



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra krajinného managementu

Diplomová práce

Využití odpadů při výstavbě pozemních staveb

Autorka práce: Bc. Širmerová Karolína

Vedoucí práce: Ing. Jan Závitkovský

České Budějovice
2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na využití odpadů při výstavbě pozemních staveb.

V první části se nachází literární rešerše, ve které jsou popsány základní informace o odpadech, jako jsou druhy odpadů a jejich výskyt. Dále je popsán Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady, využití odpadů při výstavbě, problematika nebezpečných stavebních odpadů a nakládání s odpady ve státech EU. Pro zajímavost jsou také popsány domy postavené z odpadů tzv. Zemělodě.

Druhá část je částí praktickou. Ta obsahuje informace o vybraném úseku dálnice D3, postupu výstavby dálnice D3 a návrhu využití recyklátů do dálničních těles. Následuje kalkulace a informace o dostupnosti recyklátů.

Klíčová slova: Odpad, stavební odpad, demoliční odpad, recyklace, Zemělodě, dálnice

Abstract

This thesis focuses on utilization of waste during buildings construction.

The first part of the thesis encompasses a literature search that describes basic information about waste, such as types of waste and its origination. Further, it describes the EU Protocol regarding handling of construction and demolition waste, waste utilization during construction, problematics of hazardous waste, and handling of waste in EU countries. For interest, included is also a description of houses built from waste materials, eg. Earthship.

The second half focuses on practical aspects. It includes information about a selected section of highway D3, the process of construction of highway D3, and the proposal for utilization of recycled materials in highway components. Next, are calculations and information about availability of recycled materials.

Keywords: Waste, construction waste, demolition waste, Earthship, highway

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Závitkovskému za odborné vedení mé práce, cenné rady a věcné připomínky. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a přátelům za podporu a trpělivost při studiu a tvorbě mé diplomové práce.

Obsah

1	ÚVOD	6
2	LITERÁRNÍ REŠERŠE	7
2.1	DRUHY ODPADŮ	7
2.1.1	<i>Komunální odpady</i>	7
2.1.2	<i>Odpady z průmyslu</i>	9
2.1.3	<i>Odpady z těžby, dopravy, zpracování a využití ropy</i>	10
2.1.4	<i>Radioaktivní odpady</i>	12
2.1.5	<i>Odpady z energetiky</i>	13
2.1.6	<i>Odpady ze zemědělství a lesnictví</i>	13
2.1.7	<i>Stavební a demoliční odpady</i>	14
2.2	PROTOKOL EU O NAKLÁDÁNÍ SE STAVEBNÍMI A DEMOLIČNÍMI ODPADY	16
2.2.1	<i>Zásady Protokolu EU</i>	18
2.2.2	<i>Identifikace, třídění a sběr odpadů</i>	19
2.2.3	<i>Logistika odpadů</i>	19
2.3	ODPADY V SOUČASNOSTI VYUŽÍVANÉ PŘI VÝSTAVBĚ	20
2.3.1	<i>Využití stavebních a demoličních odpadů</i>	20
2.3.2	<i>Další výrobky z recyklátu použitelné v pozemních stavbách:</i>	22
2.4	PROBLEMATIKA NEBEZPEČNÝCH STAVEBNÍCH ODPADŮ	23
2.4.1	<i>Stavební odpad obsahující azbest</i>	24
2.4.2	<i>Likvidace azbestu</i>	25
2.5	DOMY S MAXIMÁLNÍM VYUŽITÍM ODPADŮ „EARTHSHIP“	27
2.5.1	<i>Zeměloď v České republice</i>	28
2.5.2	<i>Stavba Zeměňky</i>	28
2.5.3	<i>Provoz Zeměňky</i>	29
2.5.4	<i>Teploty v Zeměnce</i>	30
2.5.5	<i>Klady Zeměňky</i>	31
2.6	NAKLÁDÁNÍ SE STAVEBNÍMI ODPADY VE STÁTECH EU	32
3	METODIKA	34
3.1	CÍL PRÁCE	34
3.2	MATERIÁL	34
3.2.1	<i>Dálnice D3</i>	35

3.2.2	<i>Stručná charakteristika okresů dotčených dálnicí D3</i>	35
3.2.3	<i>Historie dálnice D3</i>	36
3.2.4	<i>Zpoplatněné úseky D3</i>	37
3.3	METODY	39
3.3.1	<i>Postup výstavby dálnice D3</i>	40
3.3.2	<i>Návrh využití odpadů ve stavebnictví v rámci udržitelného rozvoje</i>	41
3.3.3	<i>Kalkulace vybrané vrstvy kameniva a betonového recyklátu</i>	42
3.3.4	<i>Dostupnost betonového recyklátu</i>	43
3.3.5	<i>Software</i>	44
4	VÝSLEDKY A DISKUSE	45
5	ZÁVĚR	48
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
7	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	53
8	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	54
9	SEZNAM POUŽITÝCH GRAFŮ	55
10	PŘÍLOHY	56

1 Úvod

Odpad, jeho výskyt a zpracování se dotýká všech zemí bez rozdílu. Můžeme říci, že v současné době je jedním z nejvíce diskutovaných témat právě odpad a jeho recyklace. Zužitkování druhotných materiálů ukazuje, jak je daná země vyspělá v oblasti odpadového hospodářství. Odpadové hospodářství je velmi významným materiálovým tokem. V České republice i dalších zemích EU zaujímá přibližně 40 %. Díky tomu, je odpadovému hospodářství věnována značná pozornost s cílem objevení co nejvíce možností opětovného využití. Při správné recyklaci a zacházením s těmito materiály vzniká plnohodnotný stavební materiál, který se dá poté využít například v konstrukcích pozemních staveb.

Tato práce je rozdělena na dvě části. První část je částí teoretickou, ve které jsou rešeršní formou popsány informace o odpadech, jejich výskytu, zpracování a o Protokolu EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady. Dále se v práci zabývám popisem odpadů, které jsou v současnosti využívány při výstavbě, nebezpečnými odpady a jak se stavebními odpady nakládají státy EU. Pro zajímavost jsou v práci popsány domy s maximálním využitím odpadů, které se nazývají Earthship (v češtině Zeměloď nebo Zemědům).

Druhou částí je část praktická, ve které se zabývám návrhem využití betonového recyklátu do dálničních těles. Je zde popsán úsek dálnice D3, který byl pro tento návrh vybrán a postup výstavby této dálnice. Následují výpočty, kde porovnávám navržený betonový recyklát a kamenivo, které se do těchto vrstev běžně používá

2 Literární rešerše

2.1 Druhy odpadů

Mečislav (1994) říká, že se odpady rozdělují na tyto hlavní druhy:

- Komunální odpady
- Odpady z průmyslu
- Odpady z těžby, dopravy, zpracování a využití ropy
- Radioaktivní odpady
- Odpady z energetiky
- Odpady ze zemědělství a lesnictví
- Stavební a demoliční odpady

2.1.1 Komunální odpady

Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. říká, že komunálním odpadem se rozumí veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání (Zákon č. 185/2001 Sb.).

Skupiny katalogu odpadů jsou uvedeny v příloze č. 1 ve skupině 20, ve vyhlášce č. 381/2001 Sb., Katalog odpadů.

Odpady podobné KO (komunálnímu odpadu), jsou odpady, které vznikají v procesu spotřeby v obchodech, kancelářích, úřadech a institucích a které jsou povahově a složením blízké komunálnímu odpadu.

Odpad, který vzniká v domácnostech jako spotřební odpad obyvatel, se nazývá domovní odpad.

Dále komunální odpad, který díky svým rozměrům či hmotnosti nelze odkládat do sběrných nádob, popřípadě sběrných pytlů vymezených pro pravidelný sběr směsného komunálního odpadu, se nazývá objemný odpad (Altmann, 2010).

Na území České republiky vzniká ročně takřka 3. mil. tun komunálního odpadu. Svým složením jsou tyto odpady problematické, jelikož obsahují škodlivé látky. Jde sice o malé množství těchto látek ale i tak je důležité jejich oddělené podchycení, které je zároveň velmi obtížné. Bývají to především zbytky chemikálií, barev, olejů, léků apod. (Kolář, Kužel 2000).

Komunální odpady se skládají z heterogenních směsí odpadů, které vznikají na území obce. Mezi hlavní složky KO patří především obaly od potravin a spotřební

artikly, které můžeme definovat jako menší věci, které se rychle spotřebují či opotřebují a jsou znovu pravidelně zakoupeny, jako například potraviny a oděvy. Komunální odpad je dále tvořen veškerým domovním odpadem, odpadem z údržby místní zeleně, hřbitovů a také odpadem z odpadkových košů, které jsou umístěny v obci (Šťastná, 2007).

Tabulka 2.1 Příklad složení komunálních odpadů (Mečislav,1994)

Složka	Složení (% hmotnostní)
Papír	40
Lepenka	4
Plasty	3
Kůže a pryž	1
Textilie	2
Kuchyňské odpady	15
Zemědělské odpady	12
Dřevo	2
Sklo	8
Kovy	9
Keramika, kámen apod.	4

Složení KO může být ovlivněno různými faktory, jako je například velikost a typ zástavby, velikost sídel v návaznosti na počtu obyvatel, způsob vytápění a životní styl členů v domácnosti a také roční období.

Sídlíštní zástavba je zástavba bytových domů, které disponují centralizovaným zásobováním teplem, bez využití odpadu.

Smišená zástavba je zástavba bytových domů, která sídlí většinou v centru měst. Tyto zástavby mají smíšené ústřední vytápění elektrinou nebo plynem. Vytápění tuhými palivy je minimální.

Venkovská zástavba je zástavba rodinných domů, která převážně vytápí tuhými palivy a vyprodukuje nejvýraznější množství komunálního odpadu, jelikož produkují velké množství biologicky rozložitelného odpadu, který je následně využíván například ke kompostování (www.zeraagency.eu).

Za využitelné složky komunálního odpadu, se považují druhy KO, které jsou získané odděleným sběrem jako jsou například plasty, kovy, sklo, papír a lze je přímo recyklovat, popřípadě jinak materiálově využít (Altmann, 2010).

Tabulka 2.2 Způsoby nakládání s komunálním odpadem v České republice (Altmann, 2010)

Způsoby nakládání s komunálním odpadem v ČR [tis. tun]							
Rok	1999	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Produkce KO	4 200	4 615	4 446	4 651	4 439	3 979	4 130
Využívání KO	314	427	546	590	732	611	734
Odstranění KO	3 048	3 529	3 308	3 366	3 220	3 244	3 346
Ostatní způsoby	282	216	177	152	246	293	254
Nakládání celkem	3 642	4 172	4 031	4 108	4 198	4 148	4 334

V tabulce 2.2 můžeme vidět, že dochází k „úniku“ určitého množství odpadu při evidenci KO. Lze vidět, že v letech 2006 a 2007 bylo nakládáno s více odpady, než bylo skutečně produkováno.

2.1.2 Odpady z průmyslu

Průmyslový odpad, který u nás vzniká v rozmanitých průmyslových odvětvích, je přibližně dvojnásobně větší než vznik KO. Odpady, které vznikají v průmyslu je možno rozdělit na odpady mechanického a chemického charakteru. Odpad vznikající z mechanických operací v jádru znamená jen nežádoucí množství na skládkách nebo skladovacích prostorách. Naopak odpad vznikající z chemických procesů, znázorňuje skutečnou hrozbu životnímu prostředí, jelikož většina z nich jsou nebezpečné odpady.

Zacházení s tímto druhem odpadů spočívá zejména v jejich vhodné úpravě, a to tak aby se odstranily nebo omezily jejich nebezpečné znaky. Většinu odpadů je možno zpracovat hned u výrobce, avšak nebezpečné chemické odpady zvláště na obtížné směsi organických i anorganických látek, je příhodné přepracovat nebo upravovat ve zpracovatelských střediscích. Tato střediska jsou již několik let používána v průmyslově vyspělých zemích.

Většinu chemických látek z nebezpečných odpadů lze vhodnou úpravou získat zpět. Mezi nejrozšířenější chemické průmyslové odpady patří například organické kapalné chemikálie a rozpouštědla a odpady obsahující těžké kovy.

Nebezpečné průmyslové odpady se vyskytují jako pevné (tuhé), kapalné a plynné materiály či směsi. Takové směsi jsou například rozpuštěné plyny v kapalinách, suspenze tuhých látek, popřípadě kapaliny zadržované v pevných látkách. Bezpečnost práce je na prvním místě při volbě vhodného způsobu zpracování nebezpečných odpadů.

Tuhé a kapalné chemické odpady je možno za určitých podmínek, především v nepatrném množství, detoxikovat chemickými reakcemi. Chemickým zpracováním je možné vzájemně odstraňovat odpady jinými typy odpadů. To je prováděno především v komplexních střediscích na zpracování průmyslového odpadu.

Odpady z průmyslu lze z větší části zařadit mezi nebezpečné odpady. Nejvýznamnější podíl v nich ale přitom tvoří odpady chemického charakteru. Tyto odpady představují zejména nezreagované suroviny, nečistoty v surovinách, druhotné produkty chemických reakcí, pomocné látky jako katalyzátory, rozpouštědla apod. pro fyzikální a chemické procesy.

Z hlediska nepříznivého vlivu odpadů na životní prostředí a množství vzniklých odpadů, je možné jednotlivé průmyslové odvětví rozdělit do tří skupin:

- Silně zátěžová – do této skupiny patří těžební, energetický, chemický, papírenský, metalurgický, strojírenský průmysl a výroba paliv
- Středně zátěžová – v této skupině nalezneme výrobu stavebních hmot a textilní, kožedělný, sklářský, keramický a potravinářský průmysl
- Mírně zátěžová – v této skupině je dřevozpracující, polygrafický a textilní průmysl (Mečislav, 1994 a 2014)

2.1.3 Odpady z těžby, dopravy, zpracování a využití ropy

V současnosti je ropa jednou z nejvýznamnějších a nepostradatelných průmyslových surovin. Ve světě se těží a zpracovává přibližně 3 miliardy tun ropy ročně (k roku 2014). Ropa má výhradní postavení především v automobilové a letecké dopravě. Můžeme ale předpokládat, že se bude energetické zpracování ropy postupně snižovat, a naopak se zvedne její využití jako zdroj uhlíku pro petrochemický průmysl, jenž zatím činí méně než 20% těžené ropy (Mečislav, 2014).

V ropných rafinériích a při zacházení s ropnými výrobky se dbá na pečlivou manipulaci a ochranu životního prostředí. I přesto dochází k znečišťování životního pro-

středí. Negativní dopad na životní prostředí mají i některé produkty ze spalování pohonných hmot a topných olejů. Odpařováním těkavých částí ropy a ropných výrobků dochází ke kontaminaci ovzduší.

