního spodku se následně projeví v geometrii koleje, které vedou k nutnosti zásahu údržby a mohou v krajních případech vést ke snížení rychlosti. Základním tvarem tělesa železničního spodku jsou zářez, násep a odřez. Požadavky na vlastnosti zemin a hornin a jejich posuzování z hlediska geotechniky jsou zrnitost, smyková pevnost, namrzavost a propustnost. Zrnitost je vlastnost materiálu dle složení velikosti jednotlivých zrn. Jejich součtem a vložením do grafu vznikne křivka zrnitosti. Částice, které propadnou nejmenším sítem 0,063mm se nazývají jemné částice. Částice vzniklé odlišným způsobem, než posuzovaný materiál se nazývají cizorodé. Smyková pevnost zemin je odpor konkrétní zeminy proti usmýknutí. [1] [7]

Úprava zemního tělesa v náspu začíná sejmutím porostu a ornice. Následuje vybudování zemního tělesa z materiálů zajišťujících trvalou únosnost a stabilitu. Nejvhodnější jsou nesoudržné zeminy. Budování náspu musí probíhat po vrstvách v maximální mocnosti

30 cm, aby došlo k řádnému zhutnění jednotlivých konstrukčních vrstev. Rozměry tělesa náspu jsou dány šířkou pláň tělesa železničního spodku, výškou náspu a záborem pozemku. V případě požadavku na menší zábor pozemku lze využít vyztužení násypového tělesa geosyntetickými materiály. [1] [7]

Základní šířka pláň tělesa železničního spodku na jednokolejné trati normálního rozchodu je 6,2 m, navrhuje se v příčném sklonu s minimální hodnotou 3 %. Minimální šířka drážní stezky je 0,55 m. Základní hodnota šířky zemní pláň na dvoukolejné trati je dána součtem osové vzdálenosti kolejí a hodnotou 3,2 m na vnější stranu od osy koleje. Drážní stezka musí být široká minimálně 0,4 m. Materiál konstrukční vrstvy pláň tělesa železničního spodku se nejčastěji zřizuje ze štěrkodrti frakce 0/32 viz Obr. 1.3, předpis Správy železnic S4 povoluje i zřízení z frakce 0/64 nebo jiných materiálů, které vyhoví kvalitativním požadavkům hodnocených jako recyklovaná štěrkodrt' frakce 0/32. [1]



Obrázek 1.3 Pláň tělesa železničního spodku

Zdroj: vlastní fotodokumentace

1.6 Plánování a výstavba železniční infrastruktury

Hlavním úkolem Správy železnic je vykonávat správu, údržbu a modernizaci současných nebo nových tratí, přidělovat dopravní kapacitu a dohlížet nad bezpečností drážního provozu. Pro každý větší projekt je dle zákona nutné vypracovat dokumentaci, kterou je nutné, aby odsouhlasil drážní úřad. Obsahem projektové dokumentace musí být v každém stupni části a doklady, které jsou v souladu s vyhláškou 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb. Rozsah a obsah dokumentace pro vydání společného povolení stavby dráhy dle vyhlášky je:

„Dokumentace obsahuje části:

A Průvodní zpráva

B Souhrnná technická zpráva

C Situační výkresy

D Dokumentace objektů a technických a technologických zařízení

K dokumentaci se přikládá dokladová část.“ [8, s. 10]

Další podrobnosti a požadavky jsou dané metodikami státního fondu dopravní infrastruktury. [8]

1.6.1 Studie proveditelnosti

Cílem studie proveditelnosti by měl být souhrnný popis investiční akce a posouzení všech realizačně významných variant. Výstupem by měla být nejlepší možná varianta návrhu, posouzení finančních prostředků na jeho realizaci, prokázání trvalé udržitelnosti investice a správně identifikovaná rizika. Studie proveditelnosti v mnoha případech je vyžadována jako podklad pro žádost o finanční podporu z fondů Evropské unie.

Studie proveditelnosti by měla vyhodnotit projekt z pohledu technického řešení, tržní analýzy, finanční analýzy, ekonomické analýzy vlivu na životní prostředí, vlivu na lidské zdroje a relevantní cílové skupiny. [9]

1.6.2 Záměr projektu

Záměr projektu je dokumentace, jejíž obsahem je časové, věcné a funkční vymezení požadavku na přípravu a realizaci projektu. Dokumentace musí obsahovat podrobnosti pro posouzení a vydání stanoviska ministerstvem dopravy. Povinným obsahem záměru projektu jsou identifikační údaje projektu, návaznost na schválené koncepce a programy, popis stávajícího technického řešení a zdůvodnění nového, požadavky na technické řešení, majetkoprávní vztahy, požadavky na zabezpečení budoucího provozu a údržby a dělení nákladů dle druhu majetku, rozpis nákladů a povinné přílohy. Součástí záměru

projektu musí být také ekonomické hodnocení efektivity projektu a jeho návratnost. Dalším postupem a schválením je schválení Centrální komisí Ministerstva dopravy. [10]

1.6.3 Posouzení vlivu na životní prostředí

Jedná se o proces, jehož cílem je posoudit dopady výsledné stavby na životní prostředí a vyhodnotit, zda jsou její vlivy akceptovatelné, případně jaké podmínky stavby a realizace jsou vhodné. Podmínky upravuje zákon č. 100/2001 Sb. O posuzování vlivu na životní prostředí. Dle zákona se posuzují vlivy na obyvatelstvo, veřejné zdraví, životní prostředí, živočichy, rostliny a ekosystémy, půdu a významné krajinné prvky.

1.6.4 Dokumentace pro územní rozhodnutí

Obsah dokumentace pro územní rozhodnutí je dán obsahem vyhlášky 499/2006Sb. O dokumentaci staveb přílohou 10, která stanoví obsah a dokumentace pro vydání společného povolení stavby dráhy. Důležitou součástí by měli být majetkoprávní vztahy, ze kterých jsou jasné majetkové vazby mezi dotčeným územím a prováděnou stavbou. Na základě dokumentace pro územní rozhodnutí je vydáno územní rozhodnutí nebo územní souhlas nebo vyjádření příslušného stavebního úřadu o souladu navrhované stavby se záměry územního plánování dle požadavků stavebního zákona. [8]

1.6.5 Dokumentace pro stavební povolení

Dokumentace pro stavební povolení vychází z dokumentace pro územní rozhodnutí a dále jej zpřesňuje. Z dokumentace pro stavební povolení by měly být jasné technické objekty a jejich zpracování. Technologické objekty jsou rozpracovány a jsou z nich patrné požadavky na jejich kvalitu. Pro technologické objekty se v realizaci stavby zpracovává výrobní dokumentace, která zpřesňuje detaily z dokumentace pro stavební povolení. Dokumentace pro stavební povolení se předkládá na příslušný stavební úřad nebo drážní úřad. Daný úřad vydá stavební povolení nebo ohlášení stavby. Dokumentace v tomto stupni rozpracovanosti je podkladem pro výběr zhotovitele pro realizaci díla. [8]

1.7 Vysokorychlostní tratě v České republice

V současné době se připravují nové tratě takzvaného rychlého spojení (dále jen VRT). Jejich cílem je spojení hlavního města Prahy se zbytkem republiky do dvou hodin, a to

včetně spojení do Ostravy. V současné době se uvažuje s maximální rychlostí 320 km/h s možností zvýšení až na 350 km/h. Zvýšení rychlosti přepravy cestujících by mělo být díky vyšší rychlosti atraktivnější a mohlo by zvýšit zájem cestujících vyměnit osobní automobil za vlak. Železniční doprava je ekologická, mělo by to příznivý dopad na životní prostředí. Převedením části spojů na nové tratě se uvolní kapacita pro nákladní dopravu. Návrhové parametry jsou tvořeny na vysoké rychlosti, odlišnost je zvýšení povoleného stoupání až na 35 ‰ oproti 12 ‰, což bude mít za následek snížení nutnosti umělých objektů. Kapacitním cílem vysokorychlostních tratí je přepravit denně až 150 000 lidí. Aby se těchto hodnot dosáhlo, plánuje se, že pro každého obyvatele by mělo být město s vysokorychlostní tratí do 30 minut od jeho bydliště. [11]

Inspirací pro předpisy a konstrukci tratě jsou předpisy francouzských státních drah a dále se spolupracuje s německými státními dráhami. Předpokládá se, že vlakové jednotky dosáhnou maximální rychlosti 320 km/h do 25 km a zcela zastaví za 7 km. Na vysokorychlostních tratích mohou být provozovány vlaky s minimální rychlostí 200 km/h, při nižších rychlostech by mohlo docházet ke snižování propustnosti.

„Podrobnější technické specifikace se staly základem aktualizací následujících národních norem nebo předpisů Správy železnic:

- *ČSN 73 6360-1 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování (účinnost od 1. 1. 2021);*
- *Předpis SŽ S 3 díl XVII Železniční svršek na železničních drahách s rychlostí vyšší než 200 km/h (účinnost od 1. 3. 2021);*
- *Předpis SŽ S 11 Prostorová průchodnost tratí (účinnost od 1. 3. 2021);*
- *ČSN 73 6320 Prostorová průchodnost na dráze celostátní, dráhách regionálních a místních a vlečkách normálního rozchodu – Národní požadavky (změna projednávána);*
- *TNŽ pro mosty na VRT (předpis v přípravě);*
- *MVL 111 Standardy železničních mostů menších rozpětí pro VRT (předpis v přípravě) a dalších. „ [11, s. 10]*

2 Analýza využitelnosti recyklovaných materiálů

Udržitelný rozvoj a docházející zásoby přírodních nerostných surovin vedou k potřebě recyklovat a třídit materiály z demolic a zpětně je využívat. V současné době se obecně ve stavebnictví používá nejčastěji směsný nebo cihelný recyklát. Využití je jako zásypový materiál nebo pro stabilizaci podkladů. Kvalitním tříděním lze dosáhnout vyšší úrovně využití. Ve stavebnictví jsou zásadní druhy recyklátů: cihelný, asfaltový a betonový.

Cihelný recyklát má mnohem širší možnosti využití, než se doposud využívá. Vzniká drcením cihelné stavební suti na frakci do cca 80 mm, tříděním materiálu lze získat různé frakce. Jeho využití je zatím převážně v pozemním stavitelství, případně se využívá ve stabilizovaných podkladech a nestmelených vrstvách vozovek. V konstrukčních vrstvách na železničních stavbách se v současné době nepoužívá.

Betonový recyklát lze v současné době využít jako plnivo do betonových směsí jako náhrada za přírodní drcené kamenivo. Nejčastěji využívanou frakcí je 0-4 mm. Na základě zjištění je třeba přizpůsobit množství záměsové vody, protože dojde ke změně konzistence směsi. Výsledný beton má nižší pevnost v tlaku o 10-15 %, nižší modul pružnosti o 15-20 %, dojde ke snížení objemové hmotnosti. Další možností využití je v podkladních vrstvách vozovek stmelených cementem, ochranných vrstev silničních komunikací a přidáním betonového recyklátu do živičných směsí pro opravy a výstavbu živičných vozovek. Velký potenciál využití by mohl mít recyklovaný beton drcený na frakci 0/32 v podkladních vrstvách v železničním stavitelství a mají potenciál nahradit přírodní drcené kamenivo i v konstrukčních vrstvách. [12]

Asfaltový recyklát se v současnosti využívá hlavně pro technologie pokládky za studena, kdy se použije emulze nebo v kombinaci s cementem. Dochází k obalení ekologicky závadných částic a tím klesne riziko znečištění okolního prostředí. Další možností je využití bez přidání nového pojiva k recyklátu, toho se využívá při málo zatížených komunikacích nebo do podkladních vrstev. V železničním stavitelství se asfaltové recykláty využívají spíše minimálně.

Konstrukce železniční tratě je složena z mnoha různých materiálů, jejichž využitelnost při obnově nebo rekonstrukci je různá. Z konstrukce železničního svršku lze po regeneraci využít kolejnice a kovové součásti uzlu upevnění, případně je lze procesem recyklace znovu dostat do výrobního procesu a zhotovit nové materiály. Vhodným

postupem drcení betonových pražců lze získat vhodný zásypový materiál a dle způsobu drcení je možné jej použít do konstrukčních vrstev. Dalším použitelným materiálem železničního svršku je kolejové lože. Vhodným způsobem recyklace vzniká potenciál k úspoře nového materiálu a tím se snižují i celkové náklady na realizaci. Konstrukce železničního spodku a hlavně místa, kde dochází ke změně vedení trasy, jsou potenciálním zdrojem většího pohybu materiálů. Při zdvihu nivelety koleje je potřeba najít vhodné materiály, ideálně z míst, kde se naopak niveleta snižuje. Díky tomu se snižují odpady a požadavky na skládku.

