

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

CIRKULÁRNÍ EKONOMIKA VE STAVEBNICTVÍ

CIRCULAR ECONOMICS IN CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

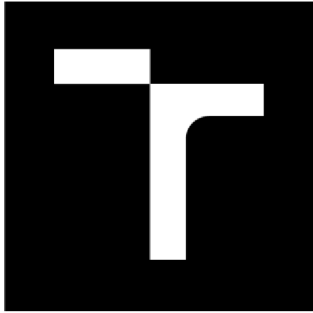
Tomáš Tatarin

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

BRNO 2023



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

CIRKULÁRNÍ EKONOMIKA VE STAVEBNICTVÍ

CIRCULAR ECONOMICS IN CONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Tatarin

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

BRNO 2023



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R038 Management stavebnictví
Pracoviště Ústav stavební ekonomiky a řízení

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Tomáš Tatarin
Název Cirkulární ekonomika ve stavebnictví
Vedoucí práce Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.
Datum zadání 26.9.2022
Datum odevzdání 26.5.2023

V Brně dne 26.9.2022

.....
Doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka
CSc., MBA, dr. h.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. OECD: The circular Economy in the Cities and Regions, 2020, ISSN: 27073440
2. Kislíngrová, E.: Cirkulární ekonomie a ekonomika, GRADA, Praha, 2021, ISBN: 978-80-271-3230-0
3. Cirkulární Česko 3, JIC, Brno, 2020
4. Ort, P.: Oceňování nemovitostí – moderní metody a přístupy, LEGES, Praha, 2014, ISBN: 978-80-8757677-9
5. Zákon č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku v aktuálním znění
6. Vyhláška č. 441/2013 Sb. prováděcí vyhláška k zákonu o oceňování majetku v aktuálním znění

Zásady pro vypracování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současnosti je pro stavebnictví velkou výzvou přechod z lineární na cirkulární ekonomiku, a to zejména v souvislosti s omezenými zdroji primárních nerostných surovin jako jsou stavební kámen, štěrkopíský a písky. Tyto suroviny do jisté míry mohou nahradit inertní minerální materiály vzniklé při demolici budov.

Cíl práce:

Cílem je zmapovat zdroje primárních surovin a výrobu recyklátů v kontextu stavební produkce. Provést cenovou a geografickou analýzu.

Struktura bakalářské práce:

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce *Cirkulární ekonomika ve stavebnictví* je zmapovat zdroje primárních surovin a výrobu recyklátů v kontextu stavební produkce a provést cenovou a geografickou analýzu. Rozšiřování principů cirkulární ekonomiky je zasazeno do kontextu dnes rozšířené lineární ekonomiky. Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. Teoretická část se zabývá rozborem cirkulární ekonomiky a možnostmi recyklace stavebních odpadů. V praktické části je následně provedena analýza současného stavu produkce nerostných surovin klíčových pro stavební průmysl, současná produkce stavebních recyklátů, možnosti navýšení recyklace a zvýšení uplatnitelnosti podstaty cirkulární ekonomiky. V závěru práce jsou shrnuty výsledky analýzy a možná zlepšení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Cirkulární ekonomika, lineární ekonomika, stavební odpad, recyklace, těžba primárních surovin, podzemní zásoby stavebních surovin, výhradní ložiska, nevýhradní ložiska, těžená ložiska, netěžená ložiska, bilanční zásoby, nebilanční zásoby, vyhledané zásoby, prozkoumané zásoby, betonový recyklát, cihelný recyklát, recyklované kamenivo

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis *Circular Economy in Construction* is to map the sources of primary raw materials and the production of recyclates in the context of construction production and to perform a price and geographical analysis. The extension of the principles of circular economy is set in the context of the now widespread linear economy. The bachelor thesis is divided into two parts. The theoretical part deals with the analysis of the circular economy and the possibilities of recycling construction waste. The practical part then analyses the current state of production of minerals key to the construction industry, the current production of construction recyclates, the possibilities of increasing recycling and increasing the applicability of the essence of the circular economy. The paper concludes with a summary of the results of the analysis and possible improvements.

KEYWORDS

Circular economy, linear economy, construction waste, recycling, extraction of primary raw materials, underground reserves of construction raw materials, exclusive deposits, non-exclusive deposits, mined deposits, unmined deposits, balance reserves, non-balance reserves, prospected reserves, explored reserves, concrete recyclate, brick recyclate, recycled aggregate

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TATARIN, Tomáš. Cirkulární ekonomika ve stavebnictví. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Cirkulární ekonomika ve stavebnictví* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2023

Tomáš Tatarin

autor práce

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Zdeňkovi Krejzovi, Ph.D. za ochotu, vedení a trpělivost při zpracování mé bakalářské práce.

Dále děkuji výzkumníkům z Českého geologického úřadu a Českého statistického úřadu za kvalitně zpracovaná data, ze kterých jsem čerpal.

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Definice důležitých pojmů	2
2	Cirkulární ekonomika.....	4
2.1	Pojem cirkulární ekonomika	4
2.2	Přechod z lineární ekonomiky na cirkulární.....	4
2.3	Příklady cirkulární ekonomiky v různých oborech	6
2.3.1	Automobilový průmysl	6
2.3.2	Logistika.....	6
2.3.3	Energetický průmysl	6
2.3.4	Odpadový průmysl	7
2.3.5	Stavebnictví.....	7
3	Cirkulární ekonomika ve stavebnictví	8
3.1	Modulární stavby.....	9
3.2	Selektivní demontáž prvků stavby	10
3.3	Udržitelné zdroje energie a vody.....	10
3.4	Stavební odpad	11
3.4.1	Dělení stavebních odpadů	11
3.4.2	Produkce stavebních odpadů.....	12
3.4.3	Předcházení vzniku stavebních odpadů	13
3.4.4	Zpracování stavebních odpadů.....	14
3.5	Nahrazení primárních nerostných surovin ve stavebnictví	20
3.5.1	Využití kameniva a štěrkopísku ve stavebnictví.....	21
3.5.2	Nahrazení kameniva a štěrkopísku stavebními recykláty	22
3.6	Cenové porovnání stavebních recyklátů s tradičními materiály.....	23
4	Analýza zdrojů primárních surovin a jejich nahrazení stavebními recykláty	25