Při těžbě, dopravě, zpracování ropy a používání ropných produktů někdy dochází k úniku ropy, a to například při nehodách tankerů, vad ropovodů, únikům z cisteren, které jsou z velké části způsobené lidským faktorem. Při vrtání na moři se může odvrtná surovina z ropné sondy vracet do moře, ale jen tehdy, kdy neobsahuje větší množství ropy, než povolují platné předpisy. Z tohoto důvodu je odvrtný materiál převážně ke zpracování na pevninu nebo se pomocí studní vtlačuje zpět do dna. Rovněž voda, která doprovází ropu, se nesmí vypustit zpět do moře, pokud by obsahovala více ropy, než je přípustné množství.

Velkým ekologickým problémem jsou odstavené vrtné plošiny na moři, které budou s velkou pravděpodobností potopeny na dno moře. Představují hrozbu, jelikož na sobě uchovávají zbytky ropy a podobných chemikálií, z nich některé jsou toxické. Na vrtných plošinách může dojít k havárii, které způsobí, že ropa proudí do moře i několik týdnů či měsíců, než se podaří vrt uzavřít. Tím se může do moře dostat tisíce až statisíce tun ropy. Kupříkladu během války v Perském zálivu, kdy byly záměrně poničeny ropné vrty, se do dostalo do moře množství ropy odhadované na několik milionů tun. Havárie mohou být spojené i s požáry, při kterých mohou zahynout lidé, jako například na plošině Piper Alfa v roce 1978, na které zahynulo 164 pracovníků.

Ve vodě ropa vytváří plovoucí vrstvu, která omezuje přístup kyslíku do vody a snižuje tvorbu planktonu, který je potravou ryb a mnoha dalších mořských živočichů. Jeden tisíc tun ropy vytvoří skvrnu tlustou 1 mm na ploše 1 km² (Blažek a Rábl, 2006).

Nejvíce poškození bývají mořští ptáci, kteří se potápějí pod hladinu a loví ryby. Dochází k poškození ochranné vrstvy peří, díky kterému jsou vystaveni chladu a nemohou plavat ani létat. Dále jim ropné chemikálie mohou popálit kůži a poškodit oči a mohou i zahynout. Kupříkladu v Mexickém zálivu je nejvíce postiženým druhem louisianský státní pták pelikán hnědý (*Pelecanus occidentalis*) a terej bílý (*Morus bassanus*). Dalšími oběťmi bývají převážně mořské želvy, delfíni i pobřežní či brodivý ptáci (www.deník.cz).

Podle Blažka a Rábla (2006) by se při uniknutí ropy a ropných látek měli provést následující činnosti:

- Zastavení úniku ropných látek
- Zamezení šíření kontaminace

- Zachycení a odklizení ropných látek
- Likvidace zachycené ropné látky ekologicky šetrným způsobem

2.1.4 Radioaktivní odpady

Radioaktivní odpady neboli odpady z jaderné energetiky, jsou specifickým druhem odpadů. Těmito odpady se rozumějí látky, předměty nebo zařízení, které obsahují radionuklidy nebo jsou jimi kontaminované, které nemají další využití. Většina (90 %) vyprodukovaných radioaktivních odpadů jsou odpady nízkoaktivní a méně než 1 % jsou tzv. vysokoaktivní odpady, které jsou v podobě zbytků jaderného paliva.

Vysokoaktivní odpady jsou přechodně skladovány, než se zřídí konečná hlubinná úložiště s možností budoucího přetvoření na znovu použitelné palivo. Nízkoaktivní, popřípadě středně aktivní odpady se skladují do přípovrchových úložišť (Mečislav, 2014).

Existuje mnoho metod, jak klasifikovat radioaktivní odpady. MAAE (Mezinárodní agentura pro atomovou energii) vydala v roce 1994 dokument pro klasifikaci radioaktivních odpadů.

Tabulka 2.3 Klasifikace radioaktivních odpadů podle doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii (Dlouhý, 2009)

Kategorie	Charakteristika	Doporučený typ úložiště
Odpady potenciálně uváděné do životního prostředí	Roční dávka připadající na vrub ozáření jednotlivce z obyvatelstva musí být nižší nebo rovna efektivní dávce 0,01 mSv	Žádné omezení
Nízko a středně aktivní odpady	Aktivita radionuklidů je natolik nízká, že při jejich ukládání není nutno brát v úvahu vznik rozpadového tepla	Přípovrchové
a. Nízko a středně aktivní odpady krátkodobé	Obsahují radionuklidy o poločasu přeměny menším než 30 let a měrná aktivita dlouhodobých nuklidů nepřesahuje 4000 Bq/g v jednotlivé obalové jednotce, resp. 400 Bq/g jako průměr pro celé úložiště	Přípovrchové
b. Nízko a středně aktivní odpady dlouhodobé	Měrná aktivita dlouhodobých radionuklidů přesahuje limity uvedené v a.	Hlubinné
Vysoce aktivní odpad	Aktivita radionuklidů je tak vysoká, že při jejich ukládání je třeba brát v úvahu vznik přeměnového tepla. Hranicí je hodnota tepelného výkonu 2 kW/m ³	Hlubinné

MAAE následně vydala druhý dokument v roce 2009, který přesně popisuje druhy radioaktivních odpadů a rozděluje je do šesti skupin:

- Odpady s nižší radioaktivitou, než jsou uvolňovací úrovně
- Krátkodobé odpady
- Velmi nízko aktivní odpady
- Nízko aktivní odpady
- Středně aktivní odpady
- Vysoce aktivní odpady (www-pub.iaea.org).

2.1.5 Odpady z energetiky

Energetika je značně významnou součástí hospodářství v každém státě. Dělíme ji na odvětví elektroenergetiky, uhelného průmyslu, plynárenství, těžby a zpracování uranové rudy, ropy a teplárenství. Tento průmysl vytváří rozsáhlé množství odpadů, jejichž složení je podmíněno použitou výrobní technologií příslušné energie. U nás se jedná především o produkty, jako jsou například struska, popílek a škvára (Kizlink, 2007).

Rostoucí životní úroveň obyvatel způsobuje, že se zvyšuje spotřeba komodit a energie, tím se zvyšuje růst průmyslové výroby, výroby energie ale především problémy, které přichází s narůstajícím množstvím odpadů.

Nekvalifikované zacházení s odpadními látkami představuje ztrátu drahocenné suroviny a plnění skládek, které byly původně určeny pro zatím nevyužitý odpad.

Informační systém odpadového hospodářství poskytl informace o roční produkci odpadu z energetiky (rok 2003), ta se pohybuje okolo 6,5 mil. tun. Český statistický úřad uvádí pro rok 2003 produkci tohoto odpadu pohybující se okolo 5,2 mil. tun (Kolářová et al., 2005).

2.1.6 Odpady ze zemědělství a lesnictví

V minulosti byla zemědělská výroba systematizovaná jako bezodpadové hospodářství. Zvířecí exkrementy a rostlinné zbytky, které se využívají jako hnojivo nebo krmivo nebyly považovány za odpad, jelikož je bez těchto hmot nepředstavitelné udržovat či zlepšovat úrodnost půd. Do jisté míry toto platí i v současné době, a proto by za odpad v zemědělství měly být považovány pouze tzv. bilanční přebytky, které tvůrce nebude využívat. Z organizačně ekonomického hlediska lze slámu, hnůj a jiné zemědělské odpady považovat za meziprodukty nebo vedlejší produkty. I v současné době

je většina zemědělských podniků bezodpadovým hospodářstvím s uzavřeným koloběhem látek: půda – krmivo – zvíře – exkrement – půda.

Odpady z chovu hospodářských zvířat, jako jsou například kejda, hnůj, chlévská mrva a močůvka se využívají pro udržování a zlepšování kvality půdy. Nelze je tedy pokládat za odpady ale za hnojiva, která však mají jen omezené využití vzhledem ke své kvalitě. Mohou být kupříkladu infikována choroboplodnými zárodky.

Rostlinné tkáně a část rostlin lze jen výjimečně považovat za odpad. Tyto hmoty se využívají kupříkladu jako krmivo a stelivo hospodářských zvířat, ke kompostování pro zúrodnění půd, jako organické hnojivo apod.

Žádoucím postupem přeměny zemědělských odpadů jsou brikety. Cílem briketování je využití obtížně využitelných materiálů a komprimovat je na pevné palivo, které lze spalovat jako dřevo nebo dřevěné uhlí.

Dalším využitím zemědělských odpadů je výroba bioplynu, který lze využít jako palivo ve spalovacích motorech. Je možné využít všelijaké zemědělské odpady, jako jsou například sláma, odpady z potravinářského průmyslu, uhynulá zvířata, chlévská mrva a další materiály.

V podnicích, které zpracovávají dřevo, vzniká množství kůry, která se pak využije především při kompostování jako náhrada rašeliny nebo překryvný substrát k mulčování. Odřezky, piliny a hobliny se zhodnocují energeticky, pokud nejsou kontaminovány škodlivinami, jako jsou například lepidla a laky. Pokud jsou kontaminovány, spalují se s dalšími nebezpečnými odpady z impregnace dřeva v zařízeních na odstranění nebezpečných odpadů (Mečislav, 1994).

2.1.7 Stavební a demoliční odpady

Dle vyhlášky č. 93/2016 Sb. v Katalogu odpadů, jsou stavební a demoliční odpady zařazeny do skupiny 17 Stavební a demoliční odpady. Jeho podskupiny jsou:

- 17 01 Beton, cihly, tašky a keramika
- 17 02 Dřevo, sklo a plasty
- 17 03 Asfaltové směsi, dehet a výrobky dehtu
- 15 05 Zemina (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst), kamení a vytěžená hlušina
- 17 06 Izolační materiály a stavební materiály s obsahem azbestu
- 17 08 Stavební materiál na bázi sádky znečištěné nebezpečnými látkami
- 17 09 Jiné stavební a demoliční odpady (Vyhláška č. 93/2016 Sb.)

Do podskupiny stavebních a demoličních odpadů (SDO) není počítána již podskupina 17 04 Kovy. Byla vyčleněna na základě rozhodnutí skupiny ustanovené odborem odpadů Ministerstva životního prostředí (Trnková, 2016).

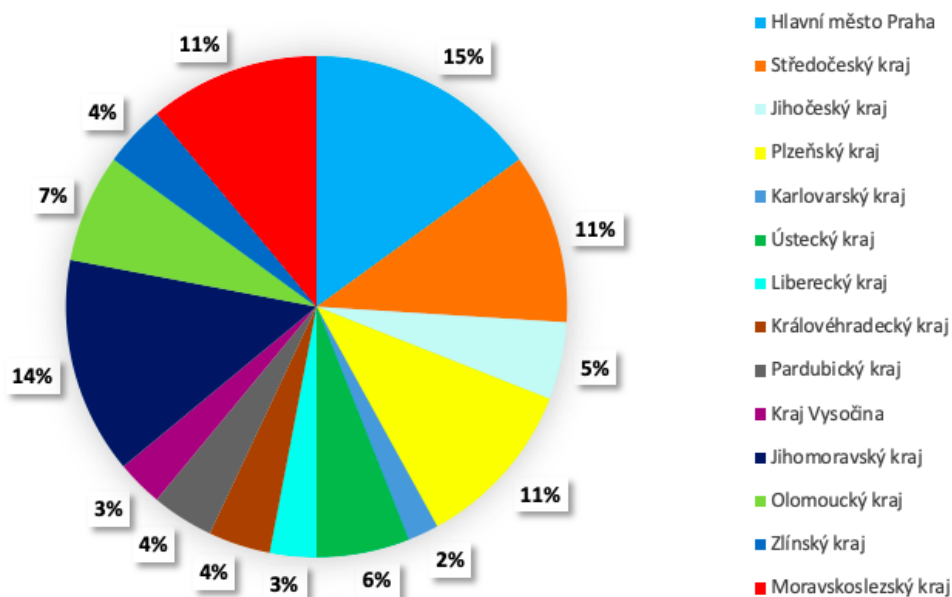
Za stavební odpady (SO) se obvykle mají relativně čisté, heterogenní materiály, které vznikají z různorodých stavebních činností. Kvalita a množství stavebních materiálů z různých projektů se odlišují v závislosti na okolnostech projektu a používaných materiálech. Stavební odpady představují významný podíl v celkovém množství odpadů. Pro přehlednost lze SO rozdělit do čtyř základních skupin s podílem jejich orientačního zastoupení ve stavebním odpadu:

- a) Výkopová zemina (65-75 %)
- b) Materiál z demolice vozovek (10-15 %)
- c) Demoliční stavební minerální suť (5-20 %)
- d) Odpady ze stavenišť (5-15 %)

Za demoliční odpady se rozumí heterogenní směsi stavebních materiálů, jako jsou například agregáty, beton, dřevo, kovy apod., které bývají často kontaminovány barvami, adhesivními látkami, omítkou, jiným pokrytím stěn a nečistotami. Vznik těchto odpadů závisí na kompletním či selektivním odstraňování existujících stavebních struktur nebo důsledku přírodních katastrof, jako jsou záplavy, zemětřesení, popřípadě díky renovačním pracím. Množství a složení těchto odpadů závisí na struktuře a typu demolovaných objektů, dále na tom, jaké jsou použity typy stavebních materiálů a jak starý je demolovaný objekt.

Stavebním a demoličním odpadem se tedy rozumí odpad, který vzniká při zřizování staveb, jejich údržbě a změnách dokončených staveb a také při odstraňování staveb. Produkce stavebních a demoličních odpadů je tedy závislá na rozsahu stavebních činností, které jsou realizovány v určitém území nebo kraji. Nejvýznamnější roli v celkové produkci mají především podskupiny 17 01 (beton, cihly, tašky a keramika) a 17 05 (Zemina, včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst, kamení a vytěžená hlušina) dle Katalogu odpadů.

Celková produkce stavebních a demoličních odpadů v jednotlivých krajích České republiky za rok 2015, je znázorněna v následujícím grafu:



Graf 2.1 Produkce stavebních a demoličních odpadů v krajích české republiky za rok 2015 (www.mzp.cz)

Svou velikostí a výstavbou má největší podíl na produkci stavebního a demoličního odpadu hlavní město Praha a Jihomoravský kraj. Dále s větším podílem následují Středočeský, Plzeňský a Moravskoslezský kraj. Nejméně se podílí Karlovarský, Liberecký kraj a kraj Vysočina.