2.1 Kovové součásti železničního svršku

Kovové součásti železničního svršku mají největší potenciál k recyklaci a zpětnému využití, protože ocel je stoprocentně recyklovatelná i opakovaně. V celosvětovém měřítku dosahuje její míra recyklace 86 %. V Evropě pochází až polovina vyrobené oceli ze šrotu. Nedostatek šrotu je způsoben dlouhou obrátkovostí oceli, proto z ní nelze pokrýt poptávku úplně a je nutné vyrábět ocel z železné rudy. Výhodou recyklace je úspora energie až o 75 %, při výrobě jedné tuny oceli se lze ušetřit až 1 100 kg železné rudy, 630 kg uhlí a 55 kg vápence. Dle dat z roku 2018 se v České republice spotřebuje asi 2,3 milionu tun šrotu, tato hodnota pokryje asi 40 % výrobku, další jsou surové železo, legovací prvky a další přísady. Kovový materiál z železničního svršku projde před jeho demontáží posouzením – kategorizací a zajistí se jeho další využití. Dříve se při opravných pracích využívala záměna kolejnicových pasů, kdy se vyměnil levý kolejnicový pas za pravý. Při vysokém ojetí hlavy kolejnice, případně nestejnému ojetí to ovšem nebylo možné. K této situaci docházelo zejména v obloucích malých poloměrů. Bezstyková kolej snížila náklady na údržbu, zvýšila komfort při cestování, ale zvýšila také požadavky na kvalitu provedení. K dalšímu využití se používají vyzískané kolejnice při opravných pracích na tratích nižšího významu, kde při nízkém dopravním zatížení jsou schopny plnit svoji funkci po mnoho dalších let. Značně ojeté kolejnice, kolejnice s defektoskopickou závadou nebo součásti výhybek jako srdcovky, jazyky a opornice se dají zpětnou recyklací opět zhotovit. [13]

2.2 Betonové pražce a betony

Před vytržením kolejového pole, případně před výměnou jednotlivých pražců dojde k předběžnému posouzení jejich stavu. Vznikne takzvaná předkategorizace, která je využita pro odhad vyzískaného materiálu. Po vyjmutí pražce z kolejového lože dojde ke konečné kategorizaci. Z důvodu uložení pražce v kolejovém loži je předkategorizace pouhým odhadem, konečný stav se zjistí až po jeho vyjmutí. Konečná kategorizace stanoví, zda je pražec dále použitelný do železničního svršku nebo je takzvaně šrotový. Betonové pražce, které jsou již vyřazeny, a nejsou určeny pro použití na tratích nižšího významu, mají další potenciál k využití před tím, než aby skončili na skládce. Beton k jejich výrobě se dlouhodobě používá třídy C 30/37. První způsob je zabudování betonového pražce, který je odstrojený zpět do železničního spodku. Nejčastějším případem je vybudování pražcové rovnaniny. Nevyužité šrotové betonové pražce jsou uloženy na skládku.

Součástí železničního spodku jsou i odvodňovací zařízení, železniční přejezdy, nástupiště a rampy, zarážedla, úpravy zárubních nebo opěrných zdí. Využití těchto materiálů zpět do konstrukce tělesa železničního spodku jde jen u části z těchto materiálů. V případě dobrého stavu nástupištních desek a úložných bloků je lze znovu využít. V případě betonových konstrukcí, které již nejsou schopny plnit svůj původní účel nebo je nelze přemístit by bylo možné je zpětně využít jako betonový recyklát viz Obr. 2.1.



Obrázek 2.1 Betonový recyklát

Zdroj: vlastní fotodokumentace

2.3 Kolejové lože

Kolejové lože je základní součástí železničního svršku, na 1 m délky je potřeba 1,7 – 4,5 m³ kameniva frakce 31,5 – 63. Množství je ovlivněno počtem kolejí, výškou kolejového lože, převýšením koleje, sklonu plání tělesa železničního spodku. Od roku 1989 nebyl na území České republiky otevřen žádný nový kamenolom, odhaduje se, že do deseti let dojdou zásoby v doposud činných kamenolomech. Ve stávajících provozovnách dochází k odtěžování zásob, některé postupy těžby kamene jsou na hranici hospodárnosti. Při povolování nových zdrojů jsou složité podmínky z veřejnoprávních, majetkoprávních překážek, a hlavně z vlivu na krajinu a životní prostředí. Z celkového počtu 322 výhradních ložisek stavebního kamene na území České republiky je v provozu s platným povolením pouze 176 a z toho 169 vykonává činnost. Požadavky na dodávky

stavebního kamene se s vyššími investicemi do infrastruktury zvyšují. Potřebu dodávek stavebního kamene mají nejen železniční stavby, ale také silniční. Současné investiční záměry na železnici plánují výstavbu vysokorychlostních tratí. Kvalitativní požadavky na kamenivo pro kolejové lože na vysokorychlostních tratí je specifikováno třídou B0. Nejvyšší kvalita kamenivo je v současné době schopné dodat pouze 18 kamenolomů v České republice a z toho 7 má roční kapacitu 110 tisíc tun dle odhadu odboru 13 Správy železnic z roku 2019. Už v přípravné fázi lze odhadnout potřebné množství na vybudování plánovaných rychlých spojení (dále jen RS). Nově budované tratě RS mají dosáhnout délky 700 km. Množství kameniva pro kolejového lože třídy B0 by tak mělo být v objemu přes 4 200 000 m³. Objemová hmotnost kameniva pro výrobu kolejového lože je v rozmezí 2,5 – 3,1 (čediče) t/m³ dle druhu horniny, sypaná hmotnost kameniva v setřeseném stavu je 1,5 – 1,7 t/m³ měřeno dle ČSN EN 1097-3. Množství kameniva pro kolejové lože RS by vyčerpalo kapacitu 7 významných lomů na dva roky. Pro srovnání je odhadovaný objem kolejového lože v síti správy železnic ve dvoukolejných tratí z roku 2018 v množství 5–6 milionů m³ kameniva. S docházejícími zásobami kvalitního lomového kamene se zvyšuje jeho jednotková cena, navyšují se náklady na dopravu. S rostoucí přepravní vzdáleností roste i množství spotřebovaného paliva, množství dopravních prostředků což má negativní vliv na životní prostředí, kvalitu ovzduší a opotřebení dopravních cest. [14]

Kolejové lože lze po odtěžení dále využít jako vyzískané kamenivo zpět do kolejového lože. Vyzískané kamenivo bylo již vystaveno vlivům provozu a povětrnostním vlivům, a proto není předpoklad, že by se v budoucnu mělo rozpadat a degradovat. Při recyklaci vyzískaného kameniva se odstraní podsítné, případně se provede částečné ohranění zrn. [15]

Po odtěžení kolejového lože se kamenivo uskladní na deponii. Deponie musí být jasně označená, zpevněná a odvodněná plocha, aby nedošlo k promísení jednoho nebo více materiálů s kamenivem a tím jeho znehodnocení. Nakládku obstará vhodný nakládací prostředek, například kolový čelní nakladač, který nabere recyklované kamenivo a vysype jej do třídiče. V něm se provede separace malé a velké frakce, takzvané podsítné a nadsítné. [15]

Zvláštní způsob nakládání s kolejovým ložem musí být v místech, kde je předpokládáno znečištění nebezpečnými látkami. Za taková místa jsou automaticky považované oblasti

výhybek, stání lokomotiv a místa, kde dochází ke zbrojení lokomotiv. Kolejové lože odebrané v těchto místech se automaticky považuje za nevhodné. [6]

Speciálním typem kolejového lože je pevná jízdní dráha. V současné době se nachází v České republice tři úseky s různým typem. První úsek je Třebovice v Čechách – Rudoltice v Čechách v délce 500 metrů s konstrukčním typem Rheda 2000. Druhý úsek je v tunelu Střelná, který se nachází mezi zastávkou Horní Lideč a státní hranicí se Slovenskem. Zde je použita konstrukce typu Porr. Třetí úsek se nachází na trati Rokycany – Plzeň v Ejpovickém tunelu s délkou 4 150 m a typem konstrukce Porr. Výhodou pevné jízdní dráhy je dlouhá životnost a snížené nároky na údržbu. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a vysoké požadavky na kvalitu vstupních materiálů a prací.

2.4 Materiály železničního spodku

Budování nového zářezu, snižování nivelety koleje nebo zvýšení mocnosti konstrukčních vrstev vede k vyzískávání velkého množství materiálu, který je často uložen bez využití na skládkách. V mnoha případech se jedná o použitelný materiál, který splňuje kvalitativní použití pro zásypové materiály, obsypy a pro využití k budování podkladních vrstev násypů. Některé materiály jsou použitelné přímo, jiné vyžadují určitou úpravu.

V současné době je po odtěžení konstrukční vrstvy tento materiál naložen a odvezen na skládku. Způsob, jakým je s ním nakládáno si stanoví skládka na základě rozborů ze vzorkování. Za dostatečné ověření kvality vzorkovaného materiálu se považuje krok 1000 m pro odběr jednoho reprezentativního vzorku. V případě historické mimořádné události, kde došlo k bodovému znečištění, je třeba vzorkovací krok zkrátit. V místě železniční stanice je vzorkovací krok 100–400 m. Je také podstatný rozdíl, jak byla trať historicky konstrukčně řešena. Pokud byla pro stavbu využita štěrkodrt' frakce 0/32 nebo 0/63 a dle geotechnického průzkumu by se neodhalilo výrazné promísení se zeminou, dal by se tento materiál při vhodné úpravě využít. [16]

Ověření vlastností podkladních vrstev a zemní pláně vychází z geotechnického průzkumu. Jeho výsledkem je návrh konstrukce pražcového podloží. Při realizaci se projektované parametry ověří statickou zatěžovací zkouškou. Krok zatěžovací zkoušky je po cca 200 m v každé koleji. Materiál by měl být konstantní, v případě změny zemní pláně je třeba zkrátit zkouškový krok. V praxi je běžné, že výsledky statické zatěžovací zkoušky a předpoklad statické zatěžovací zkoušky je rozdílný. Je to dáno rozdílnou

volbou zkuškového kroku při průzkumu a realizaci. Dalším faktorem, který ovlivňuje výsledek zkoušky je přitížení konstrukčních vrstev železničním svrškem. Pokud výsledky neodpovídají předpisem a projektem stanoveným hodnotám, je několik možností, jakým způsobem dosáhnout požadovaných parametrů pláně. Nejlepší variantou je odebrat nevhodný materiál a nahradit ho jiným. Nejčastěji je použito kamenivo větší frakce, které se doplní výztužným geosyntetikem. V mnoha případech se ještě vkládá separační geotextílie, aby se zabránilo zatlačení materiálů do konstrukčních vrstev. Náhrada materiálu je časové a finančně náročná, proto se využívá při náhradě nevhodného materiálu v lokálních místech. Další možností je náhrada materiálu za stabilizaci z centra. Častěji se ovšem vzhledem k podmínkám volí zlepšení na místě. Dle vlastností konkrétních zemin je geotechnikem navržena receptura. Návrhové parametry stabilizace jsou ovlivněny zrnitostí materiálu, optimální vlhkostí, pevností v tlaku, odolností proti mrazu a vodě, dobou zpracovatelnosti a objemovými změnami. Dle receptury je navrženo přidání pojiva, které je tvořeno hydraulickými pojivy, cementem nebo vápenatým popílkem. Následně se zemní frézou povrch homogenizuje, potom se dávkovačem rozprostře pojivo a upraví se vlhkost zeminy na optimální. V dalším kroku se provede pojezd zemní frézy a pojivo se smíchá s původním materiálem. Nakonec se povrch zhutní zemním válcem. V případě zlepšené pláně je třeba ji ošetřovat kropením, aby byla dodržena optimální vlhkost a pojivo mohlo reagovat. Výhodou technologie zlepšení je časová úspora, nižší finanční náročnost a není nutné přepravovat velké množství materiálu ze stavby a na stavbu. Nevýhodou je citlivost na klimatické podmínky a hladinu podzemní vody. V případě silných dešťových srážek může dojít k vyplavení pojiva a tím i znehodnocení dané vrstvy. Dalším negativem je nehomogenita materiálu v trase, protože se většinou navrhuje jedna receptura, jsou místa, které i po zlepšení mají rozdílné hodnoty. [16]

S rostoucím tlakem na zvyšování propustnosti a rychlosti železničních tratí dochází i k požadavku na zvětšení traťových oddílů a vzdáleností oddílových návěstidel. V případech, kdy trať postupuje členitějším terénem, kde je množství zářezů a náspů je manipulace s materiálem mnohem náročnější. Snaha o zvýšení rychlosti a tím i zvětšením poloměru oblouků může nastat situace, kdy je třeba skalní zářez rozšířit nebo v případě jeho navětralých částí tento materiál odstranit a zabezpečit proti pádu na železniční trať. Odstranění tohoto materiálu probíhá za pomoci horolezecké techniky, kdy jsou zvětralé části horniny odstraněny. Tento materiál je odvezen a uložen na skládku.