4.1	Analýza současného stavu produkce primárních surovin v ČR	25
4.1.1	Produkce stavebního kamene	26
4.1.2	Produkce štěrkopísku	32
4.1.3	Shrnutí	39
4.2	Analýza současného stavu recyklace stavebního kamene a kameniva v ČR ...	40
4.2.1	Produkce stavebního odpadu	40
4.2.2	Nakládání se stavebním odpadem	43
4.2.3	Shrnutí	49
4.3	Možnosti nahrazení primárních surovin stavebními recykláty v ČR	50
4.3.1	Maximální možné využití betonového a cihelného recyklátu	50
4.3.2	Maximální možné využití recyklovaného kameniva	52
4.3.3	Shrnutí a doporučení	53
5	Závěr	54
6	Seznam použitých zdrojů	55
7	Seznam zkratk	58
8	Seznam tabulek	59
9	Seznam grafů	60
10	Seznam obrázků	61

1 Úvod

Stavebnictví je zodpovědné přibližně za polovinu vyprodukovaného odpadu. Ať už se jedná o odpad vzniklý během procesu výstavby nebo o odpad demoliční. Stavebnictví zároveň spotřebuje 60 % vytěžených materiálů, 40 % energie a vytvoří 40 % emisí v ovzduší. U takto znatelného aspektu lidské produkce je třeba projevovat snahu o maximalizaci užitku a minimalizaci dopadů na životní prostředí.

Předpokládá se, že do roku 2030 bude třeba vystavět více místa pro ubytování, než se postavilo ze posledních 4000 let. Pokud chceme tuto výstavbu provádět udržitelně, je třeba změnit současné paradigma životního koloběhu produkce. Přírodní zdroje nutné k nové výstavbě jsou na naší planetě omezené a při dlouhodobém růstu spotřeby stavebních materiálů tak vzniká ekonomická motivace na efektivnost výstavby a použití alternativních materiálů, například recyklované nebo znovupoužitelné materiály.

V současnosti rozšířená lineární ekonomika, kdy životnost materiálů končí s jeho vyřazením z používání nijak nešetří docházející přírodní zdroje. Tento problém řeší cirkulární ekonomika, která je v posledních letech na vzestupu a lze očekávat další potřebu jejího rozšíření. Principem cirkulární ekonomiky je snaha zužítkovat materiál do nejvyšší možné míry. Prvotním vyřazením materiálu z používání jeho životnost tedy nemusí končit, ale teprve začínat.

Cílem práce je zmapovat zdroje primárních surovin a výrobu recyklátů v kontextu stavební produkce a provést cenovou a geografickou analýzu. V teoretické části bude představena cirkulární ekonomika coby udržitelnější alternativu k lineární ekonomice včetně cenového porovnání a prozkoumání jednotlivých možností aplikace. V praktické části bude provedena analýza zdrojů primárních surovin a jejich nahrazení stavebními recykláty.

1.1 Definice důležitých pojmů

Cirkulární ekonomika: Ekonomický model, který se zaměřuje na maximalizaci využitelnosti zdroje a minimalizaci vzniklých odpadů.

Lineární ekonomika: Tradiční ekonomický model výroby a spotřeby, ve kterém jsou suroviny vytěženy, zpracovány, použity, a nakonec vyhozeny jako odpad.

Stavební odpad (SDO): Podle zákona č. 541/2020 Sb. je stavebním a demoličním odpadem odpad vznikající při stavebních a demoličních činnostech.

Recyklace: Proces zpracování odpadu, při kterém se materiály z odpadu získávají, upravují a znovu používají k výrobě nových produktů.

Těžba primárních surovin: Proces získávání surovin přímo z přírody, například z dolů, kamenolomů, štěrkopískoven nebo lesů.

Podzemní zásoby stavebních surovin: Suroviny, které se nacházejí v přírodních zdrojích pod zemským povrchem a jsou potenciálně těžitelné a využitelné pro stavebnictví.

Výhradní ložisko: Ložisko ve výhradním vlastnictvím státu. Výhradní ložiska se mohou, ale nemusí nacházet na pozemcích vlastněných státem, rozhodovací kritérium se odvíjí zejména od strategičnosti ložiska a surovin, které obsahuje. Kritéria upravuje zákon č. 44/1988 Sb., tzv. horní zákon.

Nevýhradní ložisko: Ložisko ve vlastnictví soukromé či právnické osoby, která vlastní pozemek, na němž se ložisko nachází. Surovina zároveň nesmí spadat do definice výhradních ložisek určené horním zákonem. Nevýhradní ložiska se vždy nachází na soukromě vlastněných pozemcích, ne však všechna ložiska na soukromých pozemcích jsou nevýhradní.

Těžené ložisko: Ložisko, kde aktuálně probíhá těžba jeho zásob.

Netěžené ložisko: Ložisko, kde buď v minulosti probíhala těžba, ale aktuálně již neprobíhá, nebo kde nikdy neprobíhala těžba. Patří zde i vytěžená ložiska.

Bilanční zásoba: Zásoba ložiska s možností těžby, která bude ekonomicky rentabilní. Bilanční ložisko je buď těžené nebo je jeho těžba do budoucna možná.

Nebilanční zásoba: Zásoba ložiska bez možnosti těžby. Mezi důvody patří lokace zásob v chráněných krajinných oblastech, náročné geologické podmínky a nerentabilita těžby.

Vyhledané zásoby: Rozsah ložiska, o kterém je známé přibližné množství suroviny a její návaznosti na okolní krajinu.

Prozkoumané zásoby: Rozsah ložiska, o kterém jsou známy podrobnější údaje, jako je množství nerostné suroviny, geologické rozložení, hloubka a možnosti těžby.

Betonový recyklát: Materiál získaný z recyklace betonového stavebního odpadu.

Cihelný recyklát: Materiál získaný z recyklace cihelného stavebního odpadu.

Recyklované kamenivo: Materiál získaný z recyklace stavebního odpadu obsahující kamenivo, zejména samostatného kameniva nebo směsi zeminy a kameniva.

2 Cirkulární ekonomika

2.1 Pojem cirkulární ekonomika

Cirkulární ekonomika, někdy též oběhové hospodářství, je poměrně nový pojem, a hlavní pozornost dostává teprve v posledních dvaceti letech. Nelze tedy zatím jasně definovat. Všeobecně se za hlavní princip považuje 3R – reduce, reuse, recycle. Ten se později rozvinul na 6R – reduce, reuse, recycle, recover, redesign, remanufacture. Sniž spotřebu, znovupoužij, recykluj, obnov, přepracuj, repasuj. Zaměřuje se na udržení hodnoty zdroje v ekonomice co nejdéle, a to jeho opětovným používáním, změnou jeho používání a recyklací. Po skončení životního cyklu prvku se snaží o minimalizaci odpadu a řeší i možnosti, jak s odpady nakládat.