2.2 Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady

Aby se Evropa stala skutečnou „recyklující společností“, je třeba výrazně zlepšit nakládání se stavebními a demoličními odpady. A to především tím, že vzniku odpadu budeme předcházet a podpoříme recyklaci využitelných materiálů ze stavebních a demoličních odpadů. Je to zásadní krok z hlediska udržitelnosti a kvality našeho života, protože právě tyto odpady představují hmotnostně velkou část produkce všech odpadů (až 30 %) a to jak v České republice, tak i v ostatních zemích EU (Evropské unie). Proto je problematika nakládání s nimi stále velice aktuální.

Ministerstvo průmyslu a obchodu zveřejnilo v listopadu 2018 *Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady*. Je to vlastně doporučený návod na podporu recyklace využitelných materiálů ze stavebních a demoličních odpadů (SDO) a návod, jak zajistit kvalitu těchto recyklovaných materiálů.

Jednou ze společných překážek recyklace a opětovného použití SDO v EU je nedůvěra v kvalitu recyklovaných SDO. Vzniká i nejistota ohledně možného zdravotního rizika pro pracovníky, kteří recyklovaný materiál používají. A právě nedůvěra

snižuje poptávku po recyklovaných SDO. Tím brání v rozvoji infrastruktury pro nakládání se SDO a jejich recyklaci v EU.

Cílem *Protokolu* je zvýšit důvěru v postupy nakládání se stavebními a demoličními odpady, zvýšit kvalitu recyklovaných stavebních a demoličních odpadů a posílit důvěru v kvalitu recyklovaných stavebních a demoličních odpadů s ohledem na udržitelnost odvětví stavebnictví. Protokol byl vypracován pro použití ve všech 28 členských státech Evropské unie a popisuje jednotlivé kroky nakládání s SDO včetně příkladů praxe z členských států EU. Správně zvolené postupy řízení kvality pak zajistí dodavatelům kontrolu jednotlivých postupů a kvalitu výsledných výrobků. Tohoto cíle bude dosaženo, když selepší:

- a) třídění, sběr a identifikace odpadů (audity před demolicí a zároveň plány nakládání s odpadem), řízená dekonstrukce, zpracování na místě
- b) logistika odpadů (sledování toku odpadů, vhodná přeprava, mechanické i nemechanické třídění, dobrá organizace)
- c) kvalita zpracování odpadů (skládkování, zasypávání, ukládání nebezpečných odpadů, čištění, recyklace, třídění)
- d) zajištění řízení kvality (audity před demolicí a plán nakládání se SDO, správa pracoviště, školení pracovníků, zabezpečení vhodného vybavení, dobré pracovní podmínky, bezpečnost práce)
- e) vhodná politika a rámcové podmínky (zákazy nebo omezení provozu skládek, zasypávání, terénní úpravy, regulace s nakládáním SDO, prosazování předpisů ve stavebnictví, veřejné zakázky, povolení zařízení pro recyklaci, zapojení veřejnosti).

K neméně důležitým přínosům Protokolu patří:

- a) Vyšší poptávka po recyklovaném stavebním a demoličním materiálu;
- b) Podporování stávajících i nových podnikatelských činností v oblasti infrastruktury odpadů;
- c) Sjednocování trhů EU s recyklovaným stavebním a demoličním materiálem;
- d) Zhotovování spolehlivých statistik o stavebních a demoličních odpadech v celé EU;

-
- e) Zmenšení dopadu na životní prostředí a příspěvek k efektivnějšímu využívání zdrojů.

Cílové skupiny Protokolu zúčastněných stran:

- a) Odborníci z praxe ve stavebním odvětví;
- b) Veřejné orgány na místní, národní i evropské úrovni a orgány pro certifikaci kvality staveb;
- c) Odběratelé recyklovaných SDO (www.mpo.cz).

2.2.1 Zásady Protokolu EU

Dle Protokolu EU by měly tyto zásady pomáhat s řešením problémů, které by mohly nastat:

- 1) Tržní přístup a podpora schopnosti konkurence.
- 2) Plná odpovědnost odborníků z praxe a podpora tvůrců politik.
- 3) Transparentnost a dohled nad celým procesem nakládání se stavebními a demoličními odpady.
- 4) Zajistit úroveň kvality celého procesu nakládání s odpady – podpora certifikace a auditů v průběhu celého procesu.
- 5) Pro nakládání se stavebními a demoličními odpady je důležité místo i okolí projektu a jeho vzdálenost. Recyklace je lépe proveditelná v oblastech s vyšší hustotou obyvatelstva. Musíme zohlednit i geografickou rozmanitost a druh stavby.
- 6) Dodržování pravidel pro ochranu životního prostředí, zdraví a bezpečnosti. Bylo by nesmyslné podporovat recyklaci tam, kde by to životní prostředí, zdraví a bezpečnost ohrožovalo.
- 7) Vést statistiky a údaje o celém procesu nakládání se stavebními a demoličními odpady. Umožní to i srovnání mezi státy EU. Je důležité používat pro různé skupiny SDO společnou terminologii.

2.2.2 Identifikace, třídění a sběr odpadů

Na počátku procesu nakládání se stavebním a demoličním odpadem je nutná správná identifikace, třídění a sběr. Před zahájením jakéhokoli projektu, kde mají být opětovně použit nebo recyklován materiál, musí být proveden před demoliční audit. Ten pomáhá identifikovat vznik stavebních a demoličních odpadů a řídí postupy demontáží a demolice. Audit zajistí i bezpečnost pracovníků, pomůže zvýšit množství materiálu k opětovnému použití. Před demoliční audit provádí kvalifikovaný odborník, který má přesné znalosti o stavebních materiálech, postupech i historii stavby. Je obeznámen s demoličními postupy, zpracováním odpadů a s místními trhy, které by měl zohlednit pro stavební a demoliční odpady.

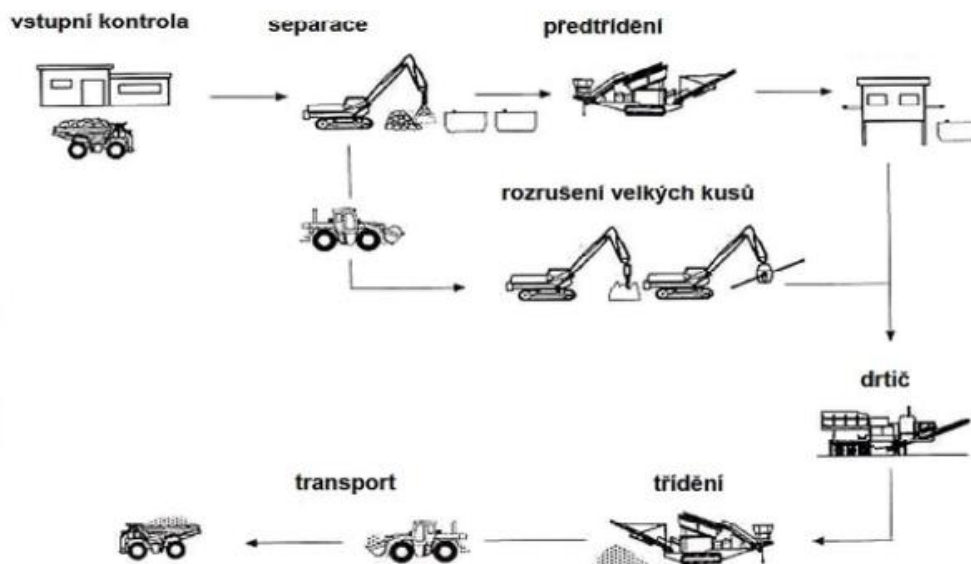
Dalším krokem ke správnému nakládání s odpady je třídění. Čím je třídění stavebních a demoličních odpadů kvalitnější, tím je recyklace efektivnější a kvalitnější. Při třídění musíme rozlišovat materiály s ohledem na možnost jejich úpravy. Je důležité, jestli budeme materiál opětovně používat, recyklovat, spalovat nebo likvidovat (ec.europa.eu).

2.2.3 Logistika odpadů

Vzdálenost pro přepravu stavebního a demoličního odpadu by měla být co nejkratší. Sypké materiály jako je kamenivo pro stavební účely (asfalt, beton atd.) lze přepravovat po silnicích maximálně do 35 km. Delší vzdálenost by byla efektivní pouze přepravou vlakem nebo lodí. Pomoc přináší informační technologie. Existuje speciální software, který naplánuje trasu převozu s minimální spotřebou paliva.

Efektivní je také využití sběrných boxů nebo stanic přepravy odpadů. Jejich cílem je stabilizovat odpad z různých sběrných míst, popřípadě zajistit třídění a recyklaci. Důležité je také zajistit celistvost materiálu od demontáže až po recyklaci. Třeba u recyklace skla je důležitá čistota kontejnerů na sklo. Pokud by se sklo dávalo do kontejnerů se zbytky betonu, nebylo by již k recyklaci vhodné.

Abychom mohli stavební a demoliční materiál znovu použít, je nutné jeho řádné uskladnění. Je to výhodné zejména při větších místech demolice (letišť, průmyslové podniky, panelové domy atd.). Doba skladování je omezená: 1 rok před likvidací a 3 roky před recyklací (www.mpo.cz).



Obrázek 2.1 Technologické schéma procesu recyklace stavebních odpadů (www.ARSM.cz)

2.3 Odpady v současnosti využívané při výstavbě

2.3.1 Využití stavebních a demoličních odpadů

Z hlediska výrobce recyklátu jsou možné dvě základní cesty k uplatnění recyklátu na trhu:

- a) **Jako upraveného odpadu**-při deklaraci recyklátu jako upraveného odpadu se na vzniklý recyklát nevztahuje zákon č. 22/1997 Sb., ale zároveň má odběratel takového typu recyklátu dle zákona o odpadech jednoznačnou povinnost vlastnit udělený souhlas od krajského úřadu k nakládání s odpady.
- b) **Jako výrobku**-z logiky věci, by se měl recyklát SDO považovat za výrobek a takto být deklarován. Je to zcela zřejmé ze zájmu jak odběratele a uživatele, tak také producenta recyklátu.

Cihelný recyklát

Tento recyklát, která vzniká při demolici a následně se recykluje, se skládá hlavně z cihelných a keramických zbytků a to z 60 %, dále pak přibližně 30 % tvoří zbytky omítek a malt.

Produktem recyklace je recyklované kamenivo, charakteristické jako kamenivo z drceného zdiva (Rb), ze kterého je odstraněno významné množství cizorodých částic a je použitelné jako plnivo stavebních směsí. Další možností je recyklovaná stavební suť, která jako demoliční materiál obsahuje úlomky cihel, popřípadě i betonu a rozmělněného ztvrdlého maltového pojiva a cizorodých částic. Stavební suť je značně nehomogenní a využívá se pro zásypy liniových staveb.

Dalším způsobem využití jsou kusové cihlářské výrobky. Nejedná se zde o recyklaci myšlenou jako drcení a třídění, ale získání použitých cihlářských prvků z demolic. Jedná se o prvky, které se dají znovu použít, jelikož nebyly porušeny. Může se jednat například o střešní krytiny, cihelné kvádry a příčkovky nebo stropní vložky a desky.

Dále je tu možnost výroby cihlobetonu. Tato možnost je v dnešní době již experimentálně i prakticky ověřena. Cihlobeton je možné díky svému tepelnému odporu použít pro výrobu monolitických ztužujících stropních věnců, překladů, příček, průduchů, výplňového zdiva (tepelně izolační vrstva) apod. Nevýhodou cihlobetonu je větší nasákavost.

Cihelný recyklát, který má maximální velikost zrna do 4 mm, lze využít pro výrobu stavebních malt s pojivem, kterým je především portlandský cement CEM I či CEM II. Primární možností je použití pro spojení staveních prvků a dílců, která mají větší tepelný odpor (www.ARSM.cz).

Betonový recyklát

Betonový recyklát je nejžádanějším kvalitním výrobkem, který je získaný ze stavebního a demoličního odpadu, patřící do skupiny 17 01 01. Jedná se především o drcený a tříděný betonový recyklát, který je vhodný zvláště jako kamenivo pro stavební účely. Nejrozšířenější a vědecky nejpropracovanější způsob využití je výroba betonů, malt a různých konstrukčních prvků.

Recyklovaný beton lze využít jako kamenivo do betonu. Recyklovaný beton je roztríděný do frakcí, které jsou dané normovou sadou sítí ale bez frakce 0-4 mm. Poté je dle návrhu složení betonové směsi zpracován. Recyklovaný beton je osvědčený, protože je vhodný pro výrobu betonu a také výrobu konstrukčních prvků, jako jsou například konstrukční betony, výplňové betony, prostý a slabě vyztužený beton apod.

Betonový recyklát malé frakce 0-4 mm je možné použít pro výrobu zdících malt a malt jednoduchých na užité vlastnosti, jako jsou například tepelně izolační vlastnosti nebo ochrana proti ohni. Dle použitých pojiv, lze vyrobit malty vápenné, vápenocementové, cementové, které mají pevnost 10 MPa (třída max. MC-10).

Asfaltový recyklát

Možnost využití asfaltového recyklátu je v odvětví silnic a dálnic, možné pro výstavbu a opravy asfaltových vozovek. Možnost opravy asfaltových vozovek je již zakotvena v příslušných normách (Stavba vozovek – hutněné asfaltové směsi). Do konstrukce

netuhých vozovek se využije frakce 0-4 mm a pro šterkodrtě frakce až do 63 mm. V obalovnách je tento materiál v určitém poměru promísen s přírodním kamenivem.

Odpady z přírodního kamene

Při výrobě a těžbě kameniva dochází k produkci nevyužitých odpadů – tzv. odvalů. Využití těchto materiálů bylo odzkoušeno v roce 2008 Ústavem pozemních komunikací, VUT v Brně do pozemních komunikací. V dnešní době je v TP 210 zpracováno jejich využití pro nestmelené směsi, které jdou do podkladních vrstev jako vrstva MZK (mechanicky zpevněného kameniva), dále jako vrstva šterkodrtí nebo vrstva mechanicky zpevněné zeminy (Škopán, 2011).

2.3.2 Další výrobky z recyklátu použitelné v pozemních stavbách:

Mezi recyklované výrobky, které se využívají ve stavebnictví, patří odpady z cementotřískových desek. Tyto odpady využívá například firma ASTING CZ, která se zaměřuje na pasivní a nízkoenergetické domy. Jako hlavní produkt má stěnové ztracené bednění s oboustrannou tepelnou izolací NEOPOR. Je zde použit pěnový polystyren, který obsahuje grafit jako tepelný izolant. Tento materiál má ale špatné mechanické vlastnosti. Jednu stranu tepelné izolace tedy nahradili cementotřískovou deskou, která umožňuje lepší akumulaci tepla do betonové stěny. Díky malým rozměrům používají nevyužitě odřezky, která vznikají při výrobě cementotřískových desek (Melo, 2013).