2.5 Recyklované materiály mimo železniční stavby

Vhodné materiály pro využití v konstrukcích zejména železničního spodku se nemusí nacházet pouze na železničních stavbách. Při opravách a rekonstrukcích silničních komunikací se dají vyzískat vhodné materiály do konstrukčních vrstev. Vyfrézováním různě starých asfaltových vrstev vozovek lze získat recyklát zvaný R-materiál. Je snaha tento materiál navrhovat zpět do horkých asfaltových směsí, ale využití je i studené asfaltové směsi. Dalším potenciálně vhodným materiálem jsou předrcené cementobetonové kryty. Technologicky se cementobetonový kryt konstruuje jako jednovrstvá nebo dvouvrstvá s ocelovými trny v podélných a příčných spárách. Konstrukční tloušťka krytu na modernizované dálnici D1 je 24 cm první vrstva a 6 cm druhá vrstva.

2.5.1 Cementobetonové kryty

Betonové kryty vozovek se využívají dlouhou dobu. Jejich výhodou je vysoké dopravní zatížení, protože deskový účinek dobře roznáší bodové zatížení déle do podloží. Z toho důvodu se také hodně používají pro konstrukce letištních ploch. Pro jejich konstrukci se používají betony vysoké pevnosti, které mají vliv na dlouhou životnost při dodržení technologických postupů. Při konstrukci jsou nutné spáry mezi dilatačními celky. Spáry jsou v konstrukci z důvodu smršťování betonové konstrukce při tuhnutí a také z důvodu rozdílných teplot na horní a spodní straně desky, což by mohlo při přesáhnutí kritické délky vést k její deformaci. Technologicky nejmenší tloušťka desky je 100 mm. Rozměr nevyztužené desky nesmí překročit 25násobek tloušťky desky.

Betonový recyklát byl zatím použit ve velmi omezené míře do podkladních vrstev železničního spodku. Bylo provedeno jeho promletí s vyzískaným materiálem a následně přidáním pojiva byl tento materiál zlepšen. Mimo těleso železničního spodku byl materiál použit pro budování přístupových cest pro účely rekonstrukce a modernizace určitého úseku tratě.

2.5.2 Asfaltové recykláty

Z rekonstrukcí a oprav pozemních komunikací lze vyzískat mnoho materiálů vhodných k recyklaci. Dle technických podmínek pozemních komunikací se recyklované materiály dělí na stavební a demoliční odpad a recyklovaný stavební materiál. Recyklovaný

stavební materiál se dále dělí na recyklát z betonu, recyklát z vozovek, recyklát ze zdiva, recyklát směsný, R-materiál, recyklát asfaltový a jiné částice. V České republice je v současné době snaha o co nejvyšší zpětné využití R-materiálu. Vzniká při odfrézování starých asfaltových vozovek s různě starými vrstvami a typy asfaltů. Tyto vrstvy bývají nehomogenní. V silničním stavitelství se využívají při výrobě nové horké asfaltové směsi R-materiály. Dávkování R-materiálu je v objemu 20–40 % vyrobené směsi. Asfaltové recykláty, které nevyhovují podmínkám technologických požadavků pro silniční stavby najdou využití ve studených směsích. Podmínky pro využití asfaltových materiálů v železničních stavbách nejsou zatím rozšířené. Projektování VRT už je plánováno s využitím asfaltových vrstev. Bude se využívat nového materiálu. [11]

2.6 Zjišťování kvality tělesa železničního spodku

Pro ověřování navržených a zhotovených plánů tělesa železničního spodku se v prostředí Správy železnic používají tři základní skupiny metod rozdělené předpisem S4. Jednotlivé metody stanovují deformační charakteristiky tělesa železničního spodku, míry zhutnění jednotlivých konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku a klasifikaci zemin a materiálů a posouzení jejich vlastností. V předpisech správy železnic je deformační charakteristika označována jako únosnost. [16]

Pro zjišťování únosnosti tělesa železničního spodku se využívá statická zatěžovací zkouška. Použití jiných zkoušek se považuje pouze za orientační. Mezi jiné zkoušky se řadí rázová zatěžovací zkouška, kterou lze využít pro zkoušení například základových spár ve výkopech a základových spár pražcových rovnanin. [16]

Stanovení míry zhutnění jednotlivých částí tělesa železničního spodku se dělí na metody přímé a nepřímé. Přímé metody mají ve výpočetním vztahu zjištěné parametry příslušné konstrukční vrstvy na stavbě a laboratorně dosažené maximum. Porovnávané parametry mohou být míra zhutnění, relativní ulehlost nebo míra zhutnění a mezerovitost. Nepřímé metody využívají závislosti míry zhutnění na jiných fyzikálních a mechanických údajích. Nevýhoda nepřímých metod je závislost na mnoha údajích, které je třeba zjistit. [16]

2.6.1 Statická zatěžovací zkouška

Metoda zkoušky spočívá v měření zatlačení kruhové desky do podkladu. Při zatlačování vycházíme z předepsaných hodnot statického zatížení. Výsledná hodnota zkoušky se

skládá ze dvou zatěžovacích větví a stanovuje modul přetvárnosti a deformační charakteristiky měřeného podloží. Kruhová zatěžovací deska má průměr 300 mm. Na kruhovou desku je přes kulový kloub připevněn hydraulický lis, který musí umožnit stupňovat přesně zatížení kruhové desky bez kolísání. Kulový kloub je umístěn z důvodu rovnoměrného roznesení zatížení na celou zatěžovací desku. K hydraulickému lisu musí být připojeno měřidlo pro měření vyvinuté síly lisem. Pro měření zatlačení je třeba rám nebo nosník, který je postaven na podloží mimo dosah účinku zatlačení desky nebo podpěry proti zátěži. Na rám jsou připevněna měřidla zatlačení s přesností měření 0,1 mm. Měření zatlačení může probíhat ve středu desky nebo na třech bodech po obvodu desky. Pro měření je třeba dostatečná proti zátěži, kterou může být nákladní automobil, železniční vagon nebo bagr. [16]

Před začátkem zkoušky proběhne výběr zkoušeného místa, kontrola povrchu, případně vyrovnání nerovností tenkou vrstvou suchého stejnozrného písku tak, aby zatěžovací deska byla rovnoběžně se zkoušenou plochou. Zkouška se nesmí provádět na zmrzlé vrstvě. Po sestavení měřicí sestavy proběhne krátkodobé zatížení pro zajištění plného dosednutí desky na povrch. Zatížení nesmí překročit 20 % maximálního zatížení desky. V následujícím kroku se provede odlehčení a po ustálení hodnot na měřidle nebo měřidlech se provede základní čtení. Následně se provede zatížení, které se vnáší ve dvou zatěžovacích cyklech s postupným zatěžováním a odlehčováním v kroku po 0,5 MPa. Při každém zatěžovacím stupni se provede čtení a zapsání hodnot až po ustálení. Předpisem je definovaná ustálená hodnota jako změna menší nebo rovna 0,2 mm za jednu minutu. Moduly přetvárnosti E_1 , E_2 se vypočtou ze vzorců: $E_1 = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{Y_1}$, $E_2 = \frac{1,5 \cdot p \cdot r}{Y_2}$. Výsledný poměr modulů přetvárnosti se vypočte ze vztahu E_2/E_1 . Moduly přetvárnosti z prvního a druhého zatěžovacího cyklu jsou E_1 , E_2 , maximální hodnota napětí v MPa se označuje „p“, poloměr zatěžovací desky v mm se označuje „r“, zatlačení zatěžovací desky v mm v prvním a druhém zatěžovacím cyklu se označuje Y_1 , Y_2 . Hodnoty zatlačení se zjistí buď přímo v ose zatlačení nebo průměrem tří hodnot z obvodu zatlačovací desky. [16]

2.6.2 Rázová zatěžovací zkouška

Výsledkem rázové zatěžovací zkoušky je sednutí „s“ pod středem tuhé kruhové desky. K měření na stavbách Správy železnic je povoleno využít zařízení označované jako lehká dynamická deska. Zkoušku lze provádět v těžko dostupných místech, kde není možné použít protizávaží, případně pro rychlé stanovení orientačních hodnot. Výsledky nelze

považovat za shodné se statickou zatěžovací metodou, doposud není stanoven vztah mezi parametrem sednutí „s“ a parametrem míry zhutnění. Zařízení pro zkoušku se skládá z kruhové desky o průměru 300 mm, která má sobě senzor pro zaznamenávání rázových kmitů. Další část je vodící tyč se závažím o hmotnosti 10 kg a tlumícím zařízením ve spodní části, v horní části se nachází pojistka pro spuštění závaží. K senzoru rázových kmitů je připojena záznamová a vyhodnocovací jednotka. [16]

Zkouška lehkou dynamickou deskou musí probíhat na urovnaném povrchu podloží. Podloží nesmí být zmrzlé, zvodnělé, rozbředlé nebo obsahovat větší frakci zrn, než je 1/3 průměru zatěžovací desky. Vyrovnání drobných nerovností lze provést stejnozrnnou pískovou výplní. Na připravený povrch se umístí měřicí souprava a zapne se záznamové a vyhodnocovací zařízení. Závaží se zajistí do horní polohy. Po odjištění závaží a odrazu od tlumícího zařízení se závaží rukou zachytí, aby neprobíhaly následné rázy. Tímto postupem se provedou tři opakování. Z hodnoty sednutí lze vypočítat rázový modul deformace E_{dv} ze vzorce: $E_{dv} = 1,5 * \frac{p*r}{s} = \frac{22,5}{s}$. Vyvolané kontaktní napětí $p = 0,10$ MPa, poloměr zatěžovací desky 150 mm jsou známé, jedinou neznámou veličinou zůstává výsledná střední hodnota sednutí pod středem zatěžovací desky „s“. [16]

2.6.3 Stanovení míry zhutnění

Předávané konstrukční vrstvy musí splňovat předepsané parametry. Pro ověření vlastností se kontroluje míra zhutnění D anebo relativní ulehlost I_D . Tato metoda spočívá v porovnání objemové hmotnosti odebrané v terénu s objemovou hmotností zjištěnou laboratorně. Postup zkoušky spočívá v odebrání vzorku na konstrukční vrstvě. Při odběru vzorku je nutné dbát, aby byl odebrán celý, proto se kolem místa odběru rozprostře plastová podložka s otvorem pro membránový objemoměr. Na otvor v podložce se uloží mezikruží, sloužící jako podložka pro objemoměr. Následně se vyhloubí jamka, vybraný materiál se uzavře do odběrné laboratorní nádoby, aby nedošlo ke ztrátě vlhkosti. Po odběru se provede měření objemu jamky objemometrem. Následně se vzorek dopraví do laboratoře, kde se stanoví jeho hmotnost a vlhkost. Z výsledků se stanoví suchá objemová hmotnost. [16]

2.6.4 Proctorova zkouška

Na většině typů zemin lze provádět Proctorovu zkoušku, jejíž výsledkem je stanovení laboratorní maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti. U stejnozrnných a hrubozrnných zemin a sypanin nelze Proctorovu zkoušku provádět, provádí se laboratorní stanovení maximální a minimální ulehlosti. Základní zkušební přístroj je Proctorův pěch, forma/moždíř, drobné laboratorní vybavení a pomůcky. [16]

2.7 Vyhodnocení současného stavu

Využití recyklovaných materiálů zpět do železničních staveb v současných podmínkách probíhá. Množství materiálů, které lze využít je potenciálně vyšší, než se v současné době využívá. Vyhodnocení obecných výhod a nevýhod je v tabulce 2.1. Mezi silné stránky je zařazena kvalita materiálu, která je definována požadavky v předpisech. Využitím recyklace dojde ke snížení objemu přeprav, zejména v délce jednotlivých jízd. Využitím a recyklací materiálů ze stavby odpadne nutnost nakupovat velké objemy nových materiálů, dojde ke zkrácení přepravní vzdálenosti, klesne objem uloženého odpadu na skládkách a dojde ke snížení ceny díla. Dle aktuální potřeby materiálu lze měnit jeho využití do různých konstrukčních vrstev. Slabou stránkou je kvalita vstupního materiálu, kdy je nemožné jeho další využití.