V praxi se cirkulární ekonomika projevuje jako snaha o co nejdelší životnost materiálu, minimalizování těžby nových neobnovitelných zdrojů, snížení množství produkovaného odpadu, snížení vypouštěných emisí a přechod k obnovitelným zdrojům energie. V případě produkce se tvoří výrobky, které jsou odolnější vůči poruchám, opravitelné a v posledním stádiu recyklovatelné. Cirkulární ekonomika se v některých aspektech překrývá se sdílenou ekonomikou, například sdílení bytů, aut či jízdních kol lze považovat také za cirkulární.

[1]

2.2 Přejít z lineární ekonomiky na cirkulární

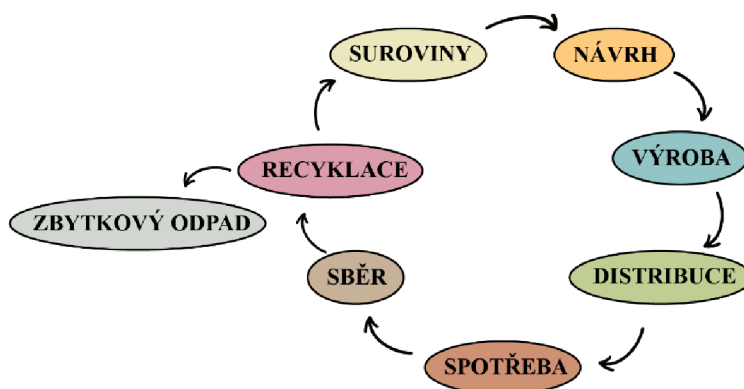
Už od doby průmyslové revoluce převládal lineární model založený na principu vyrobit – použít – odstranit. Bohužel tento model nebere v potaz hranice vstupu a výstupu, se kterými se začínáme potýkat až dnes. Na straně vstupu se jedná o omezenost neobnovitelných zdrojů, lidských zdrojů, zdrojů elektřiny, vody či místa na planetě. Na výstupu potom o absenci plánu, jak nakládat s odpady, které vzniknou odstraněním zdroje z ekonomiky. Toto vnímání ekonomiky jako otevřeného systému s neomezenými zdroji a neomezenými možnostmi zbavovat se již využitých zdrojů vede k nepříznivým dopadům na životní prostředí, zejména pak k znečištění. Pro dosažení vyváženosti mezi ekonomickým, sociálním a environmentálním aspektem lidské činnosti je potřeba tento model upravit a začlenit do něj udržitelnost.

V druhé polovině 20. století se objevují první alternativy k lineární ekonomice s cílem zlepšit kvalitu a udržitelnost lidského jednání. První základy modelu, který dnes nazýváme cirkulární ekonomika, lze dohledat v publikaci *The Economics of the Coming Spaceship Earth* (1966) od anglicko-amerického ekonoma Kenneth E. Boulding. Ve své knize zmiňuje, že člověk musí najít své místo v cyklickém ekologickém systému. Později z jeho práce vycházeli i britští ekonomové David W. Pearce a R. Kerry Turner. V publikaci *Economics of natural resources and the environment* (1990) popisují přechod z lineární ekonomiky směrem k cirkulární a chápání životního prostředí jako důležité součásti systému. Autoři popsali čtyři hlavní ekonomické hodnoty životního prostředí: estetičnost, poskytovatel zdrojů do ekonomiky, uložitel přebytečných zdrojů a podpora života na zemi. Zatímco lineární ekonomika bere ohled pouze na dva z těchto aspektů, cirkulární ekonomika vnímá všechny čtyři.

[2; 3]

Na níže uvedeném obrázku je vidět rozdíl v životním cyklu suroviny v cirkulární a lineární ekonomice.

Cirkulární ekonomika



Lineární ekonomika



Obrázek 1: Životní cyklus surovin v cirkulární a lineární ekonomice

[zdroj: vlastní]

2.3 Příklady cirkulární ekonomiky v různých oborech

Vzhledem k univerzálnosti popisované metody lze najít aspekty cirkulární ekonomiky téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Každý obor se s problematikou vypořádává jinak, lze však pozorovat společné znaky, tedy minimalizace potřeby nových surovin a maximalizace využitelnosti již používaných zdrojů.

2.3.1 Automobilový průmysl

Po druhé světové válce přišla společnost Toyota s metodikou štíhlé výroby, která se postupně rozšířila i do dalších odvětví. Jedná se o způsob vývoje a výroby produktů v minimálním čase a s minimálními náklady, které splňují pouze nejnütnější potřeby zákazníka a nepřidávají nic navíc. Tímto způsobem výroby se eliminuje plýtvání vznikající z nadbytečné výroby, velkých zásob a zbytečné manipulace. Dalším cirkulárním principem je například pronajímání a sdílení aut (carsharing) jako alternativa k přímému vlastnictví.

[4]

2.3.2 Logistika

Doposud byla logistika chápána jako řetězec dopravy zboží či materiálu od výrobce k distributorovi a dále k finálnímu spotřebiteli. Tento systém však produkuje příliš mnoho hluchých míst ve formě prázdných kontejnerů vracujících se k distributorovi či přímo výrobcí. V posledních dekáдах se začíná uplatňovat reverzní logistika, která využívá tato hluchá místa. Tento proces popisuje dopravu zboží či materiálu minimálně o jeden stupeň zpět, tedy k distributorovi, nebo až přímo k výrobcí. Může se jednat o vrácení defektního či nevyužitého zboží, obalových materiálů, zboží určeného k opravě a údržbě a o již spotřebované zboží putující za výrobcem za účelem recyklace či znovupoužití. Reverzní logistika tak řeší problém s velkým množstvím prázdných nevyužitých kontejnerů putujících zejména z Evropy a Ameriky za výrobcí do Asie.