Dále jsou využívány sádkartonové desky vyrobené z recyklovaného papíru. Tyto desky mohou obsahovat 10% sádry z výrobního odpadu, odřezků a zbytků desek ze stavenišť.

Dalším velmi známým výrobkem je červená antuka. Tato antuka je vyrobena drcením odpadních keramických zdících prvků a střešních tašek. Antuka se využívá především pro tenisové kurty, atletické dráhy, volejbalové kurty. Mezi její vlastnosti patří pórovitost, propustnost vody a pružnost (www.antuka.com).

Využívají se také betony nebo prefabrikované prvky s využitím recyklátu jako náhrady za přírodní kamenivo, Panely Ecophon – to jsou akustické panely vyrobené ze skelné vlny 3. generace, plastová okna ALUPLAST, která využívají ve svých profilech tzv. regenerát.

Replast je největší zpracovatel kabelového PVC na světě, který vyrábí podlahové desky nebo komponenty pro dopravní značení ze 100 % recyklovaného materiálu (www.recyklujmestavby.cz).

2.4 Problematika nebezpečných stavebních odpadů

Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., Vyhláška č. 381 Ministerstva životního prostředí ze dne 17. října 2001 charakterizuje a rozděluje nebezpečný odpad a stanovuje Katalog odpadů, dále Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a také postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu.

Za nebezpečný odpad se má odpad, který vykazuje jednu či více nebezpečných vlastností, které jsou uvedené v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů. V následující tabulce je přehled těchto vlastností:

Tabulka 2.4 Přehled nebezpečných vlastností odpadu (Zákon č. 185/2001 Sb.)

Nebezpečné vlastnosti odpadu	Kód
Výbušnost	HP1
Oxidační schopnost	HP2
Vysoká hořlavost	HP3-A
Hořlavost	HP3-B
Dráždivost	HP4
Škodlivost zdraví	HP5
Toxicita	HP6
Karcinogenita	HP7
Žíravost	HP8
Infekčnost	HP9
Teratogenita	HP10
Mutagenita	HP11
Schopnost uvolňovat vysoce toxické plyny ve styku s vodou, vzduchem nebo kyselinami	HP12
Schopnost uvolňovat nebezpečné látky do životního prostředí při odstraňování	HP13
Ekotoxicita	HP14
Odpad schopný vykazovat při nakládání s ním některou z výše uvedených nebezpečných vlastností, kterou v době vzniku neměl	HP15

Nebezpečný odpad je také odpad, který je smíchaný nebo znečištěný některým z uvedených nebezpečných odpadů v Katalogu odpadů.

U stavebních odpadů se za nebezpečné považují odpady znečištěné nebezpečnými příměsemi jako jsou barvy, oleje, ropné látky, obaly od těsnících hmot apod., dále produkty, které obsahují PCB (polochlorované bifenyly), také výrobky obsahující dehet a stavební materiál obsahující azbest.

2.4.1 Stavební odpad obsahující azbest

Azbest (česky osinek) patří mezi nejznámější a nejtoxičtější stavební materiál. Jedná se o vláknitý materiál, který byl dříve hojně používán v průmyslovém měřítku v 19. století. Hlavní typy azbestů jsou známé jako skupina:

- Serpentinů (Chryzotil – tzv. bílý azbest)
- Amfíbolů (Amozit – tzv. hnědý azbest, Krokydolit – tzv. modrý azbest, Antofylit, Tremolit, Aktinolit)

Mezi jeho typické fyzikální a chemické vlastnosti patří nehořlavost a žáruvzdornost, proto se hojně používal pro tvorbu hasičských ochranných pomůcek. Využíval se zvláště u vícepodlažních budov na izolační azbestové desky a azbestové nástříky. Azbest je velmi pevný, ohebný a dobrý pro výrobu stavebních látek, ale je také velmi špatný tepelný vodič. Azbest je možné roztavit při 1 100 – 1 500 stupních, to odpovídá tavnosti oceli. Je také odolný proti kyselinám, nemá žádnou chuť ani zápach.

Azbest je škodlivý, protože uvolňuje vlákna, která způsobují tzv. azbestózu, což znamená, že vdechnutím azbestových vláken způsobuje zaprášení plic, dušnost a následně i smrt.

Azbest se nejčastěji vyskytoval v těchto stavebních materiálech a výrobcích v minulosti vyráběných v České republice:

- Vlnitá střešní krytina různých velikostí
- Tvarovky, hřebenáče, střešní větrací prvky
- Izolační azbestové šňůry
- Tlakové a kanalizační roury a tvarovky
- Sendvičové desky s polystyrenem
- Zástěny, podložky lokálních zdrojů tepla
- Střešní krytina Eternit, Beronit
- Netkané textilie NETAS
- Izolační desky ID a IDK

-
- Desky Pyral
 - Asfaltové desky ASBIT
 - Nástřikové hmoty Pyrotherm (Stárková, 2005)

2.4.2 Likvidace azbestu

Nejdříve je nutné zjistit, jestli stavební látky obsahují azbest, azbestová vlákna nebo další nebezpečný odpad, poté je možná samotná demolice. Před samotnou realizací je nutné provést analytický rozbor na elektronovém mikroskopu, který stanovuje negativní nebo pozitivní nález.

Specifickým postupem je likvidace staveb, které obsahují azbestové prvky. Existují různé postupy, které jsou zaměřeny na odpad obsahující azbest nebo azbestová vlákna. Existují varianty pro diagnózu nebezpečných látek:

První variantou je vizualizace bez odebrání vzorků, kdy je již při prohlídce zjištěný vizuální nález nebezpečných stavebních materiálů. Nález se potvrdí a doporučí další postup.

Druhou variantou je laboratorní vyhodnocení z odebraných stavebních vzorků. Na základě vyhodnocených výsledků je dále zpracován technický náčrtek, ve kterém jsou uvedena místa odběrů v případě, že byl nález azbestu pozitivní a dále také odhad množství. V nezbytném případě se přeměřují poletující azbestová vlákna uvnitř prostředí.

Průzkumní pracovníci odborně posoudí a navrhnou sanační zásah k rizikům uvolnění azbestových vláken do okolí, dle zjištěných výsledků a zpracovaného technického náčrtu. Dále je zpracována stavební dokumentace, ve které je vyhodnocení pracovních rizik na místě, kde probíhá sanace. Sanace azbestu je prováděna na základě znalostí a výzkumu firem k tomuto určených, a to dle ochrany a bezpečnosti pracovníků a celého okolí.

Sanační prostor je nutno zajistit fólií vzhledem k rozsáhlým pracovním rizikům, dále je nutné zamezit unikání azbestových vláken do okolí tím, že se hermeticky uzavře prostor. To se provádí kouřovou zkouškou, kdy se celý prostor naplní umělým kouřem a je sledována účinnost provedených prací. Je nutno vše označit bezpečnostními tabulkami. Všechny rizikový materiál musí být při demontáži odstraněn a ve speciálních, neprodyšných dopravnících odvezen. Po sanaci je celá stavba mechanicky vyčištěna a tím dojde k odstranění nebezpečných prašných částic, které se mohou

v místě sanace nacházet. Speciální měřicí technika pomůže k následnému monitorování a zjištění výsledků sanace.

Od roku 1983 existuje šetrnější technologie likvidace azbestu, které chemickou cestou zapouzdří samostatná vlákna a tím se zabrání jejich uvolnění a poletování. Pokud to podmínky dovolí, nechá se azbest na stejném místě, kde byl zapouzdřen a dále obložen. Tato metoda je šetrnější, jelikož se s azbestem nemanipuluje, ale nedá se použít vždy. Tato technologie byla značně aplikována na budovách škol, nemocnic a administrativních budovách v USA (Vrňáková, 2017).

2.5 Domy s maximálním využitím odpadů „Earthship“

Tento typ staveb, který se nazývá Earthship, v překladu Zemělod' nebo Zemědům, navrhl americký architekt Michael Reynolds, majitel společnosti Earthship Biotecture v polovině 20. století v Taos v Novém Mexiku. Jedná se o soběstačnou stavbu, která je určená pro trvale udržitelné bydlení. Tato stavba sama zajišťuje obyvatelům teplo, pitnou vodu, elektřinu, jídlo pomocí přírodních zdrojů a vypořádá se i s bio odpadem, to znamená že nemusí být napojena na inženýrské sítě (www.youtube.com).

„Zemělodě lidem umožňují sledovat přírodní jevy, získávat své živobytí díky fyzice a biologii ze Země, nikoli od korporací firem nebo vlád. Vrátit bydlení do rukou lidem udržitelným způsobem.“ (Michael Reynolds, 2012)



Obrázek 2.2 Architekt Michael Reynolds (www.starty.cz)

Základem těchto staveb jsou převážně použité plechovky, PET láhve a pneumatiky, které jsou naplněny hlínou a přirozeně regulují vnitřní teplotu. Součástí stavby jsou také malé solární panely nebo větrné elektrárny. Místnosti jsou převážně tvarované do podkovy, tím se zvýší zisk tepelné energie na zimní měsíce.

„Ekonomie by neměla mít nic společného s živobytím. Výživa lidí přichází přímo ze slunce, ze země, z deště a je dostupná zcela odděleně od ekonomiky.“ (Michael Reynolds, 2012)

2.5.1 Zeměloď v České republice

Michael Reynolds postavil tento energeticky soběstačný dům z materiálu určeného pro smetiště na Sázavě v roce 2012, s pomocí občanského sdružení Zeměloď a dobrovolníků z celého světa. Hrubá stavba byla postavena za pouhých 21 dní. Výsledkem je dům s názvem Zeměloď Zeměnka a je to první ostrovní dům tohoto typu ve střední Evropě a je určený k testování v našich podmínkách. Spolek Zeměloď, který Zeměnku vlastní, pořádá přednášky a besedy, kde průběžně informují o získaných poznatcích. Celoročně pořádají prohlídky Zeměnky, včetně příměstských táborů, školních exkurzí, letních týdenních stavebních dílen a v zimních víkendových seminářů (www.zemelod.cz).



Obrázek 2.3 Zeměloď Zeměnka (www.zemelod.cz)

2.5.2 Stavba Zeměnky

Stavba je sestavena ze čtyř půlkruhových apsid se základem z železobetonové skořepiny. Skořepiny jsou obestavěny zídka z lahví od piva a severní stranu domu izolují pneumatiky, které jsou zasypány hlínou. V interiéru obytných místností je mezitím podpěrný systém. Střecha má vzhled bazénu a zachytává dešťovou vodu, která po odfiltrování odvedena do zasypané nádrže a přebytečná voda je vedena na zahradu. Odpadní voda je zde rozdělena na černou a šedou. Šedá voda lze po pročištění znovu použít na splachování toalety a tím se promění na vodu černou. Dvě boční apsidy propojilo skleněné průčelí a tím vznikl skleník pro rostliny na kanále s šedou vodou.

Na jižní straně jsou solární panely, která celoročně zásobují stavbu energií, která je uchovávána v krabici s bateriemi a střídačem (www.zpravy.aktualne.cz).

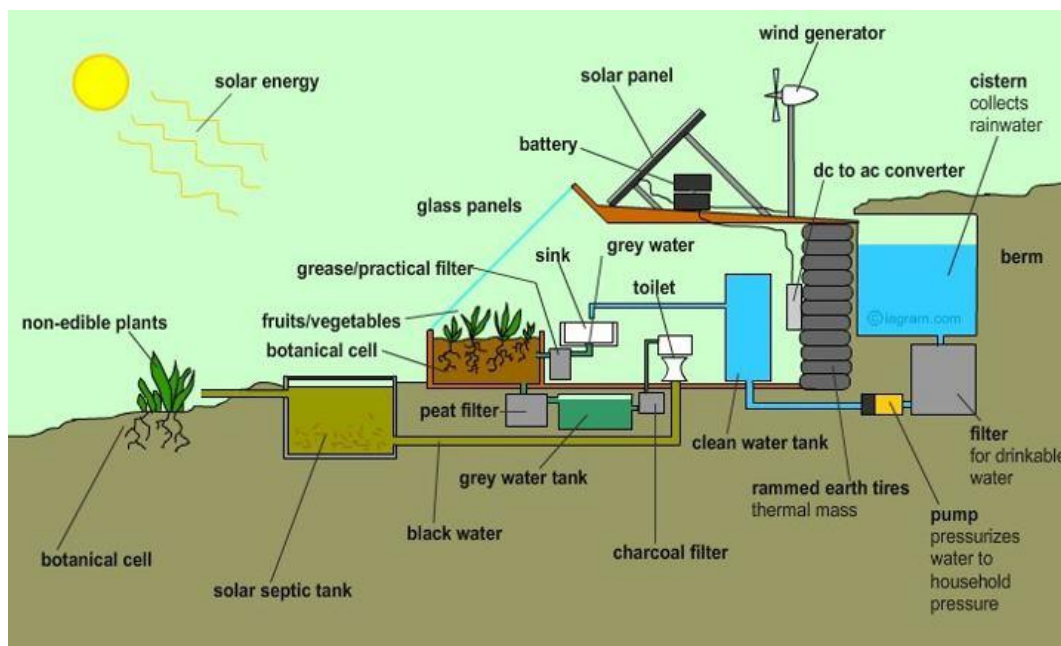


Obrázek 2.4 Zeměloď Zeměnka v průběhu stavby (www.zemelod.cz)

2.5.3 Provoz Zeměnky

Dešťová voda, která stéká ze střechy do nádrže je vedena přes solární ohřivače v okně, aby se zde dalo sprchovat teplou vodou. Voda ze sprchy prosakuje pod šterk, který je na podlaze a potrubím teče do botanické buňky kde protéká šterkem a většími kameny. Na vrchu je vrstva hlíny, v níž rostou rostliny. Po spuštění kohoutku na toaletě pumpa načerpá vodu ze sprchy, která je vyčištěná rostlinami a lze spláchnout. Odpad z toalety je veden do vyhřívaného septiku, kde se vytváří domácí tekuté hnojivo. Potrubí ze septiku vede k venkovní botanické buňce.

V zimě stavba udržuje teplotu pomocí termo hmoty. Jde o fyzikální koncepci ukládání energie ve hmotě, jako je například ve skále. Po celém obvodu stavby jsou dva metry silné zdi z hmoty podobné kameni, které drží teplotu. Slunce ozáří tuto masu a uloží předané teplo do hmoty zdí. Poté v sobě uchovávají a korigují teplo i v zimním období (www.youtube.com).