Tabulka 2.1 SWOT analýza

Silné stránky	Slabé stránky
Kvalita materiálu Úspora přeprav Snížení ceny díly Možnost volby využití materiálu Využití přepravních kapacit jinde	Kvalita vstupního materiálu Kontrola kvality Skladovací prostory Časová náročnost Množství manipulací
Příležitosti	Hrozby
Ekologie Dopravní zatížení Stabilizace cen Nové materiály Udržitelnost	Vhodné plochy Hluk Prach Pronájem Legislativní zákazy

Zdroj: vlastní zpracování

S kvalitou souvisí také náročnější kontrola a její četnost. Pokud materiál nevyhoví, není možné jeho zabudování. Materiál vyzískaný a následně vytřízený je nutné někde

ponechat, pokud není hned odvážen přímo na stavbu. Zpracování vyzískaných materiálů ve velkém objemu zabere určitý časový úsek, proto je nutné s ním uvažovat. Při zpracování materiálu je nutná zvýšená manipulace s tímto materiálem oproti novému. Zvýšením objemu využití recyklovaných materiálů dojde ke snížení potřeby přírodních materiálů, hlavně přírodního kamene, což povede ke zpomalení růstu cen nového kameniva. Využitím materiálu ze stavby dojde ke snížení potřeby dovážet nový materiál, odvážet nevhodný materiál na skládky a sníží se opotřebení komunikací vlivem stavební dopravy. Se zvýšením recyklace materiálu bude možné využít nové materiály, které zatím nejsou využívána jako například betonové recykláty. Využití recyklovaných materiálů bude mít pozitivní vliv na budoucí udržitelnost projektů a jejich stopy na životní prostředí. Nevýhodou recyklace je složitější nalezení vhodných ploch. Je to dané zejména potřebou velké plochy. Další nevýhodou jsou hluk a zvýšená prašnost prostředí což negativně ovlivňuje okolí recyklační linky. Při umístění recyklační linky je překážkou také zdoluhavý legislativní proces povolování. Celkovou cenu recyklace ovlivňuje také cena pronájmu vhodné plochy, která může vlivem nedostatku vhodných prostor zvýšit ceny recyklovaných materiálů.

3 Návrhy na využití recyklovaných materiálů

V současné době se využívají z recyklovatelných materiálů ocelové výrobky, což je běžné v mnoha oborech. Forma jejich využití je v nových výrobcích. Dalším materiálem, který se při stavbách využívá je kamenivo pro kolejové lože. Jeho využití se v čase měnilo, využívalo se po pročištění zpět do kolejového lože, v nedávné minulosti se recyklovalo na šterkodrt' do konstrukční vrstvy pláně tělesa železničního spodku. V současné době je tlak na recyklaci kameniva z kolejového lože zpět z důvodu nedostatku kvalitního materiálu.

3.1 Recyklační linka

Volba sestavy recyklační linky je dána požadavkem na výstup materiálu. Základem sestavy je mobilní třídící zařízení viz Obr. 3.1. Materiál se pomocí kolového nakladače



Obrázek 3.1 Třídíč

Zdroj: vlastní fotodokumentace

nasype do násypky. Zde se nachází rošt pro separaci materiálu velké frakce. Následně se materiál pásovým dopravníkem přemístí na síta, jejichž velikost síťových ok je zvolena dle požadavku na výslednou frakci. Třídíč je poháněn kruhovými pohyby a frakce, která propadne sítem na pásový dopravník je dopravena na oddělenou zemní skládku.

Další volitelnou částí procesu recyklace je drtič. Existují různé typy drtičů, každý je vhodný pro jiný způsob výroby materiálů. Nejčastěji se drtiče využívají při výrobě nového kameniva, recyklaci betonů a betonových pražců.

Proces drcení probíhá už při vzniku kameniva v lomech za použití nejčastěji čelistových, kuželových a odrazových drtičů. Při procesu recyklace kameniva pro kolejové lože není vhodné materiál dále drtit, ale je nutné odstranit zaoblené hrany. Vhodné k tomuto technologickému kroku jsou odrazové drtiče. Materiál je zde prudkými pohyby drtičích lišt rozpoříván a vržen na nepohyblivou část drtiče. Jednotlivá zrna se drtí v místech své nejmenší soudržnosti.

Pro výrobu betonových recyklátů se používají různé typy drtičů. Používá se mobilní válcový drtič, který se skládá ze dvou litinových válců, které se otáčejí proti sobě. Jeden válec je uložený napevno a druhý má pružné uložení. Nastavením velikosti rozestupu válců se nastaví velikost výsledného materiálu. Jeho výhodou je ve způsobu drcení, protože materiál je postupně odštipován, tím je sníženo množství nulové frakce ve výsledném materiálu.

Dalším typem drtiče, který lze využít pro účely drcení betonových pražců je mobilní čelistový drtič. Čelistové drtiče se vyrábí v různých velikostech. Velké drtiče jsou umístěny na pásových podvozcích, malé jsou připevněny na nakládací prostředky bagrů. Mají klínovitý tvar, drcení probíhá mezi dvěma čelistmi, jedna je pevná a druhá pohyblivá. Pohyblivá čelist se přibližuje a oddaluje od pevné a tím dochází k drcení materiálu. Výhodou čelistového drtiče připevněného na rameno bagru je v jeho pohyblivosti, není potřeba stroj, který provádí nakládku do drtiče a díky elektromagnetu na drtiči lze z předdrceného materiálu vyseparovat kovové součásti.

Největším limitem pro vznik recyklační základny je vhodný prostor. Při recyklaci stavebního materiálu vznikají emise. Emise jsou ve formě hluku, zvýšené prašnosti a zvýšeného pohybu dopravních prostředků. Dalším limitem je vhodné dopravní napojení, kdy je nejlepší dostupnost jako po silnici tak i železnici a zároveň by měla být recyklační základna co nejbližší k místu realizace stavby. Dalším limitujícím faktorem je

dostatečná kapacita místa pro uložení materiálu, což je dáno jednotlivými stavebními činnostmi. Po odtěžení kolejového lože, je štěrk odvezen na recyklační linku. Po recyklaci nastává časová prodleva, než bude materiál navezen zpět do stavby. Množství odtěžené z dvoukolejného úseku dlouhého 8 Km by činilo 32 000 m³. Dle předpisů musí být kamenivo skladováno na zpevněných, odvodněných plochách a kamenivo nesmí být pojížděno. V příhodných časových podmínkách je vhodné provádět recyklaci s kontinuálním odvozem do stavby. V případě, že to není z časových nebo technických důvodů možné, je nutné mít k dispozici velké skladovací plochy. Další plochu potřebuje pro svoji činnost recyklační linka.

3.2 Konstrukční vrstvy

Do konstrukčních vrstev by měli přijít kvalitní materiály zaručující dlouhou a spolehlivou životnost. V současné chvíli se v největší míře používají nové nebo recyklované štěrkodrti frakce 0/32. Nové předpisy umožní použití i štěrkodrti frakce 0/63 a materiály splňující kvalitativní požadavky na recyklované kamenivo. Jedním z materiálů, který má potenciál doplnit nebo v některých případech i nahradit nové kamenivo je recyklovaný beton předrcený na frakci 0/32 nebo 0/63. Je třeba dbát na kvalitu vstupních materiálů, aby byl výsledek použitelný do konstrukční vrstvy, nesmí se v betonovém recyklátu nacházet nevhodné příměsi. Nevhodné příměsi jsou cihly, omítka, sádkokarton, keramika. Materiál recyklovaného betonu by se měl svými vlastnostmi blížit parametrům štěrkodrtě. Proto je třeba u něj ověřit zrnitost, odolnost proti drcení, nasákavost, jemné částice a cizorodé částice.

3.2.1 Betonový recyklát

Betonový recyklát využitý v konstrukční vrstvě musí splňovat kvalitativní požadavky stejné jako recyklovaná štěrkodrt'. Základním požadavkem je nutnost, aby se jednalo o čistý betonový recyklát. Dále se zjišťuje zrnitost, odolnost proti drcení, nasákavost, jemné a cizorodé částice. Požadovaná zrnitost musí být 0/32 nebo 0/63 a maximálním množstvím nadsítňého do 15 % celkové hmotnosti. Podíl jemných částic musí být od 3 % do 9 % a podíl cizorodých částic do 1 % celkové hmotnosti. Dalším parametrem je odolnost proti drcení metodou Los Angeles do maximálně 40 %. Posledním zkoumaným parametrem je nasákavost do maximálně 3% hmotnosti. [16]

3.2.2 Asfaltové recykláty

Využití v konstrukčních vrstvách železničního spodku je uvedeno pro typy skladby 5 a 6. Obě konstrukční vrstvy obsahují asfaltovou směs, na které se následně zřídí kolejové lože. Asfaltová vrstva je nejčastěji zřízena z asfaltového betonu (dále jen AC). Požadavky na kvalitativní parametry jsou stanoveny v normě ČSN 73 6120. Pro konstrukční vrstvy železničního spodku se využívají typy AC 11 Z+, AC 16 Z+, AC 22 Z+. Pro účely zřízení konstrukční vrstvy je povolené využít R-materiál v maximálním množství 30 % hmotnosti asfaltové směsi. Tohle množství je přípustné pouze v dávkování přehřívajícího R-materiálu, v případě nepřehřívajícího, který je dávkován studenou cestou je maximální množství pouze 15 % hmotnosti asfaltové směsi.

Asfaltová směs pro konstrukční vrstvu se provádí výhodně na obalovně. Konstrukční vrstva AC musí být pokládána strojně za pomoci finišerů. Je důležité sladit pokládku a navážení materiálu, aby se minimalizovalo přerušení pokládky. Konstrukční tloušťka typu AC 16 Z+ a AC 22 Z+ je minimálně 70 mm a maximálně 120 mm, u AC 11 Z+ je tloušťka 40 mm – 60 mm, lze ji aplikovat ve dvou vrstvách do maximální tloušťky 120 mm. [16]

3.3 Podkladní vrstvy

Na podkladní vrstvy nejsou kladeny tak vysoké nároky jako na konstrukční vrstvy. Proto je zde možnost širšího využití materiálů s nižší kvalitou než do konstrukčních vrstev. Návrh materiálů by měl být volen s ohledem na místní podmínky. Vliv na materiály má hladina podzemní vody, která může působit problémy v kombinaci s některými druhy materiálů. Nezanedbatelný podíl na možnosti využití mají i klimatické podmínky a stanovení nezamrzé hloubky. Odolnost materiálů proti různým cyklům zmrazování má následně vliv na životnost a odolnost konstrukce.

3.3.1 Betonový recyklát

V případě nedostatečného množství lze doplnit betonový recyklát vyzískaným materiálem ze stavby při odtěžování zbytku šterkového lože po strojním čištění. Tento materiál obsahuje jak drobnou frakci, tak větší frakci až 63 mm. Promísení vyzískaného materiálu a betonového recyklátu lze provést i v podmínkách stavby pomocí horninové frézy. Tímto krokem dojde k homogenizaci daného materiálu. Pro zvýšení únosnosti se

může přidat pojivo na bázi cementu. Dávkování pojiva se musí určit dle konkrétních materiálů. Po přidání pojiva musí proběhnout optimalizace vlhkosti. Následuje pojezd zemní frézy, která materiál homogenizuje. Pojezdem těžkého válce dojde ke zhutnění materiálu.

3.3.2 Směsný recyklát

Pro zvýšení únosnosti podkladní vrstvy by bylo možné využít i betonový recyklát s příměsí cizorodých částic v maximálním objemu do 5 %. Snížením kvality vstupního materiálu bychom docílili širšího spektra využitelných materiálů. Problematickou příměsí směsných materiálů je cihelný recyklát. Problém u tohoto materiálu vzniká v parametru nasákavosti, kde dosahuje až 15 % objemové hmotnosti dle zkušební metody ČSN EN 13383-2. Nasákavost betonu by měla být do 6 %, nasákavost přírodního kamene do 1 %. Nasákavost materiálu má vliv na kvalitu podkladní vrstvy, kdy dochází k nasycení pórů a poklesem teploty dochází k přeměně vody v led, který následně narušuje strukturu materiálu. Pro zamezení negativního vlivu z nasákavosti by bylo zlepšení podkladní vrstvy hydraulickými pojivy, kdy by byla podkladní vrstva homogenizována. [17]

3.3.3 Asfaltový recyklát

Využití recyklované asfaltové směsi nebo R-materiálu do podkladních vrstev je vhodné na vyrovnání nadvýlomů na skalním podloží. Materiály je nutné pokládat ohřáté. Vyplněním děr po nadvýlomech se zamezí hromadění vody v nich. Materiál musí být vždy řádně zhutněn. Před jeho aplikací se provede infiltrační postřik. Vyrovnaná vrstva musí být ve spádu 3-5 %.