[5]

2.3.3 Energetický průmysl

S neustálým ekonomickým rozvojem rapidně stoupá i spotřeba elektrické energie. Vzhledem k negativním externalitám, které vznikají při generování elektřiny pomocí

tradičních zdrojů, zejména spalováním fosilních paliv, je potřeba přejít na obnovitelné zdroje s menším dopadem na životní prostředí. S postupným přechodem na obnovitelné zdroje se omezí vznik nevyužitelného odpadu (odpad z jaderných elektráren, emise při spalování) a uzavře se tak pomyslný cirkulární kruh ve výrobě energie. V roce 2019 se v EU vyrobilo pouze 30 % elektrické energie z obnovitelných zdrojů. I když lze mezi lety 2008-2018 vypočítat zvyšující podíl využití obnovitelných zdrojů a mírně klesající podíl neobnovitelných, stále se zde nachází velký prostor pro zlepšení.

[6; 7]

2.3.4 Odpadový průmysl

Nejrozvinutější a největší oblast implementace cirkulární ekonomiky je jednoznačně odpadové hospodářství. Je však důležité si uvědomit, že odpadový průmysl je v podstatě důsledkem jiných lidských činností a lze ho tedy považovat za součást řešení plynoucí z cirkulární ekonomiky, které je uplatnitelné napříč obory. Za první historické příklady nakládání s odpady lze považovat již pravěké využití kůže a kostí, tedy odpadních produktů při zpracování potravy, jako nástrojů a zbraní. V antice se tavilo a opakovaně vyžívalo sklo jako řešení nadměrného odpadu a zachování vzácné suroviny. V 19. století přišla průmyslová revoluce, která přinesla i revoluci v třídění a zpracování odpadu. V současnosti jde velmi rozvinutý obor, který má za cíl bojovat s neustále se zvyšující produkcí odpadu.

[8]

2.3.5 Stavebnictví

Cirkulární ekonomika ve stavebnictví představuje koncept, který se začal více prosazovat a uplatňovat v nedávné době, zejména skrze změnu způsobu nakládání se stavebními odpady. Myšlenky oběhového hospodářství lze však v menší míře dohledat i v historii stavebního průmyslu. I když pojem cirkulární ekonomika tehdejší stavebníci nepoužívali, vnímali nákladnost produkce některých stavebních prvků z nově získávaných přírodních zdrojů. Pyramidy, které dnes známe ve tvaru kaskádových jehlanů, byly dříve obloženy bílým vápencem, který tvořil souvislou šikmou plochu pyramidy. Tento vápenec byl postupně rozebírán a používán na jiné stavby, během 19. století byl z pyramid sejmuto téměř všechno původní vápenec. Toto rozebírání stavebních prvků ze starší, ale fungující budovy při stavbě novější se nazývá *spolium* (z latinského slova *spolia* = kořist).

3 Cirkulární ekonomika ve stavebnictví

Principy oběhového hospodářství lze najít i v oboru stavebnictví. Vzhledem k rozsáhlosti tohoto průmyslu a jeho dopadu na životní prostředí se i malý krok k větší udržitelnosti projeví znatelným pozitivním efektem vůči přírodě.

Aplikace cirkulární ekonomiky se liší podle životní fáze stavebního díla. Při plánování lze myslet v dlouhodobém měřítku a počítat s nutnou údržbou objektu, případnými rekonstrukcemi a na konec také s demolicí objektu. Pokud je už dopředu brán ohled na celý životní cyklus stavby, lze navrhnout řešení, které bude potřebovat nejméně nových zdrojů při údržbě a rekonstrukci nebo bude možno využít konstrukční prvky k jiným účelům i po demolici stavby. Lze také navrhovat stavby z modulárních hotových částí, které je možno bez rozsáhlé demolice znovu využít.

V průběhu realizace lze volit materiál plně či částečně vyrobený z recyklovaných materiálů, případně rovnou využít vyhovující prvky z jiné stavební akce, kde již nejsou potřeba. Při realizaci vzniká velké množství provozních odpadů, které je možno třídít a patřičně recyklovat. Zároveň stavební odpad (SDO) vzniklý během realizace lze využít hned v místě stavby, například vykopanou zeminu použít na vyrovnávací práce.

Během využívání stavby je vhodné produkovat co nejméně odpadů a zároveň spotřebovávat co nejméně přírodních zdrojů, zejména energie a vody, případně je získávat z obnovitelných zdrojů, ideálně v místě stavby.

Demolici a likvidaci stavby je třeba dopředu naplánovat s ohledem na vzniklý odpad a snažit se o minimalizaci vzniku nevyužitelného odpadu a maximalizaci užitku demolovaných prvků.

Motivací aplikovat principy cirkulární ekonomiky může být několik. Podzemních nerostných zdrojů je omezené množství a s přibývajícím stavebním výstavbou budou pouze ubývat, je tedy dobré se co nejdříve připravit na jejich nedostatek. Nadměrná těžba, kterou lze snížit používáním druhotných surovin, rovněž znehodnocuje okolní krajinu, což snižuje kvalitu života i tržní cenu okolních pozemků a staveb. Přechodem z lineárního

systemu na cirkulární se zvýší také udržitelnost a dlouhodobá životnost stavebních děl. Názorová změna ve společnosti směrem k preferenci ekologičtějších řešení, zejména u mladší nastupující generace, představuje důležitý faktor ovlivňující poptávku po dodávaných stavbách. Největší motivací však zůstává ekonomický faktor. Pokud cena recyklovaného či jinak udržitelného řešení vysoce převyšuje cenu toho tradičních, investoři nejspíše zůstanou u zaběhnutých metod a přechod na cirkulární ekonomiku bude složitý.

3.1 Modulární stavby

Modulární stavebnictví je princip skládání stavby z prefabrikovaných modulů a nahrazuje tak monolitickou výstavbu. Takto lze škálovat a adaptovat stavby na současné potřeby. Možnost rozšíření stavby o další moduly nebo jejich odebrání je vhodné jak pro obytné stavby, tak stavby občanské vybavenosti. V případě stavby rodinného domu lze prvně postavit pouze první patro a několik let později rozšířit o další patro. U občanských staveb můžeme upravením velikosti a tím i kapacity stavby reagovat na její využití, případně úplně rozebrat na jednotlivé moduly, přesunout a složit na jiné lokalitě. Takto lze na změnu demografie reagovat změnou velikostí nebo přesunem školek, nemocnic, kancelářských budov a podobně.

Modulární stavba se postupně skládá z jednotlivých prefabrikovaných dílců (modulů) podle potřeby. Dílce se vyrábí na specializovaných linkách mimo staveniště. Výroba probíhá sériově, v kontrolovaném prostředí a bez zásahu klimatických podmínek. Oproti monolitické výstavbě v místě realizace je prefabrikováním v halách dosaženo jednotné kvality materiálů a celých modulů.