Obrázek 2.5 Princip fungování Zeměloď (www.nenasilnealternativy.cz)

Překlad obrázku 2.5: Solar energy = solární energie, non-edible plants = nejedlé rostliny, botanical cell = botanická buňka, solar panel = solární panel, battery = baterie, glass panels = skleněné panely, grease/practical filter = praktický filtr, fruits/vegetables = ovoce/zelenina, solar septic tank = solární septik, peat filter = rašelinový filtr, black water = černá voda, grey water = šedá voda, sink = dřez, toilet = toaleta, charcoal filter = uhlíkový filtr, clean water tank = nádrž na čistou vodu, wind generator = větrný generátor, cistern = cisterna, rammed earth tires = pneumatiky – tepelná masa, pump = čerpadlo

2.5.4 Teploty v Zeměnce

Tabulka 2.5 Výběr teplot v Zeměnce v zimním období (www.zemelod.cz)

Datum	Venkovní teplota (°C)	Teplota ve východní místnosti (°C)	Teplota v západní místnosti (°C)	Teplota ve skleníku(°C)
29.11. 2012	2	19	13,5	14
29.12.2014	-8	19	11	9
25.11.2015	-5	20	13	12
29.11. 2016	-7,5	19,5	13	11
7.12. 2017	6	21	15	18
29.11. 2018	-9	19	14	9
22.3. 2020	2,7	21,5	13	19,1

2.5.5 Klady Zeměanky

- Vlastní zdroj elektřiny
- Vlastní zdroj vody a jejího čištění
- Vlastní zdroj potravy
- Vlastní zdroj tepla
- Vypořádání s bio odpadem přeměnou na tekuté hnojivo pro pěstování rostlin



Obrázek 2.6 Zdroj elektřiny ze solárních panelů (www.urbannext.net)

2.6 Nakládání se stavebními odpady ve státech EU

Nejlépe si mezi evropskými státy vede Francie. Ta pomocí aplikace nařízení o stavebních projektech určuje, jak identifikovat odpady z demolic a rekonstrukcí budov. Jedná se o budovy, jejichž plocha je větší než 1 000 m², a to platí pro každé podlaží či hospodářství nebo průmyslovou či komerční budovu, která byla v kontaktu s nebezpečnými látkami. Francie dále vyžaduje, aby původci odpadů podali doklad s uvedením přepravy odpadů, jejich původem a povahou. Tento doklad musí být předložen ještě předtím, než je odpad přijat do úpravárenského zařízení. Francouzská asociace pro demolici, vytvořila online platformu pro sledování stavebních a demoličních odpadů, a to elektronický systém Ivestigo. Cílem tohoto softwaru je usnadnit sledování a dodržování francouzských předpisů o odpadech pro společnosti. Francouzské ministerstvo pro udržitelný rozvoj začalo na jaře 2000 s výzkumem, který se týkal možnosti jednotného přístupu pro lepší využití alternativních materiálů v silničním stavitelství, které byly vyrobeny z odpadu.

Belgie založila pro řízení demoličních činností organizaci Tracimat. Organizace byla uznána veřejnými belgickými orgány a také pověřena tím, že může vydávat osvědčení o selektivní demolici. Tento typ osvědčení je určený pro konkrétní stavební a demoliční materiál, získaný na místě demolice, který prošel systémem sledování. Vytvořili také právně nezávadný nástroj BRL SVMS – 007 podporující kvalitní demoliční postupy. Zadavatelé, kteří tento certifikační systém zadávání objednávek použijí, mají zaručenou ekologickou a bezpečnou demolici na místě.

V Rakousku funguje podobný seznam stavebních a demoličních materiálů, které je potřeba odstranit z budovy, než začne demolice – dle rakouské normy ÖNORM B3151.

V Polsku vytvořili program, který má snížit množství azbestu v letech 2009–2032.

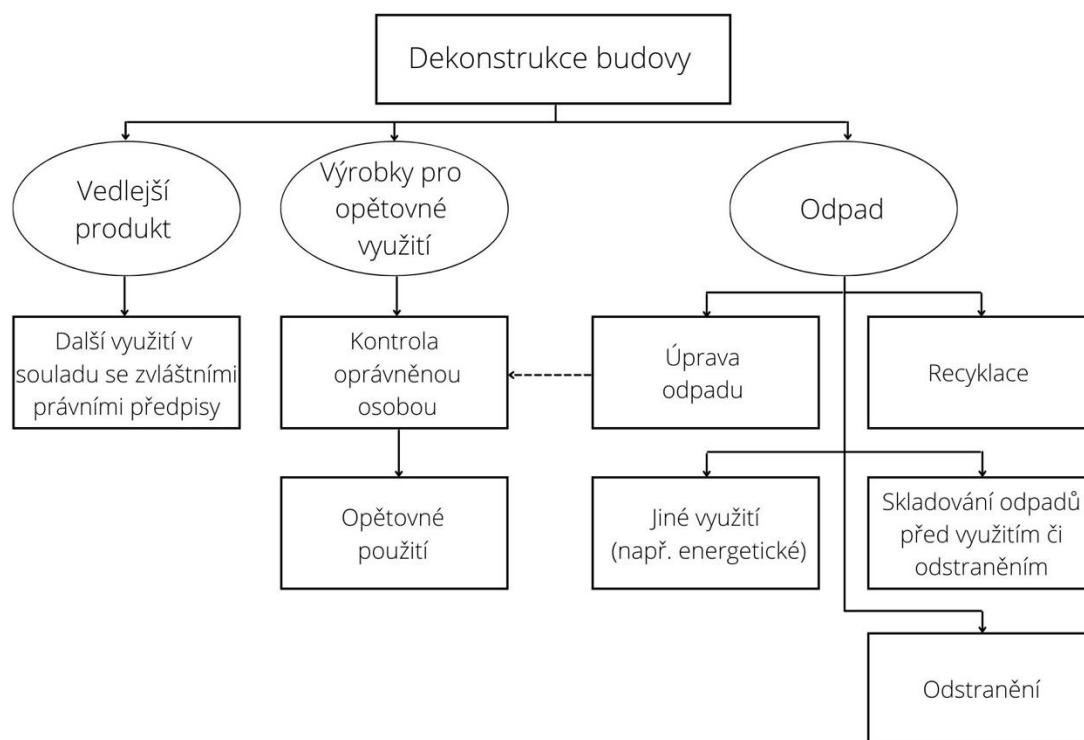
Itálie již od devadesátých let uplatňuje daň z písku, šterku a kamene. Společná vnitrostátní daňová sazba neexistuje. Všechny regiony místo toho uplatňují na 1 m³ vytěženého šterku, kamene a písku rozmanité sazby na úrovni provincií a obcí.

V Anglii se pokusili o opětovné použití stavebních materiálů na dočasném staveništi, kupříkladu olympijského parku z olympiády v Londýně roku 2012. Olympijský orgán Olympic Delivery Authority (ODA) vymezil obtížné cíle v oblasti udržitelnosti pro demolici. Před výstavbou Olympijského parku se muselo zbourat více než 220 budov, mostů, silnic a zdí. Na stavbu se podařilo znovu využít a recyklovat

1 666 908 tun stavebního odpadu. Tím došlo ke snížení oxidu uhličitého (CO₂) o 908 tun.

Také ve Švédsku byly publikovány pokyny pro nakládání se stavebními a demoličními odpady roku 2007 Švédskou stavební federací. V roce 2016 byla aktualizovaná verze Pokynů, která obsahuje normativní odvětvové texty pro určené procesy.

Evropské komise nachystala balíček opatření, který se týká oběhového hospodářství v oblasti zasypávání. Opětovné využití, recyklace, zasypávání SDO, které nejsou klasifikovány jako nebezpečné na seznamu odpadů, se měli do roku 2020 zvýšit na nejméně 70% hmotnosti ve všech členských státech. Souběžně s tímto balíčkem, začala fungovat vyhláška o SDO používaných pro zasypávání také v Bulharsku (www.mpo.cz).



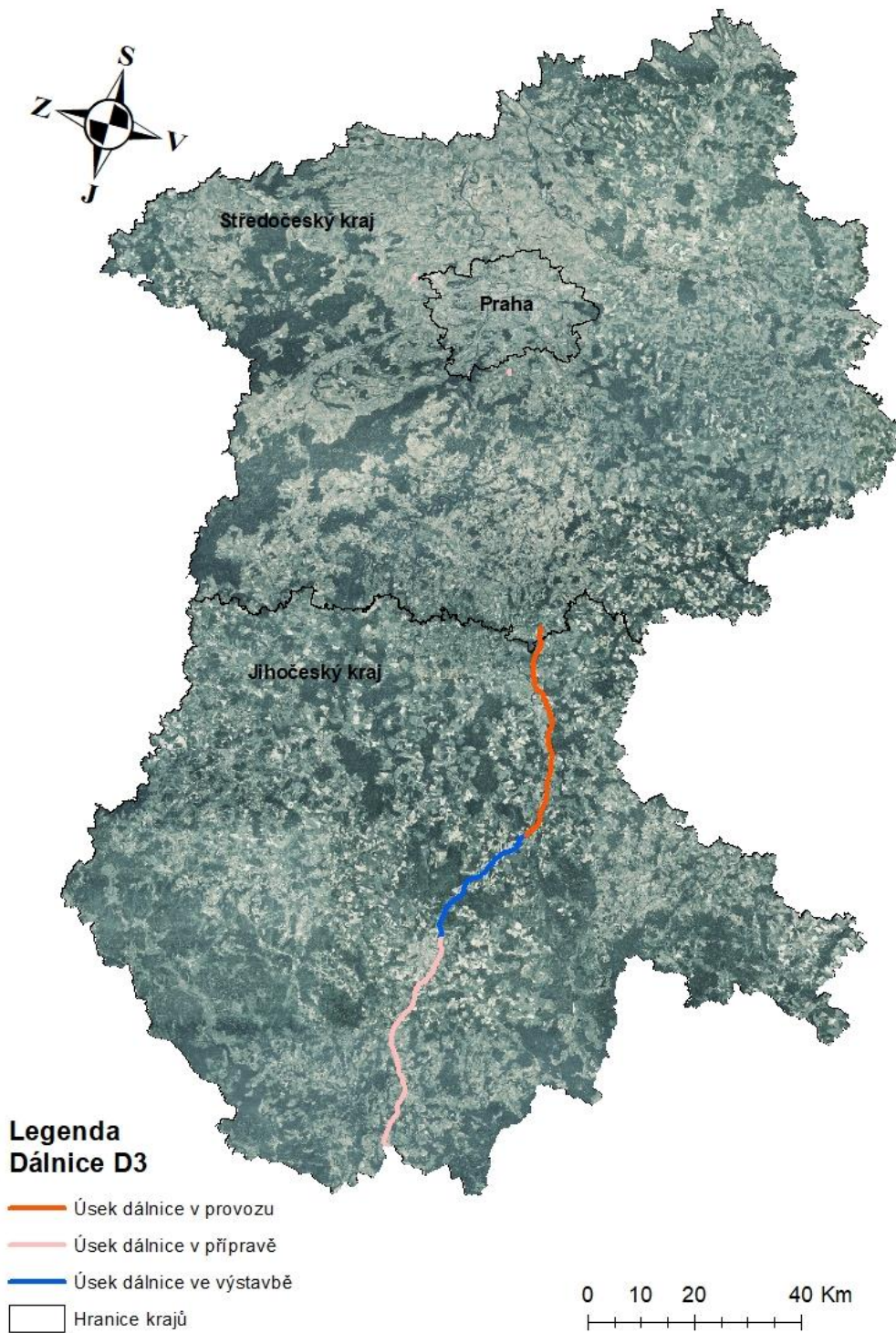
Obrázek 2.7 Schéma nakládání s odpady (www.recyklujmestavby.cz)

3 Metodika

3.1 Cíl práce

3.2 Materiál

Pro vypracování diplomové práce byla zvolena dálnice D3, úsek Staré Hodějovice – Roudné.



Obrázek 3.1 Mapa dálnice D3 (vlastní zpracování)

3.2.1 Dálnice D3

Dálnice D3 se nachází ve Středočeském a Jihočeském kraji (viz obrázek č. 3.2.1) a má celkovou délku 172 km. V současné době je v provozu jen 70 km, a to jsou úseky mezi Meznem a Úsilným na mapě vyznačeny oranžovou barvou. Rozestavěno je 20 km dálnice, úseky Úsilné – Hodějovice a Hodějovice – Třebonín, na mapě vyznačeny modrou barvou. Dále je 82 km v přípravě, na mapě vyznačeno starorůžovou barvou. Dálnice D3 začíná v Jesenici/ Zlatníky (zeměpisné souřadnice: 49°57'46" s. š., 14°29'48" v. d.) a končí v Dolním Dvořišti (zeměpisné souřadnice: 48°38'40" s. š., 14°27'17" v. d.). Dálnice D3 by měla být v Jihočeském kraji hotová k hranicím Rakouska do roku 2024. Dále pak dokončení dálnice D3 ve Středočeském kraji se odhaduje k roku 2028 (www.dalniced3.cz)

3.2.2 Stručná charakteristika okresů dotčených dálnicí D3

Praha – západ

Území okresu Praha – západ obklopuje ze západu a jihu hlavní město Prahu. Tento okres je nejmenším okresem ve Středočeském kraji s rozlohou 580, 63 km². Zároveň ale patří mezi nejlidnatější okres kraje. Můžeme zde najít hutnická centra a centra pro výrobu stavebních materiálů. Tento okres má ve Středočeském kraji výjimečné postavení, jelikož tvoří západní a jižní zázemí. Tento okres je zejména význačnou rekreační oblastí, je zde velká řada kulturních památek a zasahují sem i chráněné krajinné oblasti.

Benešov

Okres Benešov je mezním okresem Jihočeského kraje. Benešov patří svojí rozlohou mezi největší v kraji, naopak hustotou obyvatelstva k nejméně osídleným. Můžeme zde najít významná vodní díla, která jsou vytvořena na řekách protékajících tímto okresem. Například přehrady Švihov a Slapy znázorňují rezervoár užitkové vody, ale také jsou význačné svým rekreačním charakterem. Převažují zde stavební, průmyslové a maloobchodní oblasti. Tento okres je vzácný díky své přírodní rozmanitosti a také přírodními rezervacemi a chráněnými krajinnými oblastmi.

Tábor

Okres Tábor se nachází v severní části Jihočeského kraje. Počtem obyvatel patří Tábor mezi druhý nejlidnatější okres v kraji. Je zde zaznamenáno 25 000 ekonomických subjektů. Největší zaměstnanost je zde ve stavebnictví, a naopak nejmenší ve službách.