3.3.4 Kamenivo nevhodné pro využití do konstrukčních vrstev

V současné době, kdy se pomalu snižuje kapacita kamenolomů produkujících kvalitní materiál je důležité jeho šetrné využití tam, kde to má opodstatnění. Při výrobě kameniva v lomu vzniká i nemalé množství kamene nespĺňující podmínky třídy kameniva BI nebo BII. Tohle kamenivo je možné nahradit místo nevhodných zemin do podkladních vrstev konstrukce železničního spodku. V případě jemnějších frakcí lze najít uplatnění při zásypech nebo obsypech částí železničního spodku jako jsou nástupiště, rampy, protihlukové stěny.

3.3.5 Beton z recyklovaných materiálů

S postupným uzavíráním ložisek kvalitního kameniva a růstem jeho ceny se může v rámci úspor využívat ve větším množství pevná jízdní dráha.

Při realizaci různých prvků železničního spodku se používají betony nižší pevnostní kvality jako podkladní. Využitím recyklovaného kameniva do betonu by došlo k úspoře přírodního kameniva. Stavebnictví je v České republice největším producentem odpadu, v posledních letech bylo vyprodukováno průměrně 16 milionů tun odpadu ročně. Vzhledem ke zvyšujícímu se poplatku za skládku dle zákona o odpadech č.541/2020Sb., který stanovuje jeho zákonnou výši se budou zvyšovat i celkové ceny za ukládání odpadu na skládku. Beton vyrobený z cihelného recyklátu má jiné vlastnosti než z betonového recyklátu nebo přírodního kamene. Oproti nim má nižší objemovou hmotnost a nižší pevnost v tlaku. Další nevýhodou je nižší modul pružnosti přibližně o 30 % při použití polovičního množství plniva. Při použití pouze recyklátu se modul pružnosti sníží o 50 %. S těmito vlastnostmi je třeba uvažovat již v návrhu a volit betony vyšší pevnosti. Další nevýhodou je dostupnost cihelného recyklátu, protože se v konstrukci tratě většinou nevyskytuje. [18]

3.4 Zásypový materiál

Při třídění kameniva z kolejového lože by vložením dalšího síta šlo dosáhnout oddělení frakce 0-16 takzvaného podsítného. Dle míry znečištění kolejového lože a obsahu cizorodých a organických částic by se materiál dal využít do podkladní vrstvy v kombinaci s vhodným pojivem nebo odvoz na likvidaci. Z vytríděné frakce 16-63 by se následným tříděním oddělil materiál pro kolejové lože. Zbylá frakce 16–22 by se dala využít jako výplň do vsakovacích žeber, vsakovacích příkopů a trativodů. Pro použití se zjišťuje zrnitost a nasákavost daného materiálu. Při recyklaci je nutné dbát na odstranění podílu jemné frakce. Vzhledem k faktu, že materiál pro kolejové lože musí tyto parametry také splňovat, je předpoklad, že výsledná frakce 16-22 je bude také splňovat. [16]

3.5 Kolejové lože

Kvalita kamene v kolejovém loži je i po letech vysoká. Před jeho odtěžením se zajistí odběr vzorku a posoudí se jeho kvalitativní parametry. Vlastnosti kameniva jsou

specifikované v normě ČSN EN 134 50 a obecných technických podmínkách specifikující požadavky na kamenivo pro kolejové lože železničních drah. Prokázání vlastností recyklovaného kameniva se dokládá zkouškami vlastností jako zrnitost, obsah drobných částic, obsah jemných částic, tvar zrn, cizorodé částice, obsah vysokopecní strusky, odolnost proti drčení. Důležité je zde posouzení tvaru zrn, konkrétně zaoblenosti hran. Tato vlastnost je důležitá při zřizování bezстыkové koleje a podbíjení, aby kolejové lože udrželo kolej v neměnné poloze. Zaoblenost hran se zkouší pouze u recyklovaného kameniva. Zkouška se vykonává vizuálně, posuzuje se množství zaoblených hran a zařazuje se do pěti kategorií. Zaoblenost hran se posuzuje v procentech, povoleno pro kategorii kameniva BI je 20 %. Kamenivo, které vyhoví v parametru ostrohranosti je po dohodě s kontrolorem kvality kameniva recyklováno pouze tříděním.

Recyklovaný štěrk se využije do vrstvy předštěrkování. Vrstva předštěrkování má být minimálně 50 mm pod ložnou plochou pražců. Vrstva se upravuje pomocí graderu většinou 0,05 m pod projektovanou ložnou plochu pražce. Pro úpravu a homogenizaci se využívá pojezdu válce bez vibrace se zatížením maximálně 32 kg/cm². [15]

Doposud nevznikl materiál, který by měl potenciál nahradit štěrk v kolejovém loži. Ekonomicky náročná varianta je použití pevné jízdní dráhy. Existuje několik typů pevné jízdní dráhy, v podmínkách České republiky byli použity doposud dva typy. První typ je využití monolitické desky jako kolejnicových podpor, druhým typem je využití betonového prefabrikátu a jeho následné zalití betonem. Protože i pro výrobu betonu se využívá kamenivo, bylo by možné využít kamenivo recyklované vyzískané z obnovované trati. Velkou výhodou je také fakt, že pevná jízdní dráha je téměř bezúdržbová, nedochází zde k rozpadu geometrické polohy koleje, a tudíž odpadá nutnost podbíjet.

3.6 Využití recyklovaných pryží

Materiál, který nepochází z železničních staveb, ale lze využít na mnoha místech je recyklovaná pryž. Vstupním materiálem mohou být již vyřazené pneumatiky, které se vhodným způsobem rozdrťí na malé části, magnetickým separátorem se tato gumová směs zbaví výztuže pneumatik. Využití gumové drťe je vhodné při snižování hlukové zátěže, přejezdových konstrukcích nebo zamezení vstupu nepovolaných osob do kolejíště.

3.6.1 Snižování hluku

Železniční doprava stejně jako každý způsob produkuje hlukové emise. Jejich velikost závisí na mnoha faktorech, zejména na stavu železničního svršku, stavu drážního vozidla a na rychlosti drážního vozidla. K jejich snížení se aplikují různá řešení, která jsou určena ke snížení hlukové zátěže. Nejčastěji jsou využity protihlukové stěny, kolejnicové absorbéry, nízké protihlukové clony. Protihlukové stěny jsou konstrukčně vzdáleny od osy koleje za volným schůdným a manipulačním prostorem, jejich výška je ovlivněna počtem kolejí a okolním terénem, kde mají zabránit hlukové zátěži. Protihlukové stěny se dělí na pohltivé a odrazivé, dle způsobu, jakým snižují hlukovou zátěž. Gumová pryž je vhodným materiálem, protože povrch protihlukové zdi je pohltivý. Zvuková pohltivost je až 9 dB, vzduchová neprůzvučnost až 27 dB. *„Vzduchová neprůzvučnost R [dB] je definována jako poměr mezi akustickou intenzitou zvuku dopadajícího na stavební konstrukci a akustickou intenzitou zvuku vyzářeného (prošlého) do prostoru za touto konstrukcí.“* [19, s. 1] Je vhodná do intravilánu, protože neodráží hluk z venkovní strany zpět ke zdroji. [19]

Vhodným materiálem pro protihlukové stěny je také hliník. Hliníkové protihlukové stěny mohou být pohltivé jednostranně nebo oboustranně. Výhodou je recyklovatelnost hliníku, nízká hmotnost a díky velikostně daným rozměrům jednotlivých hliníkových panelů i možnost volby výšky v závislosti na množství na sebe uložených panelů. Další výhodou je možnost grafické úpravy panelů a životnost materiálu minimálně 30 let. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a závislost na cenách kovů.

Dalším způsobem snížení hluku je osadit na kolejnici bokovnici viz Obr. 3.2. Jedná se o zařízení, které mezi patou a hlavou kolejnice kopíruje její tvar a pomocí spon je uchycena k patě kolejnice. Základním materiálem je za studena lisovaná gumová pryž lepená polyuretanovým lepidlem, jejíž nosným prvkem je kovové jádro. Snižuje hluk tím, že tlumí vibrace kolejnice od projíždějících drážních vozidel. Snižuje hluk v rozmezí hodnot 2,1 – 2,6 dB.



Obrázek 3.2 Bokovnice připevněná ke kolejnici

Zdroj: vlastní fotodokumentace

Pro snížení hluku jsou vhodné i nízké protihlukové clony. Rozšíření na železničních tratích je zatím omezeno na zkušební úseky. Jejich odlišnost oproti protihlukovým stěnám je rozdílná v jejich velikosti a vzdálenosti od osy koleje. Nízké protihlukové clony se nachází ve vzdálenosti 1730 mm od osy krajní koleje a jsou vysoké pouze 730 mm nad temenem kolejnice. Rozdíl mezi průřezným průřezem železničního vozidla a nízkou protihlukovou clonou je pouze 30 mm. Snižují hluk, který vzniká stykem kola a kolejnice. Hlavním konstrukčním prvkem je beton, jehož strana přiléhající ke koleji je opatřena pohltivou vrstvou pryže. Výhodou je, že nenarušují tolik výhled z vlaku a nejsou optickou bariérou u železniční tratě. V případě mimořádné události může horní hrana clony sloužit jako nouzová výstupní hrana. Nevýhodou je horší dohledací činnost při údržbě a složitější instalace u vícekolejné tratě.

3.6.2 Přejezdové konstrukce

Pro úrovnové křížení silniční a železniční dopravy se využívají přejezdové konstrukce z betonových panelů, asfaltové konstrukce nebo pryžové panely. Pryžové panely se

vyrábí z recyklovaných materiálů. Jejich výhodou je možnost přizpůsobit šířku panelů a tím i celkovou šířku přejezdové konstrukce. Další výhodou je rychlá a snadná montáž nebo v případě údržbových prací i demontáž.

3.6.3 Překážky pro vstup do kolejí

Dle zákona o drahách č.266/1994 Sb. jsou veřejnosti nepřístupná místa v obvodu dráhy. Tato místa jsou definovaná svislými plochami, které prochází hranicemi pozemků definovaných v územním rozhodnutí jako dráha. Pozemky s umístěním dráhy jsou určeny k provozování drážní dopravy a její údržby. Obvod dráhy u ostatních drah je definován vzdáleností 3 m od osy přilehlé krajní koleje. „Všechna místa na dráze a v obvodu dráhy jsou veřejnosti nepřístupná s výjimkou:

- a) dráhy a jejího obvodu, pokud je dráha vedena po pozemní komunikaci,*
- b) dráhy a jejího obvodu v místě křížení dráhy s pozemní komunikací,*
- c) prostor určených pro veřejnost, nástupišť a přístupových cest k nim a prostor v budovách nacházejících se v obvodu dráhy, pokud jsou v nich poskytovány služby související s drážní dopravou,*
- d) veřejně přístupných účelových komunikací v obvodu dráhy,*
- e) volných ploch vzdálených nejméně 2,5 m od osy krajní koleje dráhy.“*

A zároveň zákon definuje „úrovňové přístupové cesty k nástupišti jsou veřejnosti přístupné, s výjimkou přechodu kolejí, když:

- a) je dávana výstraha světelným signálem výstražného zařízení pro přechod kolejí,*
- b) je dávana výstraha akustickým signálem výstražného zařízení pro přechod kolejí,*
- c) se sklápí, je sklopena, či se zdvihá závora výstražného zařízení pro přechod kolejí,*
- d) je již bezprostředně vidět nebo slyšet přibližující se drážní vozidlo, křižující přechod kolejí, nebo*
- e) je přechod kolejí zakázán pokyny provozovatele dráhy.*

Podobu a způsob výstrahy dávané výstražným zařízením pro přechod kolejí stanoví prováděcí předpis.“ [20, s. 4]

Pro zamezení nežádoucího vstupu do veřejnosti nepřístupných míst lze využít zábradlí, ovšem je to finančně nákladné, a navíc v mnoha případech neproveditelné. Vhodnějším způsobem je využití anti-trespass panelů. K jejich výrobě se využívá recyklované pryže spojené s polyuretanem metodou lisováním za studena. K jejich instalaci není potřeba žádných zásadních stavebních úprav. Svým vzhledem nebrání ve výhledu. Jejich umístění se volí v místech, kde často dochází k neoprávněnému vstupu do provozované dopravní cesty. [21]

3.7 Opravy komunikací

Na stavbě se pohybuje velké množství strojů a nákladních automobilů. Ve velké části je využíváno k přístupu na stavbu polní nebo lesní komunikace, které nejsou žádným způsobem zpevněny, případně je k jejich vysprávce využit materiál, který pochází ze stavby.