Moduly se nejčastěji vyrábí ze dřeva, betonu či kovu. Tvar bývá obdélníkový, rozměry jednotlivých modulů se liší dle výrobce a jejich způsobu skládání a navazování modulů na sebe, ale často se objevuje rozměr 20stopého kontejneru (6,1 x 2,4 x 2,6 m) z důvodu snadného převozu nákladními auty. Moduly zpravidla nelze upravovat a je tak nutné navrhovat stavbu pouze z dostupných modulů.

Hotové moduly jsou podle potřeby dopraveny na stavbu, kde se smontují a stavba je okamžitě připravena k využití. Tato metoda výrazně šetří čas na konstrukci

a technologické přestávky. Zároveň je možné využít tento způsob výstavby pro akce v odlehlých oblastech, kde by dovoz jednotlivých materiálů nebo zajišťování čerstvého betonu byl problémem.

[9]

3.2 Selektivní demontáž prvků stavby

Jedním z prvních kroků k cirkulární ekonomice je demontáž a znovu využívání stavebních prvků namísto vyřazení. Takto se zcela předejde vzniku odpadů a minimalizuje se potřeba výroby z nově těžených surovin. Pro dosažení ekonomické efektivity je třeba, aby náklad na demontáž byl nižší než náklad na výrobu z nových zdrojů. Na kvalitu prvku má vliv materiál, stáří, stupeň zatížení a také způsob demontáže. Před znovu použitím je třeba zkontrolovat geometrické a mechanické vlastnosti a přesvědčit se o kvalitě prvku.

Při správném naplánování celého životního cyklu objektu včetně jeho konce lze připravit objekt již ve fázi plánování na pozdější demontáž a snížit tak celkové náklady stavebního díla. V BIM programech lze projektovat stavbu ve všech jednotlivých fázích a navrhovat prvky s ohledem na jejich demontáž v průběhu nebo na konci životního cyklu stavby. Každý prvek stavby může být unikátně označen, sledován a spravován pro účely efektivnějšího facility managementu. Z hlediska konstrukce stavby je výhodnější používat přístupné a rozložitelné mechanické spoje oproti chemickým spojům, u kterých při demontáži dochází k poškození prvku.

[9]

3.3 Udržitelné zdroje energie a vody

Pro dosažení udržitelné spotřeby energie a vody je v první řadě potřeba redukce spotřeby a následnou spotřebu co nejvíc čerpat z udržitelných zdrojů.

Mezi udržitelné zdroje energie se řadí zejména energie z přírodních obnovitelných zdrojů, tedy solární, větrná, geotermální, vodní a bioenergie (spalování či přeměna biomasy). Jedná se o zdroje, které přepracováním na energii nejsou omezeny absolutně a jejich

spotřeba neohrožuje životní prostředí. Mezi udržitelné zdroje energie patří solární a fotovoltaické panely, větrné turbíny, tepelná čerpadla, vodní elektrárny a další.

Druhým důležitým zdrojem pro stavbu je voda. Tu lze alternativně získat sběrem dešťové vody nebo recyklací šedé vody. Sběr dešťové vody probíhá pomocí střešních okapů do podzemních nebo nadzemních nádrží, recyklace šedé vody probíhá pomocí čistírny šedých vod umístěných uvnitř budovy.

3.4 Stavební odpad

Veškerý materiál, který zbude po dokončení stavby, rekonstrukce nebo demolice se považuje za stavební odpad (SDO). Největší zastoupení v SDO má vytěžená jalová hornina a hlušina, dále pak beton, železo a ocel, směsi cihel, tašek a keramických výrobků, asfaltové směsi a směsné demoliční odpady.

3.4.1 Dělení stavebních odpadů

SDO se podle § 6 zákona č. 541/2020 Sb. dělí na ostatní odpad a nebezpečný odpad. Nebezpečný odpad je odpad, který splňuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností určených III směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech. Mezi tyto nebezpečné vlastnosti patří karcinogenita, toxicita, výbušnost a další. Typickým zástupcem nebezpečného SDO je eternitová krytina z azbestu.

Vyhláška č. 8/2021 Sb. specifikuje katalog odpadů, který rozděluje všechny produkované odpady podle oboru původu. Celkem definuje 20 odpadových skupin, které se dále dělí na konkrétnější podskupiny. SDO se nachází ve skupině 17 a je dále rozdělen do osmi podskupin podle materiálu.

Skupiny stavebního odpadu:

- 17 01 Beton, cihly, tašky a keramika
- 17 02 Dřevo, sklo a plasty
- 17 03 Asfaltové směsi, dehet a výrobky z dehtu
- 17 04 Kovy (včetně jejich slitin)

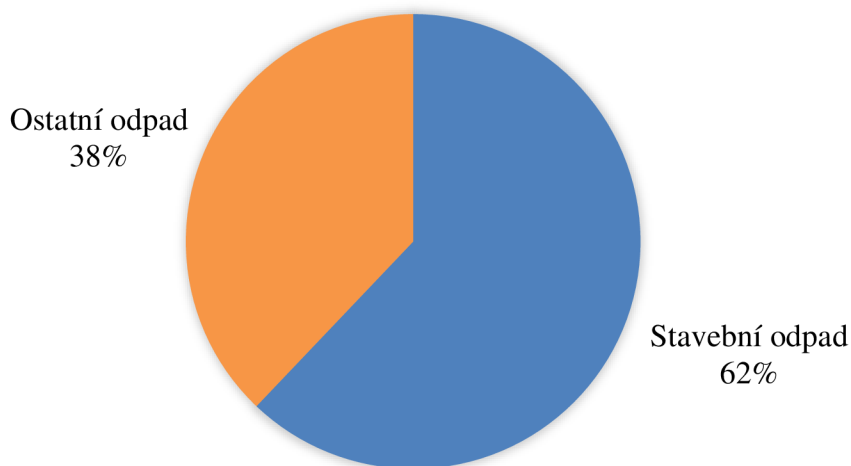
- 17 05 Zemina (včetně vytěžených zeminy z kontaminovaných míst), kamení a vytěžená hlušina
- 17 06 Izolační materiály a stavební materiály s obsahem azbestu
- 17 08 Stavební materiál na bázi sádry
- 17 09 Jiné stavební a demoliční odpady

3.4.2 Produkce stavebních odpadů

SDO tvoří přibližně dvě třetiny celkově produkováných odpadů. Jedná se o odpad vzniklý při nové výstavbě, při úpravách i při demolicích. Největší zástupce produkováného odpadu tvoří skupina 17 05, tedy zemina, hlušina a kamení, dále pak 17 01, tedy beton, cihly, tašky a keramické výrobky a 17 04, tedy kovy a slitiny. Ostatní skupiny tvoří dohromady méně než 7,5 % celkové produkce.