České Budějovice

Okres České Budějovice patří mezi nejlidnatější okres v Jihočeském kraji. Mezi nejhustěji osídlená města patří České Budějovice a Hluboká nad Vltavou. Nachází se zde přibližně 47 000 ekonomických subjektů, což tvoří třetinu celkového počtu v Jihočeském kraji. Charakteristickým znakem místní krajiny jsou vodní plochy a především rybníky. České Budějovice jsou hojně navštěvované díky svým památkám, přírodou a různými druhy pořádaných akcí.

Český Krumlov

Okres Český Krumlov se nachází na samotném cípu jižních Čech, a to na hranici s Rakouskem. Svou hustotou obyvatelstva se zařadil na poslední místo v kraji. Značnou část okresu tvoří Novohradské hory a Šumava. V tomto okrese je jen 15 000 ekonomických subjektů, tím okres velmi zaostává a nezaměstnanost zde patří k největším v celém kraji.

Mimo tyto uvedené okresy zasahuje obalová zóna dálnice D3 do území tří okresů a to Praha – východ, Jindřichův Hradec a Příbram. Dálnice D3 těmito okresy přímo neprochází ale z části zasahuje do obalové zóny (Dubovská, 2015).

3.2.3 Historie dálnice D3

V Československu byla základní síť dálnic schválena vládou v roce 1936. Roku 1987 byla tato síť doplněna o D3, trasa Praha – České Budějovice – Rakousko.

Po vzniku samostatné republiky vláda ČR potvrdila rozsah dálniční sítě České republiky a také odsouhlasila její výstavbu, a to do roku 2005 vládním usnesením č.631/93, které poté bylo několikrát aktualizováno. Dálnice D3 byla ponechána v této koncepci do roku 1996, kdy byla uskutečněna analýza trasy D3. Dále pak v souvislosti na tuto vypracovanou analýzu, odstranila vláda v únoru 1997 usnesením č.86/1997 dálnici D3 z plánu výstavby do roku 2005. Jenže v té době byla již zpracována předprojektová dokumentace téměř pro celou trasu dálnice. Následující přípravné práce včetně financování byly pozdrženy.

Roku 1999 se dálnice D3 znovu stala součástí koncepce stavby dálniční sítě ČR, podle strategického materiálu Návrh rozvoje dopravních sítí v ČR do roku 2010, který byl schválen vládou ČR usnesením č.741/1999. Díky této skutečnosti byla postupně znovu zahájena Ředitelstvím silnic a dálnic ČR investorská příprava samostatných staveb dálnice D3, a to včetně navazující rychlostní silnice R3 od zhodnocení vlivu samostatných staveb na životní prostředí (proces EIA), územní řízení až po sta-

vební povolení. Přesnou časovou posloupnost investorské přípravy samostatných staveb celého tahu probíhá závisle na schválení územně plánovacích dokumentací zároveň se snahou vyřešit dopravně nejkritičtějšími úseky současné silnice I/3 (www.dalniced3.cz).

3.2.4 Zpoplatněné úseky D3

Seznam zpoplatněných úseků s platností od 1. ledna 2021 je uveden ve Vyhlášce č. 480/2020 Sb. – Vyhláška o ožívání pozemních komunikací zpoplatněných časovým poplatkem. Dálnice D3 má zpoplatněny 3 úseky.

Tabulka 3.1 Zpoplatněné úseky dálnice D3 (Vyhláška č.480/2020 Sb.)

Označení	Úsek	Délka [km]
D3	Mezno – Čekanice → km 62 až exit 76	14
D3	Měšice – Veselí nad Lužnicí – sever → exity 79-104	25
D3	Veselí nad Lužnicí – jih – Úsilné → exity 107-131	24

Zpoplatněné úseky pozemních komunikací jsou stanoveny dopravními značkami:

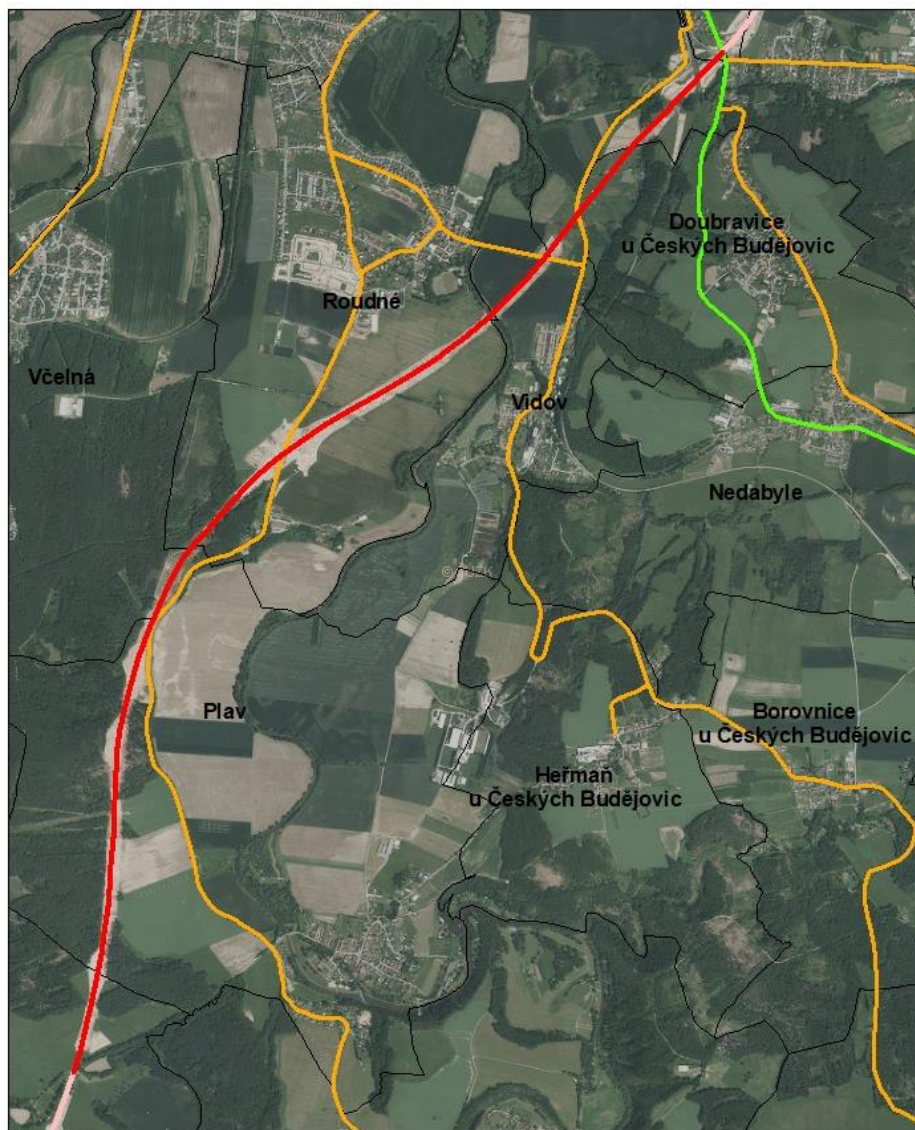
1. Dopravní značka „Dálnice“ a „Konec dálnice“. Tyto značky dle zákona č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů označují dálnice, jejichž užití je zpoplatněno mýtným a časovým poplatkem. Takto značené pozemní komunikace je možno využít motorovým vozidlem s největší povolenou hmotností 3,5 tuny a pouze, když uhradí časový poplatek (dálniční známka).
2. Dále na zpoplatněných pozemních komunikacích můžeme vidět dopravní značky „Dálnice“, které jsou ještě doplněny dodatkovou tabulkou „Bez časového poplatku“ či tabulkou „Bez časového poplatku a mýtného“. Tyto úseky je možno využít vozidlem bez nalepeného kuponu (dálniční známky) (Zákon č.13/1997 Sb.).

Od 1. 1. 2021 je však možné v Česku koupit dálniční známku i elektronicky. Státní fond dopravní infrastruktury ve spolupráci s Ministerstvem dopravy spustil systém elektronické dálniční známky. Tato možnost vznikla za účelem zjednodušení pořizování a využívání dálničních známek pro občany České republiky ale i řidičů ze zahraničí. Tuto elektronickou známku je možné koupit velmi rychlým způsobem, a to na internetu v e-shopu. Další možností zakoupení je v síti obchodních místo



či prostřednictvím samoobslužného kiosku. Postup zakoupení je velmi jednoduchý, vybere se druh elektronické dálniční známky (na rok, 30 dní či 10 dní), zadá se SPZ a zemi registrovaného vozidla. Dále se vybere začátek platnosti této známky a zaplatí se. A to je celé. Dohled v silničním provozu zajišťují Policie ČR a také Celní správa ČR (www.edalnice.cz).

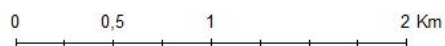
3.3 Metody

Pro návrh dalšího využití odpadů ve stavebnictví v rámci udržitelného rozvoje sem si vybrala dálnici D3, úsek Staré Hodějovice – Roudné. Tento mnou vybraný úsek měří 6,5 km a na mapě je znázorněn červenou barvou.



Legenda

-  Dálnice D3 Úsek Staré Hodějovice -Roudné
-  Dálnice v přípravě
-  Silnice II. třídy
-  Silnice III. třídy
-  Hranice k.ú.



Obrázek 3.2 Mapa dálnice D3, úsek Staré Hodějovice – Roudné (vlastní zpracování)

Při vybírání úseku mi poradil rodinný známý, který se zabývá stavbou dálnic. Získala jsem řadu užitečných a zajímavých informací z této oblasti, díky kterým jsem si vybrala tento úsek.

3.3.1 Postup výstavby dálnice D3

Před zahájením výstavby se jako první musí odstranit ornice. Tato část je povinná pro všechny druhy staveb, jelikož je podle zákona č.183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) zakázáno stavět na orné půdě. Tato ornice se odveze na skládku tomu určenou a bude později znovu použita pro svahy.

Poté je nutné zeminu zhutnit. Hutnění je metoda, která mechanicky zvýší hustotu materiálu a zvyšuje únosnost materiálu, zamezuje sedání zeminy, zabraňuje poškození mrazem, vylepšuje stabilitu a omezuje propustnost vody. Při nedostatečném zhutnění může dojít k sesedání příkopů silnic, praskání základů staveb a dalších nežádoucích jevů. Pro hutnění se využívají zhutňovací stroje, a to především vibrační desky, vibrační pěchy a vedené vibrační válce.

Dále je nutné provést geodetické polní zkoušky, které jsou určeny pro kontrolu zhutněných zemin, sypanin a dalších materiálů v násypech apod. Kontrolní metody, které jsou obvykle využívány ke zjištění požadovaných parametrů, můžeme rozdělit dle ČSN 72 1006 na přímé a nepřímé zkušební metody. U pozemních komunikací se provádí statická zátěžová zkouška deskou (www.4gconsite.com). Když jsou hutnické zkoušky v pořádku, může se pokračovat ve výstavbě.

Nyní přicházejí na řadu geotextilie (nebo geomříže). Tato vrstva je přibližně 5 cm vysoká. Netkané geotextilie plní v podloží staveb dvě zásadní funkce, a to separaci a filtraci. Separace je způsob, který je hojně využíván pro stavbu silnic. Normy EN ISO separační funkce definují jako „Prevence vzájemného mísení sousedních různorodých zemin a/nebo násypových materiálů použitím geotextilie“. Tyto geotextilie slouží ke zpevnění, zvyšují nosnost zabráněním úniku materiálu do podloží a zajišťují dlouhodobou stabilitu konstrukčních vrstev. Filtrační funkce geotextilie plní stejný účel jako separační funkce, však za rozdílných okolností. Normy EN ISO tuto funkci definují jako „Zadržování zeminy nebo jiných částic vystavených vlivům hydrodynamických sil při současném umožnění průniku kapalin do geotextilie nebo skrze ni“. Tato funkce je hojně využívána při pracích na stavbě silnic a železnic v přímořských oblastech, a to při ochraně pobřeží proti erozi (www.tvstav.cz).

Na geotextilie přijde vrstva kamene frakce 0,125 (s pískem). Tato vrstva je vysoká 30-40 cm a musí se znovu hutnit a provést hutnické zkoušky. Dále se položí vrstva menších kamenů vysoká 15-20 cm, které mají frakci například 0,63 nebo 0,32. Opět se tato vrstva hutní a provedou se hutnické zkoušky.

Na tyto vrstvy se dále položí MZK (mechanicky zpevněné kamenivo). Tato vrstva je vysoká 10-15 cm. MZK vzniká zhutněním nestmelené směsi kameniva, především frakce 0,32 bez použití tmelící složky, jako je například cement. Je to ekonomicky velmi výhodný materiál, jelikož neobsahuje drahá pojiva, ale jen šterkodrt a vodu (www.heidelbergcement.cz). Opět se tato vrstva hutní a provedou se hutnické zkoušky.

Finální vrstvou je asfalt. Nejprve se položí asfalt s velkým kamenem tzv. hrubý asfalt a pokládá se nadvakrát. Poté se položí asfalt s malým kamenem tzv. jemný asfalt, také nadvakrát. Celková výška vrstvy pak činí přibližně 40 cm.