Před stavbou je třeba zajistit přístupové cesty na stavenišť. Přístupové cesty by měly splňovat určité kvalitativní parametry a hlavně poskytovat dostatečnou kapacitu a bezpečnost pro přepravu nákladními auty. Dalším hlediskem je minimalizace dopadů na okolí stavby, aby došlo k co nejmenšímu zásahu na soukromé pozemky, omezení občanů a životního prostředí. Vzhledem k dočasnosti přístupových cest je vhodné před jejich zřízením využít separačních geotextilií, aby se minimalizovalo promísení navezeného materiálu s původním. V ideálním případě, by bylo vhodné využít materiály ze stavby, což nelze vždy z časového hlediska, protože přístupové cesty musí být hotové před zahájením prací ve výluce. V mnoha případech se využívají nové nakupované materiály, nejčastěji lomové kamenivo, kterého je ovšem pro tento účel škoda. Pojezdem nákladních automobilů dochází k zakulacování a opotřebovávání lomových hran na zrnu kamene a tím se následně snižuje jeho využitelnost ve stavebnictví. Vhodné je využití recyklátů nevhodných pro další využití. Jejich nevýhodou může být horší dostupnost a v závislosti na vzdálenosti od místa realizace i cena dopravy.

3.8 Zkušební úseky

Před zavedením nových materiálů do běžného využívání při realizaci staveb je třeba důkladného vyhodnocení, zda materiály splňují dané parametry. Pro tyto účely se vytipovávají vhodné zkušební úseky, které by co nejlépe vystihly podmínky v běžném provozu. Jedná se zejména o traťovou rychlost a dopravní zátěž. Zkušební úsek musí být dostatečně dlouhý, aby bylo možné ověřit funkčnost navrženého řešení a zároveň musí být dbáno na kvalitu provedení ostatních částí železniční tratě, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění, a tím znehodnocení zkušebního úseku. Zkušební úsek by měl být dobře přístupný, aby bylo možné provádět vyhodnocení navržených řešení, zároveň by měl být přilehlý úsek zhotoven z ověřených materiálů. V případě nových materiálů je nevhodné jejich umístění v oblasti výhybek. Provozní ověřování by mělo probíhat v dostatečně vypovídajícím časovém horizontu a v několika zkušebních úsecích.

4 Vyhodnocení návrhů

Jednotlivé návrhy na využití recyklovaných materiálů je třeba posoudit z pohledu kvalitativního, finančního a dopadu na životní prostředí. Dá se konstatovat, že všechny materiály jsou znovu využitelné, je ovšem potřeba vhodně zvolit technologii a účel jejich dalšího využití. Ne všechny materiály jsou vhodné pro opětovné použití na dráze, to ovšem neznamená, že by musely skončit na skládce. Dalším limitujícím faktorem může být cena jejich zpětného využití. Cena úpravy materiálu může převýšit cenu nového materiálu a stát se tak neatraktivním pro investora. V současné době je zvyšován tlak na stavebníky a realizační firmy, aby se v maximální možné míře snažili navrhovat a realizovat stavby z materiálů, které by v budoucnu po ukončení životnosti byly opět recyklovatelné. V některých případech již zabudované materiály nebudou moci plnit svůj původní účel, ke kterému byli použity a bude třeba najít nový způsob, jak je využít.

4.1 Vyhodnocení kvality

Při plánování železniční tratě se uvažuje s životností v řádech desítek let. Na vyhodnocení kvality využitých materiálů lze pohlížet dvěma způsoby, a to ověření okamžitých výsledků a zkoušek a druhé je reálná životnost navrhovaných řešení. Při rekonstrukci vybraných koridorových tratí je možné konstatovat, že technologie zlepšování zemin funguje i po více než 20 letech provozu, a to i v místech pod výhybkami, kde jsou dynamické rázy od dopravního zatížení vysoké.

4.1.1 Betonový recyklát

S aktualizací předpisu pro železniční spodek S4 se otevřely možnosti využití recyklovaných materiálů v železničním spodku. V místě navýšení nivelety budoucí traťové koleje proběhlo navezení materiálu ve dvou technologických krocích. Vzhledem k povrchovému odvodnění byl požadavek na nepropustnost budoucího materiálu. Geotechnikem stavby byl doporučen technologický postup. První technologická vrstva byla navržena s využitím původního vytěženého materiálu ze stavby, který se na místě zlepšil pojivem na bázi cementu. Provedlo se navezení vyzískaného materiálu a betonového recyklátu na místo kde měla být zvýšena niveleta koleje. Pomocí dozeru byl vyzískaný materiál a betonový recyklát urovnán na přibližnou výšku technologické

vrstvy. Kropícím vozem se provedla úprava vlhkosti materiálu na optimální vlhkost. Následně se dávkovačem přidalo pojivo na bázi cementu a frézou se provedla jeho homogenizace. Poslední činností bylo zhutnění technologické vrstvy zemním válcem. První technologická vrstva měla tloušťku po zhutnění asi 0,4m. Před druhou technologickou vrstvou proběhlo ověření únosnosti této vrstvy statickou zatěžovací zkouškou. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.1. Měření probíhalo v předem dohodnutých řezech, aby bylo možné ověřit výsledky v jednotlivých technologických krocích. V kilometráži 170,4 proběhla pouze druhá technologická vrstva, protože navýšení už nebylo tak velké, aby šlo realizovat dvě vrstvy. Druhá technologická vrstva byla navržena z betonového recyklátu frakce 0/63. Betonový recyklát byl čistý, bez příměsí cihel a cizorodých částic. Přesun probíhal z mezideponie nákladními automobily. Z důvodu snížení pojezdů po první technologické vrstvě jezdily nákladní automobily po budované druhé vrstvě, ihned po vysypání materiálu na pláň byl tento materiál dozerem rozhrnut, aby další nákladní automobil mohl náklad vysypat dál. Tímto způsobem se ochránila první technologická vrstva. Po navezení druhé technologické vrstvy se provedlo urovnání dozerem a ošetření kropícím vozem na optimální vlhkost. Následně se dávkovačem přidalo pojivo na bázi cementu a horninovou frézou se provedla jeho homogenizace. Zemním válcem se druhá technologická vrstva zhutnila. Po vyzrání se provedly statické zatěžovací zkoušky pro ověření únosnosti navýšené zemní pláně. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1, proběhlo i měření na dalším úseku, kde byla zhotovena pouze druhá technologická vrstva. Dle předpisu Správy železnic S4 má být hodnota na zemní pláni minimálně 30 MPa, v případě, kdy se volí technologie stabilizace nebo zlepšení je minimální hodnota 60 MPa.

Tabulka 4.1 Výsledky zkoušek

KM	1. Technologická vrstva		2. Technologická vrstva	
	1. kolej (Mpa)	2.kolej (Mpa)	1.kolej (Mpa)	2.kolej (Mpa)
170,2	177,6	157,0	72,2	110,7
170,3	72,2	75,4	84,4	129,8
170,4	x	x	66,5	69,9

Zdroj: vlastní zpracování

Hodnoty požadované předpisy byly dodrženy, lze konstatovat, že betonový recyklát dodaný z kvalitního vstupu je vhodný pro použití v podkladních vrstvách železničního spodku.

4.1.2 Využití R-materiálu a asfaltových směsí

Využití recyklovaného R-materiálu za studena lze využít v případě, kdy jsou požadavky na nepropustnost konstrukční vrstvy a je zaručena únosnost podkladní vrstvy. Takové podmínky jsou nejčastěji v zářezech ze skalního podloží, kde by mohlo vlivem vnikání povrchové vody a účinky mrazu docházet k degradaci materiálu a do budoucna i snižování únosnosti. Další podmínkou je vhodný a dostupný materiál někde v okolí předmětné stavby. V případě přepravy na dlouhou vzdálenost by nemělo použití R- materiálu odůvodnění.

Technologicky je třeba zajistit dostatečnou mocnost kolejového lože, protože v případě rozprostření přímo na asfaltové vrstvy je dle předpisu Správy železnic S3 provést navýšení o 50 mm. V prvním kroku je třeba pomocí horninové frézy vyrovnat povrch do příčného sklonu 3 %, tvar tělesa je stanoven na základě průběhu odvodnění. Následně se povrch odtěží a provede se penetrační nástřik. Penetračním nástřikem by mělo být docíleno zamezení vnikání povrchové vody dále do podloží. Ochranou vrstvu může tvořit obalované kamenivo nebo asfaltový recyklát. Maximální mocnost vrstvy je 100 mm. V případě využití asfaltového recyklátu musí být rozprostřená vrstva řádně zhutněna, aby byla nepropustná. Povrchové ošetření se provede kohezním nástřikem. [15] [16]

4.2 Cenové porovnání

Pro přípravu staveb a jejich oceňování se používají oborové třídníky. Oborový třídník je cenovou soustavou pro účely výstavby, rekonstrukce a opravy. Cenová soustava je stanovena rozsahem §11 Vyhlášky č. 169/2016 Sb. „*Cenovou soustavou se rozumí uspořádaný soubor informací o stavebních a montážních pracích, materiálech a výrobcích obsahující zatřídění položek, podrobný popis a měrnou jednotku, způsob měření a další technické a cenové podmínky pro možnost sestavení kalkulace nezbytných nákladů a stanovení jednotkové ceny*“ [22, s. 3]. Pro účely oceňování dopravních staveb se využívá třídník Státního fondu dopravní infrastruktury, který je schválen Centrální komisí Ministerstva dopravy. Pro porovnání jednotlivých variant a výhodnosti využití recyklovaných materiálů jsem využil oborový třídník stavebních konstrukcí (dále jen OTSKP), který byl schválen k datu 26.7.2022. Oborový třídník je podkladem pro soupis prací na konkrétní stavební dílo. Soupis prací musí obsahovat všechny požadované práce, dodávky a služby dané rozsahem projektové dokumentace budoucího díla. Ceny uvedené

v oborovém třídníku jsou podkladem pro nabídkovou cenu, která je orientační určení ceny díly. Oceněný soupis prací pro realizaci je obchodním tajemstvím jednotlivých dodavatelů, pro účely porovnání cenových nákladů budou data čerpána z aktuálního třídníku OTSKP. Pro každou stavbu jsou podmínky jedinečné. [23]

4.2.1 Cenová úspora na materiálových vstupech

Významným materiálovým vstupem v konstrukci železničního svršku je kamenivo pro kolejové lože. Využitím recyklovaného kameniva lze dosáhnout cenovou úsporu. Při porovnání položek v ceníku OTSP je cenová úspora 861 Kč na každém dodaném m³ materiálu. Na cenu materiálu má vliv cena kameniva a doprava. Způsob uložení a manipulace s materiálem na stavbě je shodná. Platí omezení dané předpisem o využití recyklovaného kameniva do mocnosti 50 mm pod úložnou plochu pražce. Cena 1 tuny nového kameniva s osvědčením třídy BI už přesahuje v cenících pro rok 2023 částku 500,00 Kč s DPH. Cena 1 tuny recyklovaného kameniva je dána cenou recyklace, pronájmem místa uložení a kompletní obsluhou recyklační linky. Cena recyklace je v cenících pro rok 2023 oceněna částkou od 150,00 Kč s DPH. Ceny vychází z veřejných ceníků dostupných na internetu, nejsou v nich zahrnuty případné slevy pro koncové odběratele za odebrané množství. I tak lze konstatovat, že vstupní parametr recyklovaného kameniva je nižší než u nového. Cenu nového kameniva bude do budoucna zvedat i cena dopravy z lomu na místo stavby. S tím, jak se bude kapacita jednotlivých lomů vyčerpávat, poroste i cena za dobývání kamene. Vyčerpání současné kapacity některých lomů povede ke zvýšení ceny za dopravu a tím i zvýšení celkových nákladů na stavby. Cenu nového kameniva ovlivňují nejen železniční stavby, ale také silniční, kde se také využívá. [23]