Na grafech níže je vidět produkce SDO vůči celkové produkci a rozložení jednotlivých skupin.

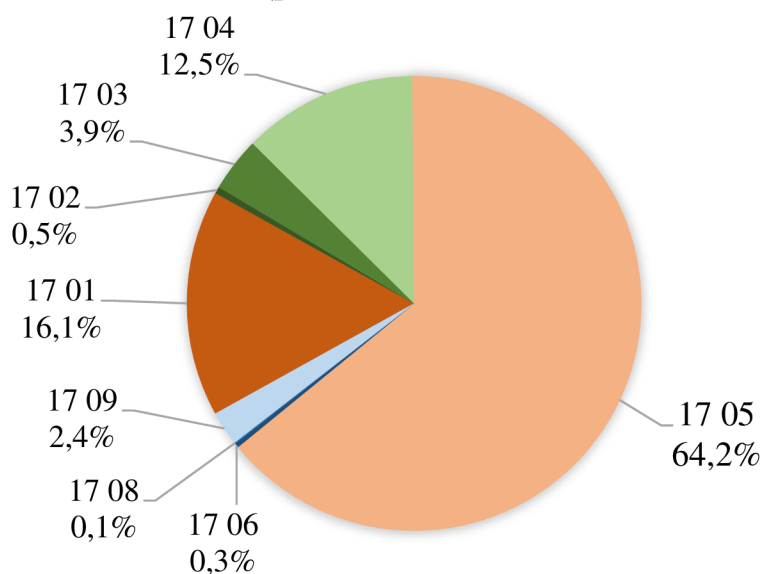
Produkce stavebního odpadu a celkového odpadu
(průměr 2009-2018)



Graf 1: Produkce stavebního odpadu a celkového odpadu (průměr 2009-2018)

[19]

Produkce stavebních odpadů podle skupin
(průměr 2009-2018)



Graf 2: Produkce stavebních odpadů podle skupin (průměr 2009-2018)

[19]

3.4.3 Předcházení vzniku stavebních odpadů

Podle zákona č. 541/2020 Sb. o odpadech je *každý povinen při své činnosti předcházet vzniku odpadu, omezovat jeho množství a nebezpečné vlastnosti*. Toto opatření se vztahuje i na fyzické a právnické osoby ve stavební činnosti. Pokud vzniku odpadu nelze předejít, je potřeba s ním naložit dle platných zákonů, ekonomicky efektivně a šetrně k životnímu prostředí.

V roce 2017 vydalo Ministerstvo životního prostředí publikaci *Průvodce předcházením vzniku stavebních odpadů*, která detailně popisuje možnosti prevence vzniku odpadu v kontextu životního cyklu stavby, různé role investora, projektanta a architekta a nabízí výhled do budoucnosti.

[10]

3.4.4 Zpracování stavebních odpadů

SDO představuje největší část produkovaného odpadu. Recyklováním SDO můžeme snížit dopad stavebnictví na životní prostředí, ale také snížit investiční náklady navrácením surovin do výrobního procesu.

Při stavební činnosti vzniká široké spektrum odpadů, zejména se jedná o zeminu, beton a železobeton, stavební suť, kovy, sklo, dřevo a asfalt. Tento odpad se často lokálně nachází ve velkém množství a ve stejné kvalitě, jedná se tak o ideální odpad pro recyklaci. SDO lze recyklovat a znovu využít několika různými způsoby. Zvolený způsob závisí na typu materiálu, stáří, kvalitě, lokaci, rozměrech, druhu stavební činnosti, celkovém množství a zejména na možnostech a využitelnosti recyklace.

3.4.4.1 Primární recyklace

Primární recyklace popisuje proces, kdy odpad tvoří materiál, který lze použít na stejné či obdobné využití jako měl původní záměr. Tohoto principu lze dosáhnout správným návrhem a následně selektivní demolicí. Ta zahrnuje průzkum materiálu a stanovení plánu demolice s ohledem na pozdější využití. Jedná se o prvky, které jsou součástí demoliční akce, ale jejichž mechanické vlastnosti jsou stále přijatelné pro přímé využití. Patří zde například dřevěné trámy, dřevěné, betonové a ocelové vazníky, rámové konstrukce a další. Pokud tyto prvky splňují zejména mechanické požadavky, lze je použít na jiné stavbě ke stejnému účelu.

3.4.4.2 Recyklace stavebních odpadů podle skupin z katalogu odpadů

Skupina 17 01 - Beton, cihly, tašky a keramika

Betonový a keramický odpad se drtí a vzniká tím recyklát, který má několik využití. Kvalita výsledné drcené směsi, která se třídí podle frakcí, závisí jednak na drceném materiálu, ale zejména na jeho kvalitě. Ideální je již během stavebních a bouracích prací myslet na následnou recyklaci a třídít materiál ještě před jeho drcením. Vhodné je vytržít zejména kovy, dřevěné oštěpky, maltoviny a jiné zbytkové materiály, které by mohly výslednou drť znehodnotit. Na recyklát jsou kladeny vysoké nároky na splnění technických parametrů podle potřeby využití. Zákon stanovuje požadavky na neškodnost

recyklátu umístovaném na zeminu, včetně stanovení limitních hodnot nezbytných z hlediska ochrany zdraví lidí a ochrany životního prostředí. Nejčastější použití recyklátu je jako plnivo do betonu, pro zásypy a podsypy betonových konstrukcí a dopravních staveb, obsypy potrubí a krajinné úpravy.

Betonový recyklát malé zrnitosti 0/16 lze použít jako vstupní surovinu pro výrobu cementu, složení je téměř stejné, jako má portlandský slínek. Lze také použít jako kamenivo do betonových směsí menších pevnostních tříd.

Cihelný recyklát se používá na zásypy, výplně do cihlobetonů a v produkci prefabrikovaných prvků. Nadrcením na nízkou frakci se získá cihelná moučka, která se používá při výrobě umělého povrchu antuky.