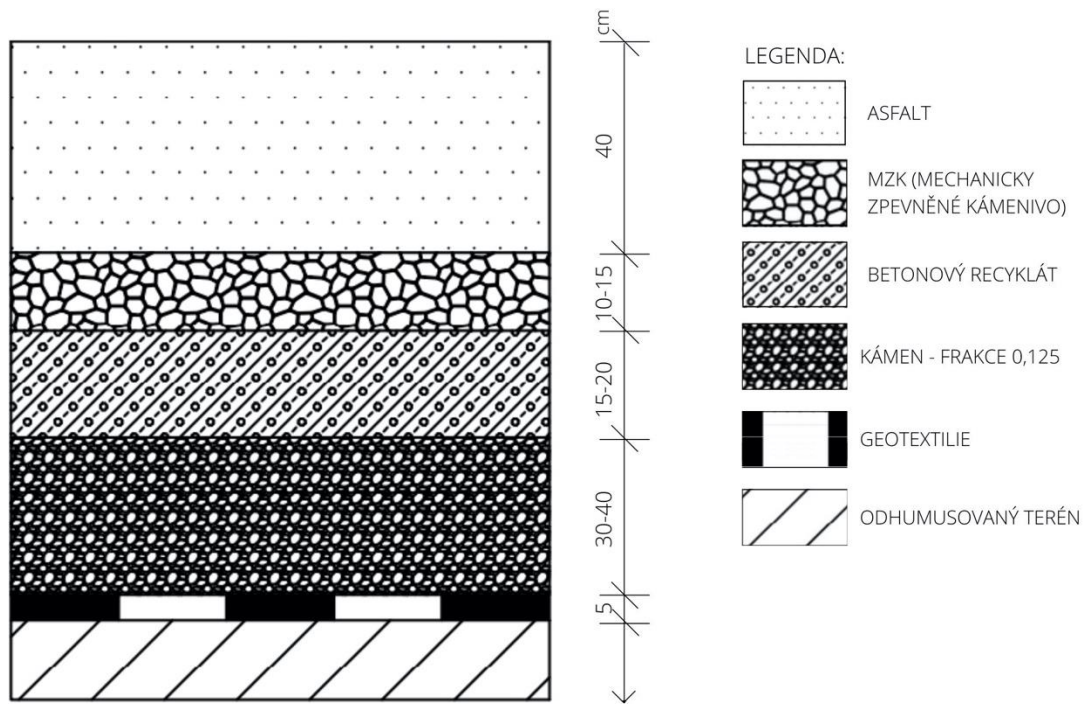
3.3.2 Návrh využití odpadů ve stavebnictví v rámci udržitelného rozvoje

Jelikož výstavba dálnic patří mezi velmi drahé záležitosti, rozhodla jsem se v rámci mé diplomové práce navrhnout levnější variantu výstavby, a to s použitím recyklovaných materiálů do dálničních těles. Zejména se využívá betonový recyklát.

Na následujícím obrázku skladby č.3.5 lze vidět, že postup výstavby bude stejný (viz. kapitola 3.3.1) až na vrstvu menších kamenů, které mají frakci například 0,63 nebo 0,32. Místo této vrstvy kameniva se položí vrstva recyklovaného betonu široké frakce vysoká přibližně 15-20 cm.

Tento betonový recyklát široké frakce je nejrozšířenějším a zároveň nejvíce využívaným recyklovaným materiálem v podkladních vrstvách vozovek, a to především díky svým fyzikálně-mechanickým vlastnostem, které jsou podobné přírodnímu kamenivu. Je nutno aby recyklační směs obsahovala přinejmenším 90 % betonu, nejvýš 6 % směsi pálených zdících prvků a přírodního kamene, max. 1 % skla a max. 3 % jiných cizorodých částic (Mikulíková, 2014). Hodí se pro nestmelené, zpevněné a stabilizované podkladní vrstvy.

Vlastnosti recyklátů se ověřují pomocí průzkumů a kontrolních zkoušek podle platných norem. Laboratoř provádí průkazní zkoušky a vydává osvědčení o jakosti recyklátu.



Obrázek 3.3 Návrh skladby vozovky pro úsek Staré Hodějovice – Roudné

3.3.3 Kalkulace vybrané vrstvy kameniva a betonového recyklátu

V současné době roste cena kameniva, jelikož je velký problém rozšířit stávající kamenolomy. Naopak dochází k jejich uzavírání. Z tohoto důvodu je použití betonového recyklátu při výstavbě výhodnější. Pro lepší představu jsem vypočetla přibližné ceny kameniva a betonového recyklátu:

Vybraný úsek Staré Hodějovice – Roudné měří 6,5 km (6 500 m). Použitá vrstva kameniva frakce 0,63 (nebo 0,32) i následně navržená vrstva betonového recyklátu je vysoká 0,2 m. Kategorijní šířka čtyřpruhé dálnice je průměrně 29,5 m (+ 2*1,0 m od svodidel ke hraně nezpevněné krajnice).

Výpočet objemu:

$$v = a * b * c$$

$$v = 6\,500 * 29,5 * 0,20$$

$$v = \mathbf{38\,350\,m^3}$$

Byl tedy vypočítán objem potřebného materiálu pro celý úsek, který vyšel podle mých výpočtů 38 350 m³.

Dle ceníku kameniva Lomu Deštno a.s. bylo zjištěno, že 1t kameniva frakce 0,63 (či 0,32) stojí 209 Kč. Díky přepočtu firmy Kamenivo M&O s.r.o. bylo také zjištěno, že 1 m³ tohoto kameniva váží průměrně 1,8t. Pomocí těchto informací byla dopočítána cena za 1 m³ kameniva a následně vypočítána přibližná cena kameniva pro celý úsek.

Výpočet ceny kameniva:

1t kameniva = 209 Kč

1 m³ kameniva = 1,8 t

1,8t = 376,2 Kč

38 350 m³ * 376,2 = **14 427 270 Kč**

Dále byly stejným postupem zjištěny informace o recyklovaném betonu. Cena betonového recyklátu se dle MARTINZELINA.cz pohybuje mezi 160 Kč/t a 220 Kč/t, objemová hmotnost pro 1 m³ se pohybuje mezi 1,7 – 2,05t. Pro následující výpočet jsem vybrala cenu 160 Kč/t a objemová hmotnost 1,7t.

Výpočet ceny betonového recyklátu:

1t recyklovaného betonu = 160 Kč

1 m³ recyklovaného betonu = 1,7 t

1,7t = 272 Kč

38 350 m³ * 272 = **10 431 200 Kč**

Výpočet rozdílu ceny pro celý úsek:

14 427 270 – 10 431 200 = **3 996 070 Kč**

Použitím betonového recyklátu místo kameniva při výstavbě dálnice D3, úseku Staré Hodějovice – Roudné je podle mých výpočtů možné ušetřit téměř 4 mil. Kč.

3.3.4 Dostupnost betonového recyklátu

Dostupnost betonového recyklátu je v této oblasti přibližně stejná jako dostupnost kameniva. Pro příklad jsem vybrala tři nejbližší recyklační dvory. Jednou z možností je recyklační dvůr firmy ProTeren s.r.o., který sídlí v Plané u Českých Budějovic. Tento recyklační dvůr se nachází 10,3 km od obce Staré Hodějovice, po silnici II/156 a silnici I/3. Do obce Roudné je cesta od recyklačního dvoru kratší přibližně o 2 km, a to po silnici I/3. V Plané u Českých Budějovic sídlí i druhý recyklační dvůr firmy EUROVIA CS a.s., který je přibližně ve stejné vzdálenosti jako dvůr firmy ProTeren s.r.o. Třetí možností dostupnosti betonového recyklátu je u již vzdálenějšího recyklačního centra firmy LUMOS s.r.o. se sídlem v obci Jivno.

Výpočet rozdílu hmotnosti pro celý úsek:

$$1 \text{ m}^3 \text{ kameniva} = 1,8 \text{ t}$$

$$38 \ 350 \text{ m}^3 * 1,8 \text{ t} = \mathbf{69 \ 030 \ t} \text{ (celkový objem vrstvy)}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ betonového recyklátu} = 1,7 \text{ t}$$

$$38 \ 350 \text{ m}^3 * 1,7 \text{ t} = \mathbf{65 \ 195 \ t} \text{ (celkový objem vrstvy)}$$

$$69 \ 030 \text{ t} - 65 \ 195 \text{ t} = \mathbf{3 \ 835 \ t}$$

Z tohoto výpočtu lze vidět, že by se použitím betonového recyklátu dalo ušetřit i na dopravě, jelikož jsou nákladní auta omezena maximální hmotností. Pro následující výpočet jsem si pro přepravu vybrala nákladní vůz s přívěsem a max. hmotností 24 t. Dále pak cenu za 1 km, která se v průměru pohybuje okolo 38 Kč. Tato přeprava bude již ze zmíněného recyklačního dvora firmy ProTeren s.r.o. do obce Staré Hodějovice. Bude se tedy jednat o 10,3 km.

Výpočet ušetřených peněz za dopravu:

$$3 \ 705 / 24 = 160$$

$$10,3 * 160 = 1 \ 648 \text{ km}$$

$$1 \ 648 * 38 = \mathbf{62 \ 624 \ Kč}$$

Podle mých výpočtů to vypadá, že tím, že je betonový recyklát o 3 835 t lehčí než kamenivo, by se ušetřilo 160 cest přepravy materiálu. To znamená ušetřených 1 648 km, které by stály 62 624 Kč. Tento výsledek byl spočítán jen pro trasu z recyklačního dvora na určené místo, to znamená, že nebyla započítána i zpáteční cesta.

3.3.5 Software

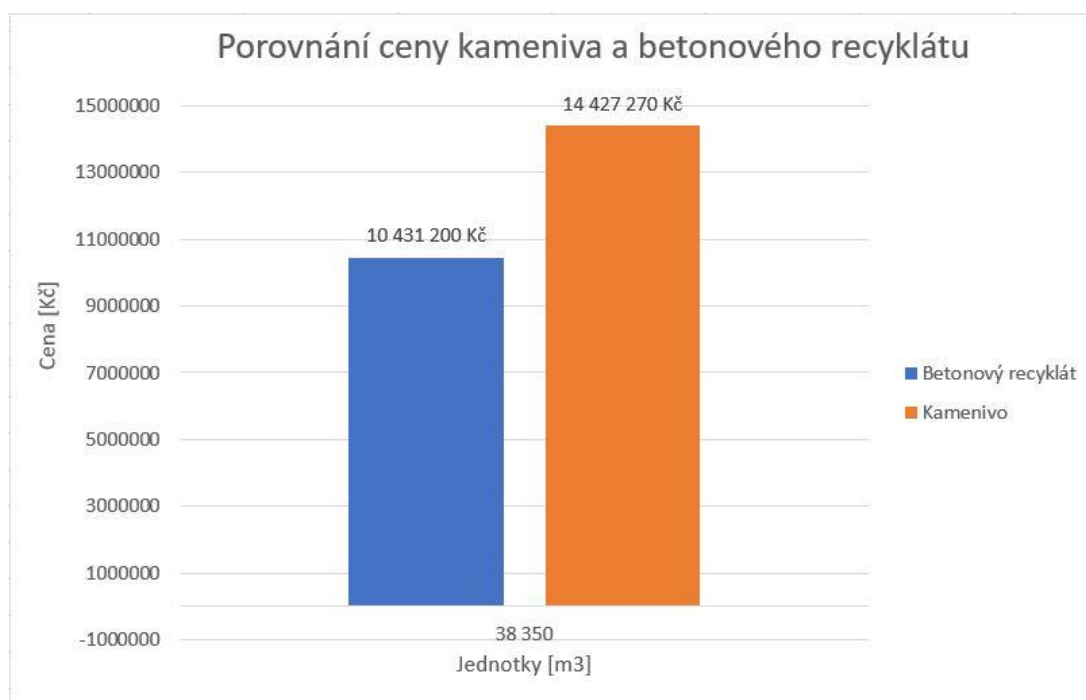
Tabulky byly zpracovány v programu Microsoft Word 2019 a grafy v programu Microsoft Excel 2019. Pro vypracování mapových výstupů byl použit program ArcMap 10.6.1. s pomocí mapových služeb WMS. Obrázek řezu navrhované skladby byl zhotoven v programu AutoCAD 2017.

4 Výsledky a diskuse

V praktické části jsou výsledky znázorněny v číselné podobě. Zde budou pro lepší představu prezentovány i v grafické podobě.

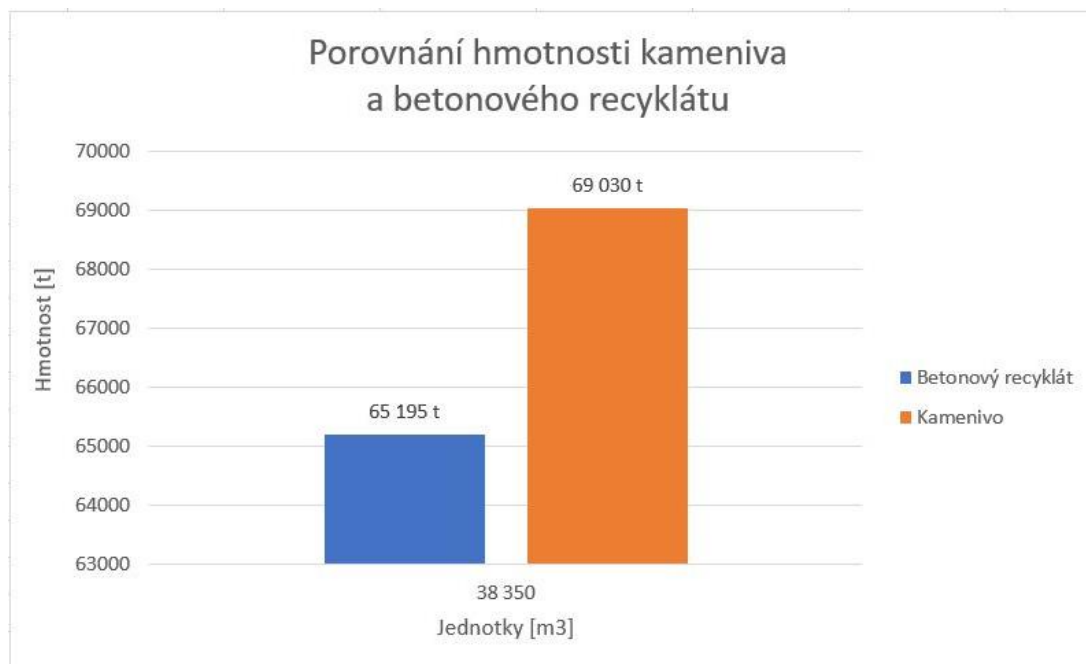
Pro mou práci jsem si vybrala úsek dálnice D3 Staré Hodějovice – Roudné. Díky získaným informacím od zaměstnance firmy, která se zabývá výstavbou silnic a dálnic, jsem zjistila, že se pro výstavbu dálnice využívá do jedné z konstrukčních vrstev drahé lomové kamenivo. Proto jsem pro tento úsek navrhla použití betonového recyklátu namísto lomového kamene. Abych dokázala, že je betonový recyklát levnějším ale přesto plnohodnotným materiálem, vypočítala jsem ceny těchto materiálů.

Finální cena kameniva by byla dle mých výpočtů pro tuto vrstvu 14 427 270 Kč a cena betonového recyklátu 10 431 200 Kč. Z toho je zřejmé, že betonový recyklát je cenově výhodnější o **3 996 070 Kč** než kamenivo. Pro lepší představu cenového rozdílu přikládám graf, ve kterém je rozdíl viditelný.



Graf 4.1 Porovnání ceny kameniva a betonového recyklátu za 38 350 m3 (vlastní zpracování)

Díky předešlým informacím byl vypočítán i hmotnostní rozdíl těchto dvou materiálů, který vyšel 3 835 tun.