Betonové pražce určené k likvidaci se v současné době odvázejí na skládku. Poplatek za skládku je dle ceníku OTSKP 329,00 Kč za tunu. Pokud by tento materiál byl recyklován a zpětně využit do stavby došlo by k cenové úspoře. Na příkladu dvoukolejného traťového úseku v délce 8 km a na základě konečné kategorizace s 50 % odpadem betonových pražců, rozdělením „u“ a typem pražců SB8 je hmotnost odpadu 3600,72 t. Poplatek za skládku je 1 184 639,88 Kč. Recyklace a zpětné použití betonových pražců by přineslo nejen finanční úsporu, ale také úsporu materiálovou. Jeden betonový pražec má objem přibližně 0,125 m³. Na 1 km koleje je při rozdělení pražců „u“ 1667 kusů pražců. Při využití předchozích parametrů z dvoukolejné trati by vzniklo přibližně

1667 m³ betonového recyklátu. Tohle množství materiálu by při šířce zemní pláne 11 metrů a výšce vrstvy 0,2 m vystačilo na 757 metrů délky. Při použití betonového recyklátu bez úpravy křivky zrnitosti na parametry recyklované šterkodrti je vhodně použít technologie zlepšení pojivy na bázi cementu. Betonové pražce nejsou uloženy na skládce, ale jsou dále využity a recyklovány. Betonový recyklát frakce 0/63 se prodává v cenovém rozmezí 140-175 Kč bez DPH za 1 t. Z bezztrátového výpočtu hmotnosti odpadu v množství 3600,72 t a vzniku 3600,72 t betonového recyklátu je vzniklý materiál v hodnotě dle nejnižší prodávané ceny v hodnotě 504 100,8 Kč. Úspory v materiálových vstupech je třeba snížit, protože v nich nejsou zahrnuty náklady na samotnou recyklaci materiálu, manipulace s materiálem při recyklaci a zkoušky prokazující vlastnosti recyklovaného materiálu. [23]

4.2.2 Cenová úspora v přepravách

Cenová úspora je přímo úměrná vzdálenosti přepravovaného materiálu ze stavby a zpět. V případě využití recyklovaných materiálu a vhodné plochy k recyklaci lze uspořit značnou část finančních nákladů. Dle ceníku OTSKP je odvoz kolejového lože na recyklaci oceněn částkou 10,80 Kč na m³Km. Odvoz kolejového lože na skládku je oceněn na 11,90 Kč na m³Km, což je rozdíl 1,10 Kč na m³Km. V případě dvoukolejné tratě a uvažovaném průměrném objemu šterkového lože na 1 m délky 4 m³ je rozdíl 4,40 Kč. Rozdíl mezi odvozem na skládku nebo recyklaci by v případě traťového úseku dlouhého 8 Km činil 35 200 Kč. Tato částka je vypočtená pro odvozovou vzdálenost 1 km, což v případě délky traťového úseku 8 Km musí být minimálně průměrná odvozová vzdálenost tohoto úseku což je dáno z výpočtu $(8+0) / 2 = 4$. Vzdálenost 4 Km předpokládá, že se v daném traťovém úseku nachází recyklační základna a skládka zároveň. V tomto mimořádně příznivém případě je úspora v cenách přepravy 140 800 Kč. Do výpočtu vzdálenosti vstupuje vhodná volba pozemku pro recyklaci, je nutné splnit podmínky pro ochranu osob a životního prostředí s důrazem na hlukové a prašné limity. Čím blíže je recyklační základna ke stavbě, tím se snižuje cenová a časová náročnost přeprav. Při volbě vhodné skládky rozhoduje jak její vzdálenost od místa stavby, kapacita a také nabídka materiálu, který lze dovést zpět k zabudování a tím zvýšit vytížení dopravního prostředku. [23]

Odvoz betonových pražců k likvidaci je oceněn 14,10 Kč na tKm. Položka odvoz betonových pražců k recyklaci není v třídění OTSKP, pro následující výpočty bude

uvažováno se stejnou cenou jako odvoz k likvidaci. Betonový pražec B91T i B91S mají hmotnost 304 kg. Starší betonové pražce SB8 mají hmotnost 270 kg. Rozdělení pražců může být „c“, „d“, „e“ nebo „u“, množství pražců je dle rozdělení od 1360 ks na km až po 1840 ks na km. Hodnoty jsou převzaty z předpisu Správy železnic SŽ S3 díl XI. Porovnání úspor je závislé na konkrétních hodnotách daného stavebního úseku. Do výpočtu vstupuje vyhodnocení konečné kategorizace, které specifikuje počet pražců k likvidaci, délka traťového úseku, počet kolejí typ a rozdělení pražců. V případě délky traťového úseku 8 km dvoukolejné trati na betonových pražcích SB8 s rozdělením „u“, kde je počet pražců na 1 kilometr 1667 a 50 % odpadních pražců jsou cenové náklady na odvoz pražců na 1 Km dané výpočtem= $8 \times 2 \times 1667 \times 50\% \times 270 / 1000$. Celková hmotnost pražců k likvidaci je 3600,72 t, cena za jejich odvoz je 50 770,15 Kč na 1 km. Čím bude rozdíl mezi skládkou a recyklační základnou vyšší, tím budou i vyšší úspory při odvozech. [23]

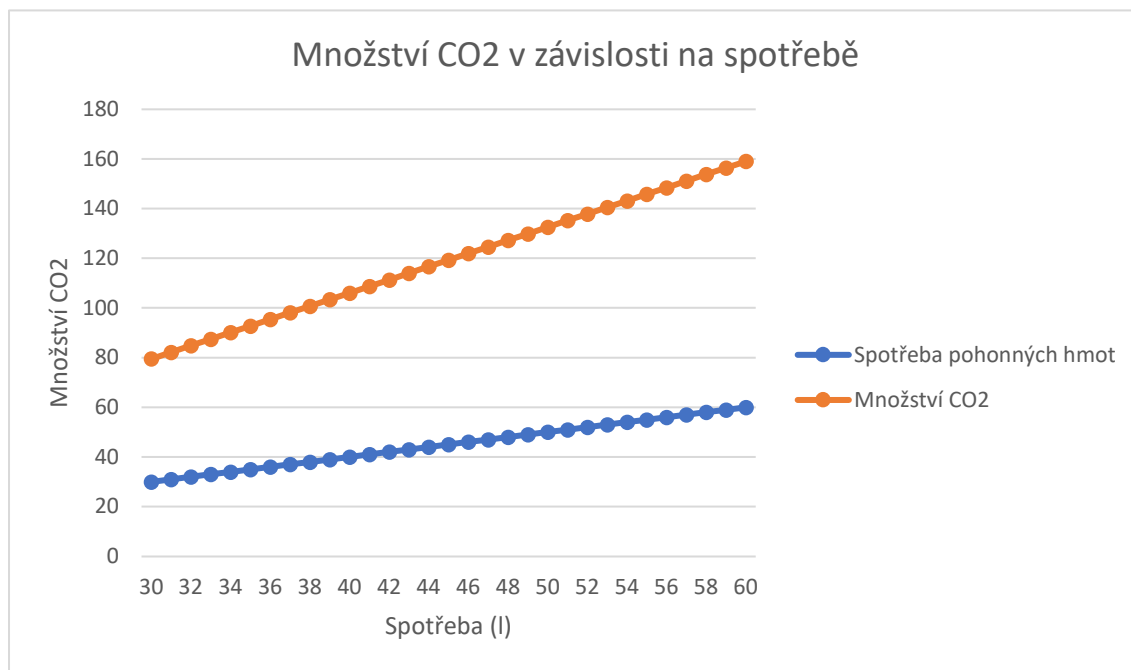
4.3 Vliv na životní prostředí

Přesun hmot by se dal během stavby rozdělit na vnitrostaveništní a mimostaveništní. Každá z těchto doprav má negativní vliv na životní prostředí a produkuje emise. Pro přepravu na staveništi se využívají nákladní automobily, pásové dopravníky, dumpery a diesellové lokomotivy s dostatečným počtem vozů. K přepravě na delší vzdálenosti jsou využívány nákladní automobily a dle dopravované vzdálenosti elektrické nebo diesellové lokomotivy.

S rostoucím výkonem dopravních prostředků a požadavky na snižování nákladů vedou k tomu, že možný objem přepravovaného materiálu na jednom nákladním automobilu roste, aby se využilo maximální možné povolené zatížení na jednu nápravu. Emise z každého nákladního automobilu se mohou skládat z výfukových plynů vznikajících při spalování fosilních paliv, hluku z dopravy, opotřebáváním automobilu, vířením prašných částic a dalších nežádoucích vlivů.

Prvním druhem emisí, o kterých se dnes nejčastěji mluví jsou emise z fosilních paliv. V nejvíce případech spalují nákladní automobily a stavební stroje motorovou naftu. Motorová nafta obsahuje ve své uhlíkové struktuře 87 % uhlíku. Spálením jednoho litru motorové nafty vznikne 2,65 kg CO₂. Průměrná spotřeba se u nákladních automobilů pohybuje mezi 30 a 40 litry motorové nafty na 100 km. Průměrný nákladní automobil

vypustí do ovzduší mezi 79,5 až 106 kg CO₂ na 100 km. Tyto hodnoty jsou uváděny výrobci nákladních automobilů. Vzhledem k pohybu nákladních automobilů po nezpevněných komunikacích, plně naložených a pohybujících se v nízkých rychlostech bude reálná spotřeba mnohem vyšší viz Obr 4.1.



Obrázek 4.1 Vývoj CO₂ v závislosti na velikosti spotřeby

Zdroj: vlastní zpracování

Dalším druhem škodlivin, které se dostávají do ovzduší, jsou prachové částice. Jejich vznik probíhá průjezdem automobilu po komunikaci, kdy se zvedne materiál ležící na komunikaci. Prachové částice může tvořit zbytek posypového materiálu, ztráty materiálu při přepravě a uvolňování škodlivin z automobilu. Prachové částice z automobilu jsou tvořeny opotřebovanými pneumatikami, brzdového obložení při brždění nebo oddělování zkorodovaných součástí automobilu.

Dalším typem emisí jsou hlukové emise. Hluk můžeme dělit na vnitřní a vnější. Pro okolí je zatěžující ten vnější. Vzniká od hnací jednotky automobilu, valením pneumatik po vozovce, obtékáním vzduchu kolem vozidla, bržděním a vibracemi karoserie. Při jízdě nákladního automobilu se jednotlivé složky hluku mění v závislosti na rychlosti vozidla. Při nízkých rychlostech je dominantním zvukem hluk hnací jednotky, při vyšších začíná převládat hluk z valení pneumatik a aerodynamický hluk. Hranice se u nákladních automobilů pohybuje přibližně kolem 65 km/h. [24]

Při stání nebo jízdě nákladních automobilů může vlivem provozu v náročných podmínkách docházet k drobným netěsnostem v soustavách vedoucích provozní kapaliny. Nejčastěji může docházet k úkapům olejových látek z motorového prostoru nebo z hydraulického potrubí. Případně může dojít k úniku pohonných hmot při jejich doplňování. Tím se zvyšuje zátěž pro životní prostředí.

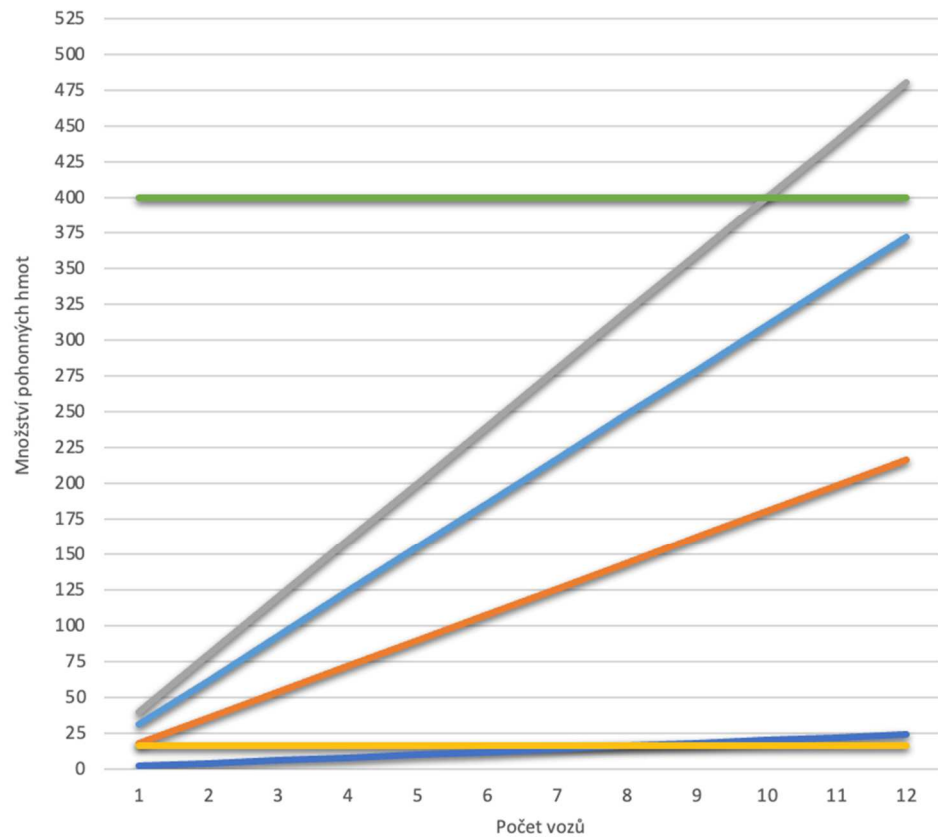
Železniční přeprava je ekologičtější než silniční. V ideálním případě je vhodné využití elektrických lokomotiv, protože v místě přepravy neprodukují výfukové plyny a jsou účinnější. Při rekonstrukcích železničních tratí se jako jeden z prvních kroků provede demontáž trakčního vedení, čímž se vylučuje využití elektrických lokomotiv. Spotřeba pohonných hmot je u lokomotiv dána především zátěží a může dosahovat až 400 l za hodinu. Množství CO₂ vypuštěné diesellovou lokomotivou v maximálním zatížení je až 1060 kg za hodinu provozu. Vysoká produkce výfukových plynů je vyvážena kapacitou přepravovaného materiálu. Stejně tak lokomotiva nejede stále na plný výkon, který je využit hlavně při zrychlení.