Beton a keramický odpad představuje velký objem celkově vyprodukovaných odpadů zejména při demolici. V takovém případě lze využít mobilních recyklačních linek. Toto řešení šetří náklady na přepravu stavebního odpadu a jeho skladování, naopak vznikají zvýšené nároky na zamezení prašnosti a hluku, výsledný recyklát také nemusí být tak kvalitní jako ve specializovaných recyklačních linkách.

Zpracování SDO v místě akce je vhodné tam, kde je zajištěno dostatečné množství materiálu ke zpracování a kde bude i využití pro recyklát. K tomuto účelu se používají mobilní recyklační linky, které jsou pojízdné, nebo semimobilní linky, které jsou stacionární, ale je možno je jednoduše přemístit. Tyto recyklační linky bývají většinou drtiče s minimálním nebo žádným tříděním recyklátu na frakce a separaci nežádoucích materiálů.

V lokalitách, kde je možnost zajistit dlouhodobý, stabilní a dostatečný přísun SDO, existují specializovaná **recyklační střediska** schopné kvalitněji zpracovat odpad. Tyto recyklační linky jsou schopné vytržít nežádoucí materiály, jako je kov nebo hlína, a zároveň roztržít výsledný recyklát podle jednotlivých frakcí. Jednoduché linky materiál vytržít a nadrtí na jednu požadovanou frakci. Linky se suchým tříděním materiál lépe vytržít od hlíny, písků i kovů a roztržít na různé frakce. Linky se suchým a mokřým

tříděný materiál rozdrťí, vyčistí od magnetických nečistot, pomocí mokrého procesu vyčistí a rozdělí podle frakcí. Mokrý čistění se používá u materiálu nejnižších frakcí do 16/32.

Skupina 17 02 - Dřevo, sklo a plasty

Dřevo lze ze předpokladu splnění mechanických a pevnostních požadavků znovu využít přímo jako stavební prvky. Pokud tyto nároky již nesplňuje, lze jej recyklovat několika způsoby. Nejčastěji se využívá mechanické drcení dřeva. Vzniklá dřevěná drť se ručně nebo strojně protřídí od nežádoucích materiálů a následně lze použít jako vstupní surovina pro výrobu dřevotřískových desek nebo pro výrobu biomasy a následné energetické využití. Další možnost zpracování je chemický rozklad dřeva, kdy se pomocí chemických procesů dřevo rozloží na vlákna, odstraní nečistoty a následně se využije pro výrobu papíru.

Sklo představuje ideální materiál k recyklaci. Stavební odpadní sklo je potřeba dobře očistit od případných nečistot, jako můžou být barvy, omítka či dřevěné rámy a roztrdit podle barevnosti skla. Následně sklo putuje na linku, kde se rozdrťí a s malou příměsí nového skla se roztaví a odleje se v nové sklo. Vzhledem ke své materiálové povaze lze sklo recyklovat téměř do nekonečna.

Plasty je třeba před recyklací roztrdit dle jednotlivých druhů. Ve stavebnictví se používá několik druhů plastů, které se liší i procesem recyklace, níže jsou vyjmenované jen ty nejpoužívanější. **Polypropylen (PP)** se recykluje tavením a použitím coby přísady pro novou výrobu, vyrábí se z něj například potrubí nebo geotextilie. **Polyvinylchlorid (PVC)** se vyskytuje ve formě odpadních potrubí, dveřních a okenních rámu a podlahové a střešní krytiny. Recykluje se buď mechanicky, kdy se rozemele na malé částice a roztaví, nebo chemicky, kdy se chemickými procesy rozloží na původní látky. Výsledný produkt obou procesů se využívá k výrobě nového PVC. **Polyethylen s vysokou hustotou (HDPE)** se používá k výrobě vodovodních potrubí či nepropustných fólií. Na začátku recyklace se třídí podle tloušťky a následně se mechanicky drťí a taví do granulí, které slouží k výrobě nového plastu. **Polyethylen s nízkou hustotou (LDPE)**

se recykluje stejným způsobem jako HDPE. Ve stavebnictví se s tímto materiálem potkáme například ve formě fólií a plachet.

Skupina 17 03 - Asfaltové směsi, dehet a výrobky z dehtu

Asfaltový odpad jde téměř dokonale recyklovat. Při výrobě asfaltobetonu za studena lze místo až 20 % podílů asfaltu použít recyklát. Při výrobě recyklátu za horka najde uplatnění jako doplněk přírodního asfaltu při výrobě asfaltové směsi. Asfalt je rovněž velmi vhodný k recyklaci v místě stavby, například při rekonstrukci vozovky lze odstraněný asfalt roztavit a rovnou použít jako příměs do nové asfaltové pokrývky.

Dehet lze velmi složitě recyklovat na nový materiál, a proto se častěji využívá spalování s následným energetickým využitím.

Skupina 17 04 - Kovy (včetně jejich slitin)

Ve stavebnictví se používá několik kovů, zejména železo, hliník, měď a zinek, ze slitin pak ocel a mosaz. **Kovy a slitiny** se recyklují pomocí tavení a odlévání na nové výrobky. Důležité je kovy důkladně roztřídit podle materiálu a zbavit nečistot. Materiál je velmi vhodný k recyklaci, opětovným tavením téměř neztrácí na kvalitě.

Skupina 17 05 - Zemina (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst), kamení a vytěžená hlušina

Zemina a hlušina se recykluje přímo v místě stavby, pokud to podmínky dovolují. Používá se na zásypové, násypové a vyrovnávací práce. V ostatních případech lze využít odvoz zeminy, která následně bude použita například na rekultivaci skládek či krajiny zasažené těžbou. Pokud je zemina kontaminovaná, je třeba zajistit laboratorní rozbor, který určí možné nakládání se zeminou. V případě, že by kontaminovaná zemina byla nebezpečím pro životní prostředí, je třeba zajistit odvoz a skladování specializovanou firmou.

Kamení lze použít jako náhradu nově těženého kameniva pro podsypové práce zejména u silničních staveb. Odpadní kamenivo je potřeba roztřídit podle jednotlivých frakcí

a ideálně také podle druhu. K tomuto se využívají mechanizované třídiče kameniva. Podle potřeby lze recyklované kamenivo mechanicky rozdrtit na menší frakci. V případě velkého znečištění například zeminou je třeba před použitím provést čištění recyklovaného kameniva. Před použitím je třeba provést laboratorní zkoušky pevnosti.