Graf 4.2 Porovnání hmotnosti kameniva a betonového recyklátu na 38 350 m³ (vlastní zpracování)

Tím, že je betonový recyklát o 3 835 tun lehčí, se dá ušetřit i na dopravě. Maximální hmotnost nákladních vozů se pohybuje okolo 24 tun a cena za přepravu okolo 38 Kč/km. Pro výpočet jsem si vybrala trasu z recyklačního dvora firmy ProTeren s.r.o. do obce Staré Hodějovice, která je dlouhá 10,3 km. Na základě těchto zjištěných informací, jsem vypočítala, kolik se tímto hmotnostním rozdílem uspoří cest nákladního vozu s materiálem na stavbu. Ušetří se **62 624 Kč** na dopravě.

Když sečteme ušetřené peníze za materiál a za dopravu, vyjde nám celková ušetřená částka **4 058 694 Kč**.

Jak už jsem zmiňovala v úvodu této práce, odpad a jeho recyklace je jedním z nejvíce diskutovaných a řešených témat v současné době. Toto téma se dotýká všech zemí bez rozdílu s hlavním cílem najít co nejvíce možností, jak odpad znovu využít. Správným postupem recyklace a manipulace s danými materiály vzniká plnohodnotný stavební materiál.

V mé práci se zabývám znovuvyužitím stavebních materiálů v konstrukcích pozemních staveb, konkrétně použití betonového recyklátu do konstrukčních vrstev dálnice D3 místo přírodního kameniva. Při takovémto nahrazení klasického stavebního materiálu za recyklovaný materiál, je důležité porovnání cen a hmotnosti těchto

materiálů. Zabývala jsem se tedy porovnáním cen kameniva a betonového recyklátu ve vybraném úseku. Z těchto výpočtů mi vyšlo, že betonový recyklát je výrazně levnějším materiálem. Fořt Jakub (2017), přišel s podobnými výsledky, při použití betonového recyklátu. Naopak Kuntová Kamila (2017) použila pro svou práci do podkladních vrstev recyklovaný kačírek, který byl z hlediska ušetření ceny nevhodný, jelikož byl 2krát dražší než přírodní kamenivo. Naopak je výhodný z hlediska dopravy. Jelikož 1 m³ váží průměrně 1,35 tun, je tedy o 0,45 tun lehčí než přírodní kamenivo a o 0,35 tun lehčí než betonový recyklát. Tímto je možno ušetřit pár cest nákladních vozů, které jsou omezeny právě hmotností.

5 Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo shromáždění informací o odpadech, a to převážně o odpadech stavebních a demoličních, o jejich problematice a opětovném využití. Dále pak o odpadech, které je možné v současné době použít při výstavbě. Následují informace o nakládání se stavebními odpady ve státech EU. Pro zajímavost jsem také popsala domy s maximálním využitím odpadů, tzv. Earthsip, jejich provoz a jaké mají výhody.

Po provedení literární rešerše následovala praktická část. Hlavním cílem této části byl návrh využití odpadů ve stavebnictví v rámci udržitelného rozvoje. Vybrala jsem si použití betonového recyklátu do konstrukčních vrstev dálničních těles namísto běžně využívaného přírodního kamene. Pro tento návrh jsem si vybrala úsek dálnice D3 Staré Hodějovice – Roudné. Tento úsek a dálnice D3 byly stručně charakterizovány a bylo za potřebí zjistit, kolik bude celkově potřeba m^3 materiálu na vybranou vrstvu. Dále porovnávám ceny přírodního kameniva a navrženého betonového recyklátu. Zjistila jsem průměrnou cenu jedné tuny kameniva a jedné tuny betonového recyklátu. Dále kolik váží $1 m^3$ těchto materiálů a díky těmto informacím jsem dopočítala celkovou cenu. Z těchto výpočtů vidíme, že betonový recyklát je z finančního hlediska výhodnějším materiálem, jelikož se na vybraném úseku ušetřilo téměř 4 mil. Kč. Byl také spočítán a porovnán hmotnostní rozdíl těchto materiálů. Tímto rozdílem se zjistilo, že je možné betonovým recyklátem ušetřit i na dopravě. Hmotnostní rozdíl byl vydělen průměrnou maximální hmotností nákladních vozů a tím vyšel počet ušetřených cest těchto vozů s materiálem na určené místo. Díky těmto výsledkům jsem vypočítala ušetřené kilometry z vybraného recyklačního dvora na určené místo stavby a tím i ušetřenou cenu za dopravu. Následně byly cenové a hmotnostní rozdíly zobrazeny i pomocí grafů.

6 Seznam použité literatury

1. ALTMANN, V. et al., (2010) *Technika pro zpracování komunálního odpadu: vědecká monografie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN 978-80-213-2022-2.
2. BLAŽEK, J. a RÁBL, V. (2006) *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, ISBN 80-7080-619-2.
3. DLOUHÝ, Z. (2009) *Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, ISBN 978-80-214-3629-9.
4. KEPÁK, F. (2005) *Průmyslové odpady*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, ISBN 80-7044-709-5.
5. KIZLINK, J. (2007) *Nakládání s odpady*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, ISBN 978-80-214-3348-9.
6. KOLÁŘ, L. a KUŽEL S. (2000) *Odpadové hospodářství*. České Budějovice, Jihočeská univerzita, ISBN 80-7040-449-3.
7. KURAŠ, M. (1994) *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. Praha: Český ekologický ústav, ISBN 80-85087-32-4.
8. KURAŠ, M. (2014) *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, ISBN 978-80-86832-80-7.
9. STÁRKOVÁ, B., Chrizotil a zdraví lidí. In: *Azbest a jeho nebezpečnost-vybrané kapitoly ze základní problematiky azbestu*. Vyd.1. Praha: Foster Bohemia, 2005.s.63-72
10. ŠŤASTNÁ, J. (2007) *Kam s nimi: jak správně třídit odpady a všechno, co s tím souvisí: s průvodkyní Martinou Vrbovou*. Praha: Česká televize, Edice České televize. ISBN 978-80-85005-72-1.

Bez ISBN

1. KOLÁŘOVÁ, H. et al. (2005) *Odpadové fórum: Odborný měsíčník o všem, co souvisí s dopady* [online]. ČVUT Praha, Strojní fakulta, [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/3-2005-pdf.pdf>
2. Škopán, M. et al., (2011) *Strategický analytický dokument pro oblast využívání druhotných surovin*. Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku při NF VŠE Praha

Odborný časopis

1. Odpady: Odborný časopis pro odpadové hospodářství a ekologii. (2016) Praha: Economia, a.s, ISSN 1210-4922.

Legislativa

1. Vyhláška č. 381/2001 Sb. - Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů)
2. Vyhláška č. 93/2016 Sb.- Vyhláška o Katalogu odpadů
3. Vyhláška č.480/3030 Sb. – Vyhláška o užívání pozemních komunikací zpoplatněných časových poplatkem
4. Zákon č. 13/1997 Sb. – Zákon o pozemních komunikacích
5. Zákon č. 185/2001 Sb. - Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

Kvalifikační práce

1. Dubovská, J. (2015) *Dálnice D3 a její potenciální vliv na regionální rozvoj: dopravně – geologická analýza*. Diplomová práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta pedagogická, Katedra geografie
2. Fořt, J. (2017) *Využití betonového recyklátu v cementem stmelených podkladních vrstvách pozemních komunikací*. Diplomová práce, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera
3. Kuntová, K. (2017) *Recyklované stavební materiály*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví
4. Melo, M. (2013) *Analýza možnosti využití odpadů vznikajících při výrobě cementotřískových desek*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
5. Mikulíková, P. (2014) *Nestmelené a stmelené směsi z betonového recyklátu dálnice D1*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
6. Vrnáková, E. (2017) *Nakládání se stavebními odpady z pohledu lektora environmentálního vzdělávání*. Diplomová práce, Masarykova univerzita v Brně, Fakulta pedagogická

Internetové zdroje

1. *4G consite: Geotechnické polní zkoušky* [online]. Praha [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.4gconsite.com/cz/technicke-prace/geotechnicke-polni-zkousky>
2. *ARSM: Základní druhy recyklátů a možnosti jejich využití* [online]. Brno [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.arsm.cz/recyklaty.php>
3. *BRÖTJE HEIZUNG: Geotextilie Fibertex* [online]. Svitavy [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/799-geotextilie-fibertex>
4. *CIVAS s.r.o. Antuka od profesionálů profesionálům.: Výroba a složení* [online]. Kostelec nad Orlicí [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.antuka.com/vyroba-a-slozeni/>
5. *Classification of Radioactive Waste: General Safety Guide* (2010) [online]. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, [cit. 2021-03-11]. Dostupné z WWW: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1419_web.pdf.
6. *ČESKOMORAVSKÝ ŠTĚRK: HEIDELBERGCEMENT Group* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/kamenivo/mechanicky-zpevnene-kamenivo>
7. *Denik.cz: Kvůli ropné skvrně už uhynuly stovky zvířat* (2010) [online]. Praha: VL-TAVA LABE MEDIA, [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: https://www.denik.cz/ze_sвета/kvuli-ropne-skvrne-uz-uhynuly-stovky-zvirat.html
8. *ELEKTRONICKÁ DÁLNIČNÍ ZNÁMKA: Detaily projektu* (2021) [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://edalnice.cz/o-projektu/index.html>
9. *European Commission: EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines* (2018) [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_en
10. *EUROVIA CS a.s.: BETONserver* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/eurovia-cs-skladka>
11. *Kamenivo M&Q, s.r.o.: PŘEPOČET m³ / tuny (průměrná hmotnost)* [online]. Ostrava [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.kamenivomo.cz/prepocetoveKoefficientyDrcene.pdf>
12. *LUMOS s.r.o.: Technika* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.lumos.cz/technika/>

-
13. *MARTINZELINA: RECYKLOVANÝ STAVEBNÍ ODPAD* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.martinzelina.cz/recyklovany-stavebni-odpad/>
 14. *PRAGOPROJEKT a.s. - projekce a realizace silničních staveb: Dálnice D3* [online]. Praha [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.dalniced3.cz/#useky-dalnice-d3>
 15. *ProTeren: RECYKLAČNÍ DVŮR (2021)* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://www.proteren.cz/galerie/tinymce/Cenik_RD_ProTeren.pdf
 16. *Protokol EU o nakládání se stavebními a demoličními odpady (2018)* [online]. Praha, [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/strategicke-dokumenty-pro-udrzitelne-stavebnictvi/protokol-eu-o-nakladani-se-stavebnimi-a-demolicnimi-odpady--241557/>
 17. *Recyklujme stavby!: Výrobky použitelné v pozemních stavbách (2018)* [online]. ČVUT v Praze UCEEB: Agentura ČAS [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.recyklujmestavby.cz/vyrobky/stavebni-vyrobky-obsahujici-druhotne-suroviny-pouzitelne-v-pozemnich-stavbach/>
 18. *Sfdi: Státní fond dopravní infrastruktury (2020)* [online]. Praha [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.sfdi.cz/dalnicni-kupony/dalnicni-kupony-2020/zpoplatnene-useky/>
 19. VOJTĚCH, M. (2012) *Aktuálně.cz: Zeměnka, svérázná stavba z odpadu u řeky Sázkavy* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/stavba-z-odpadku/r~i:gallery:27064/r~i:photo:481550/>
 20. *YouTube CZ: Architekt Odpadu-Zeměloď CZ (2017)* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=FYL02CsWNjE&t=1176s>
 21. *YouTube CZ: ZEMĚLOŮ PLUJE-Jarda a Dušek a stavba energeticky soběstačným domu (2012)* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mVFHa5xM9Io>
 22. *Zeměloď® Zeměnka®: Evropské centrum Zeměloď* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.zemelod.cz/cz/zemelod.html>
 23. *Zera agency: Skladba komunálního odpadu v ČR (2014)* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné na http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008005001/1_a1bene-sova.pdf

7 Seznam použitých obrázků

Obrázek 2.1 Technologické schéma procesu recyklace stavebních odpadů (www.ARSM.cz)	20
Obrázek 2.2 Architekt Michael Reynolds (www.starty.cz)	27
Obrázek 2.3 Zeměloď Zeměnka (www.zemelod.cz)	28
Obrázek 2.4 Zeměloď Zeměnka v průběhu stavby (www.zemelod.cz).....	29
Obrázek 2.5 Princip fungování Zeměloď (www.nenasilnealternativy.cz)	30
Obrázek 2.6 Zdroj elektřiny ze solárních panelů (www.urbannext.net)	31
Obrázek 2.7 Schéma nakládání s odpady (www.recyklujmestavby.cz)	33
Obrázek 3.1 Mapa dálnice D3 (vlastní zpracování).....	34
Obrázek 3.2 Mapa dálnice D3, úsek Staré Hodějovice – Roudné (vlastní zpracování)	39
Obrázek 3.3 Návrh skladby vozovky pro úsek Staré Hodějovice – Roudné	42
Obrázek 10.1 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné (foto vlastní).....	56
Obrázek 10.2 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné (foto vlastní).....	56
Obrázek 10.3 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné (foto vlastní)	57
Obrázek 10.4 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné, použití lomového kamene (foto vlastní).....	57

8 Seznam použitých tabulek

Tabulka 2.1 Příklad složení komunálních odpadů (Mečislav,1994).....	8
Tabulka 2.2 Způsoby nakládání s komunálním odpadem v České republice (Altmann, 2010)	9
Tabulka 2.3 Klasifikace radioaktivních odpadů podle doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii (Dlouhý, 2009).....	12
Tabulka 2.4 Přehled nebezpečných vlastností odpadu (Zákon č. 185/2001 Sb.).....	23
Tabulka 2.5 Výběr teplot v Zeměnce v zimním období (www.zemelod.cz)	30
Tabulka 3.1 Zpoplatněné úseky dálnice D3 (Vyhláška č.480/2020 Sb.).....	37

9 Seznam použitých grafů

Graf 2.1 Produkce stavebních a demoličních odpadů v krajích české republiky za rok 2015 (www.mzp.cz)	16
Graf 4.1 Porovnání ceny kameniva a betonového recyklátu za 38 350 m ³ (vlastní zpracování)	45
Graf 4.2 Porovnání hmotnosti kameniva a betonového recyklátu na 38 350 m ³ (vlastní zpracování)	46

10 Přílohy



Obrázek 10.1 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné (foto vlastní)



Obrázek 10.2 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné (foto vlastní)



Obrázek 10.3 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné (foto vlastní)



**Obrázek 10.4 Rozestavěná dálnice D3, úsek Staré Hodějovice - Roudné, použití lomového kamene
(foto vlastní)**