Množství hluku, které je tvořeno diesellovou lokomotivou je hlavně hluk z pohonné jednotky, hluk od brzd a hluk odvalujícího se dvojkolí po kolejnicích. Aerodynamický hluk je v případě nákladních lokomotiv spíše zanedbatelný, protože je přehlušen hlukem z motoru. Výraznou emisí hluku je hluk od brzd, kdy brzdové třmeny doléhají a vyvíjejí brzdnu sílu přímo na dvojkolí.

Porovnáním ložného prostoru nákladního automobilu Tatra 8x8 jednostranný sklápěč s objemem 18 m³ a čtyřnápravového výsypného vozu Dumpcar s objemem 31 m³ je vidět výhoda ve vyšším ložném prostoru. Další výhodou je možnost spřažení více vozů Dumpcar a navýšit tak celkový ložný prostor, aniž bychom museli navyšovat počet hnacích jednotek. K nákladnímu automobilu lze připojit vhodný přívěs, pro účely stavby to není vhodné z důvodu manévrovatelnosti. Při spřažení 6 vozů Dumpcar je přepravní kapacita srovnatelná s 10 nákladními automobily, ovšem množství vypuštěných emisí CO₂ je

nižší, protože lokomotiva provede jeden příjezd a odjezd, kdežto nákladní automobil tento proces provede 10x viz Obr 4.2.

Porovnání spotřeby pohonných hmot v závislosti na objemu přepraveného materiálu



Objem vozu Dumpcar	31	62	93	124	155	186	217	248	279	310	341	372
Objem nákladního auta	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180	198	216
Průměrná spotřeba nákladního auta	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
Spotřeba nákladního auta na volnoběh	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Spotřeba lokomotivy maximální výkon	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Spotřeba lokomotivy na volnoběh	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Obrázek 4.2 Porovnání kapacity železničních vozů a nákladních automobilů

zdroj: vlastní zpracování

Dle traťových poměrů navíc může být souprava delší. Při realizaci je také zakázáno pojíždět zemní pláň, což i při zřízení ochranné vrstvy a násobnému pojezdu zatížených nákladních automobilů může mít negativní vliv na ochranu zemní pláně. Nevýhodou využití železniční přepravy je někdy nutná překládka a doprava k místu skládky nákladními automobily. Stejný problém nastává, když není recyklační základna dostupná železničními vozy a je nutná překládka. To přepravu materiálu prodražuje a stává se neatraktivní pro zhotovitele.

4.4 Budoucnost využití recyklovaných materiálů

S rostoucím tlakem na co nejekologičtější provedení staveb a snižování uhlíkové stopy se bude muset stavebnictví jako takové přizpůsobit novým trendům. K tomu, aby byla motivace k využívání recyklovaných materiálů co nejvyšší je třeba postupně změnit současné postupy a zvyky. Využití nových materiálů nesmí mít vliv na snížení kvality, životnost staveb a jejich bezpečnost. Zároveň musí být s využitím recyklovaných materiálů uvažováno od začátku projektu, protože dodatečné změny mohou vést ke zvýšené finanční náročnosti projektu. Výsledkem by vždy měla být funkční stavba jako celek, spokojený investor a zhotovitel.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo analyzovat současné využívání recyklovaných materiálů při rekonstrukci železniční tratě a pokusit se najít vhodné alternativy ke zvýšení podílu využívaných recyklovaných materiálů.

První část diplomové práce je zaměřena na obecný popis konstrukce železniční tratě. Je popsán vývoj železnice na území České republiky, její současný stav a způsob, jakým probíhá realizace přípravy staveb. Podrobněji je zde popsána problematika železničního svršku, jednotlivých součástí, ze kterých je postaven. Dále se zabývá konstrukcí železničního spodku. Na konci první části je popsána problematika údržby železničního svršku se zaměřením na údržbu kolejového lože a způsoby, jakými se v současné době provádí jeho obnova. Druhá část diplomové práce je zaměřena na jednotlivé materiály, které jsou vyzískávány při rekonstrukci železniční tratě a jejich následné využití. Z velké části je zde popsána problematika recyklace a využití kolejového lože, dále jsou popsány další části železničního svršku a jejich současné využití. Tato část obsahuje také materiály mimo železniční stavby, které mají potenciál využití v konstrukci železniční tratě. Obsahem druhé části jsou také zkušební metody, kterými se měří parametry konstrukčních vrstev. Třetí část diplomové práce je zaměřena na možnosti využití vyzískaných materiálů, jejich způsob využití při zpětném zabudování. Materiály jsou rozděleny na využití zpět do železničního svršku, konstrukčních vrstev železničního spodku a podkladních vrstev železničního spodku. Zvláštní součástí jsou recyklované pryže, které se využívají do různých částí železniční tratě, a to hlavně v souvislosti s utlumením hluku. V poslední části diplomové práce jsou vyhodnoceny některé návrhy materiálů zabudované v železničním spodku. Poslední část kapitoly se zabývá hodnocením a porovnáváním vybraných návrhů z hlediska ekonomického. K tomu je využito oborových třídníků stanovujících jednotkové ceny. Další porovnání je z hlediska vlivu na životní prostředí při přepravě materiálů. Při analýze jednotlivých materiálů jsem dospěl k závěru, že důležitým faktorem pro recyklaci materiálů je vhodné prostorové uspořádání, protože pokud je recyklační základna příliš vzdálená, může to být ekonomicky a ekologicky neefektivní z pohledu přepravy materiálů.

Použitá literatura

- [1] GAŠPARÍK, Jozef a Jiří KOLÁŘ. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
- [2] SPRÁVA ŽELEZNIC, STÁTNÍ ORGANIZACE. *Základní charakteristika železniční sítě* [online]. In: . [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznice-cr/zeleznici-sit-v-cr>
- [3] *Drážní úřad: Aktuality* [online]. In: . Praha [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.ducr.cz/cs/aktuality/1229-nove-seznamy-dopravcu-a-provozovanych-vlecek>
- [4] KREJČÍŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 1*. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06157-2.
- [5] HLAVOU A KOL., Ivan. *Dopravní a spojová soustava*. První. Přerov: Vysoká škola logistiky o.p.s v Přerově, 2010. ISBN 978-80-87179-12-3.
- [6] *Technologie prací na železničním svršku*. 1. vydání. Praha: ČKAIT, 2019. ISBN 978-80-88265-17-7.
- [7] KUBÁT, Bohumil a Ondřej TREŠL. *Stavby kolejové dopravy*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-03983-0.
- [8] *Vyhláška o dokumentaci staveb: Vyhláška č. 499/2006 Sb.* In: . Praha, 2006, ročník 2006, číslo 163. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499#>
- [9] *Czechinvest: Agentura pro podporu podnikání a investic* [online]. In: . 2004 [cit. 2023-04-15].
- [10] HLAVOŇ, Ivan a Blanka KALUPOVÁ. *Teorie a konstrukce dopravních systémů: železniční dráha*. Přerov, 2013.
- [11] *Vysokorychlostní tratě v ČR: sborník přednášek vydaný u příležitosti semináře konaného ve dnech 8. a 9. února 2023 v Děčíně*. 20. Děčín: Vyšší odborná škola a

Střední průmyslová škola strojní, stavební a dopravní, Děčín, příspěvková organizace, 2023. ISBN 978-80-905733-9-0.

- [12] HLAVA, Zdeněk, Robert COUFAL a Jan L. VÍTEK. *Použití recyklovaného kameniva do betonu* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2021-1-46.pdf>
- [13] Pomůže recyklace kovů k udržení cíle čistých nulových emisí?. In: *Ekolist* [online]. Birmingham, 2023 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/reuters-pomuze-recyklace-kovu-k-udrzeni-cile-cistych-nulovych-emisi>
- [14] FIALA, Pavel a Josef GODANY. Studie dostupnosti kameniva pro plánované stavby dálnic a silnic I. třídy a železniční infrastruktury. In: *Silnice mosty* [online]. 2022 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.silnice-mosty.cz/2318-studie-dostupnosti-kameniva-pro-planovane-stavby-dalnic-a-silnic-i-tridy-a-zeleznicni-infrastruktury/>
- [15] SPRÁVA ŽELEZNIC, S.O. *S3 Železniční svršek*. 3. Praha, 2019.
- [16] SPRÁVA ŽELEZNIC, S.O. *S4 Železniční spodek*. Praha, 2020.
- [17] *Recycling ...: možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin : sborník přednášek ... ročníku konference*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 1996, . ISBN 978-80-214-5894-9.
- [18] *Nový zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech: účinnost - 1. ledna 2021*. Praha: Verlag Dashöfer, 2021. Edice AZ - aktuální úplná znění. ISBN 978-80-7635-056-4.
- [19] HELLMUTH, Tomáš, Jiří MICHAL a Dana POTUŽNÍKOVÁ. *Hluk v komunálním prostředí* [online]. In: . Ústí nad Orlicí, 2013 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_114__neprzvunost.html
- [20] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Zákon č. 266/1994 Sb. o dráhách* [online]. In: . Praha [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>

- [21] STYL 2000, SPOL. S R. O. *Silnice železnice: Anti-trespass panely v žst. Křižanov* [online]. 2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://silnice-zeleznice.cz/mestska-doprava/anti-trespass-panely-v-zst-krizanov-521>
- [22] *Zákony pro lidi: Vyhláška č. 169/2016 Sb. Vyhláška o stanovení rozsahu dokumentace veřejné zakázky na stavební práce a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb s výkazem výměr* [online]. 2016 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-169>
- [23] STÁTNÍ FOND DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY. *Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací 2022*. Praha, 2022.
- [24] GOTTVALDOVÁ, Jana. Automobilová hluk. In: *Silnice železnice* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/automobilovy-hluk/>

Seznam grafických objektů

Obrázek 1.1 Uzel upevnění.....	15
Obrázek 1.2 Znečištěné štěrkové lože	16
Obrázek 1.3 Pláň tělesa železničního spodku	20
Obrázek 2.1 Betonový recyklát	27
Obrázek 3.1 Třidič	37
Obrázek 3.2 Bokovnice připevněná ke kolejnici	45
Obrázek 4.1 Vývoj CO ₂ v závislosti na velikosti spotřeby	54
Obrázek 4.2 Porovnání kapacity železničních vozů a nákladních automobilů.....	56

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 SWOT analýza.....	35
Tabulka 4.1 Výsledky zkoušek.....	49

Autor	Bc. Martin Konečný
Název DP	Využití recyklovaných materiálů při modernizaci železničních tratí
Studijní obor	LOG
Rok obhajoby DP	2023
Počet stran	48
Počet příloh	0
Vedoucí DP	Ing. Michal Turek, Ph.D.
Anotace	Diplomová práce je zaměřena na problematiku využití recyklovaných materiálů v konstrukčních vrstvách železniční tratě. Je provedena analýza využití současného stavu využití recyklovaných materiálů. Následně je proveden rozbor materiálů, které mohou být využity za určitých podmínek zpět do konstrukce železniční tratě. Je provedena analýza a výhody využití recyklovaných materiálů.
Klíčová slova	recyklace, kolejové lože, recyklovaný materiál, železnice
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	