Skupina 17 06 - Izolační materiály a stavební materiály s obsahem azbestu

Ve stavebnictví se používá několik druhů izolačních materiálů, níže jsou vyjmenovány jen ty nejpoužívanější.

Polystyren (EPS a XPS) se rozemele na malé částice a následně se za vysokých teplot taví a zpět granuluje. Recyklát se používá jako příměs pro výrobu nového polystyrenu. Před recyklací je potřeba polystyren ze stavebnictví zbavit nečistot, zejména zbytků omítky a lepidla.

Minerální vata se podobně jako polystyren za vysokých teplot taví a následně se využívá k výrobě nové minerální vaty. Bohužel dnes je proces sběru použité vaty k recyklaci složitý, a proto se recyklace používá převážně pouze v rámci výrobního závodu, kdy se recyklují odřezky.

Polyuretan (PUR) lze nadrtit a využít coby druhotnou surovinu. Z recyklovaného polyuretanu se vyrábí například izolační rohože nebo matrace.

Foukaná izolace je již sama o sobě recyklovaný materiál, většinou je vyrobena z recyklovaného papíru a dřeva. Přesto ji lze dát využít. Po uplynutí životnosti najde uplatnění jako hnojivo, lze zkompostovat nebo spálit a energeticky využít.

Materiály s obsahem azbestu nelze recyklovat, jelikož jakékoliv zacházení s azbestem představuje zdravotní riziko. Demolici azbestu musí provádět specializovaná firma, která azbest bezpečně odstraní, následně uloží do neprodyšných obalů a odveze na skládku nebezpečných odpadů, kde se skladuje v utěsněných sudech či kontejnerech.

Skupina 17 08 - Stavební materiál na bázi sádry

Sádra je další z materiálů velmi vhodných k recyklaci, během procesu recyklace totiž nemění své chemické složení. Odpad ze sádry lze mechanicky nadrtit na jemný prášek a použít jako přísadu k nové sádře pro další výrobu. V případě výrobků ze sádry je po drcení ještě nutné prášek očistit, například o papír používaný v sádrokartonových deskách.

[11]

Skupina 17 09 - Jiné stavební a demoliční odpady

Tuto skupinu většinou tvoří nevytříděný demoliční odpad a suť. Tento odpad lze podrtit a vznikne tak směsný recyklát. Tato nekvalitní směs složená z betonu, keramického zdiva, malt, zbytků dřeva, asfaltů, minerální vaty a dalších materiálů může být použita například jako podloží pro vozovky.

[12]

3.4.4.3 Odstranění odpadu

Pokud odpad nelze zpracovat vhodnějším řešením, přichází na řadu odstranění odpadu. To probíhá zpravidla spalováním, které je buď energetické, tedy produkuje elektrickou energii, nebo neenergetické, kde se používá podpůrné palivo a produkuje pouze znečištění ovzduší. I proto je spalování odpadů regulováno s ohledem na zákon o ochraně ovzduší a hospodaření s energií.

3.4.4.4 Skládování a skladování

Odpad, který nelze využít žádnou ze současných technologií, končí na skládce. Uložený materiál musí splňovat požadavky na ochranu životního prostředí.

Nebezpečný odpad se umísťuje na skládky nebezpečného odpadu, pokud se jedná o odpad, který musí být uchován za určitých speciálních podmínek, umísťuje se do podzemních či nadzemních skladů.

Umisťování stavebního odpadu na skládky přináší náklady na manipulaci a převoz odpadu a poplatky za skládkování. Zároveň vzniká největší zátěž na životní prostředí a materiál mizí z výrobního cyklu. Jedná se tak o nejméně vhodně řešení, které zpravidla přichází až jako poslední možné.

[13]

3.5 Nahrazení primárních nerostných surovin ve stavebnictví

Kamenivo tvoří objemově více než polovinu všech používaných materiálů ve stavebnictví. Samotné kamenivo se využívá pro vyrovnávací práce, násypy, zásypy a podsypy nejen pod silniční stavby. Větší část kameniva se pak používá jako plnivo do betonových směsí, bez kterých se žádná stavba neobejde.

Ještě do nedávna téměř všechno spotřebované kamenivo pocházelo z nově vytěžených zdrojů, což představuje několik problémů. Nově těžené suroviny nelze získávat do nekonečna, dříve či později narazíme buď na nedostatek přírodních zdrojů, nebo na přílišné zničení krajiny těžbou.

Proto je třeba řešit alternativní zdroje kameniva a snižovat potřebu nové těžby. Vhodný náhradní zdroj představuje betonový a cihelný recyklát a recyklované kamenivo. Nedosahuje sice takové kvality jako nově těžené kamenivo, ale vzhledem k velkému množství, ve kterém se ve stavebnictví vlivem demolic nachází, se jedná o surovinu, se kterou je třeba počítat. Kromě odbourání odpadu může její zpracování přinést i ekonomickou úsporu do budoucna.

Nahradit nově těžené kamenivo recykláty je vhodné v případech, kdy nejsou kladeny vysoké nároky na kvalitu. Využit lze pro vyrovnávací práce, podsypy pod silniční a dálniční výstavbu, dále pak jako plnivo v betonech nižší pevnosti, které budou v neagresivním prostředí. Naopak recyklát se nehodí na železniční výstavbu a do betonů vyšší kvality a pevnosti. V těchto případech bude pravděpodobně vždy potřeba nově těžené kamenivo.

3.5.1 Využití kameniva a štěrkopísku ve stavebnictví

Kamenivo a štěrkopísek jsou nedílnou součástí stavebnictví a nacházejí široké uplatnění v různých fázích stavební výroby. Typy a frakce používaného kameniva se liší ve svých vlastnostech, a tudíž se k různým účelům hodí různé typy kameniva.

3.5.1.1 Výroba betonu a malt

Výroba betonu a malt je jedním z nejčastějších využití kameniva a štěrkopísku ve stavebnictví. Kamenivo se přidává do směsí jako plnivo a poskytuje pevnost a stabilitu těmto materiálům. Správná frakce a kvalita kameniva jsou klíčové pro dosažení požadovaných mechanických vlastností betonu a malt. Kamenivo se promíchává s cementem, vodou a případně dalšími přísadami, aby se vytvořila homogenní směs, která se následně používá při téměř každé stavební akci, zejména na základy, stěny, sloupy a další prvky.

3.5.1.2 Výroba stavebních směsí pro výrobky

Kamenivo a štěrkopísek se také používají při výrobě stavebních směsí pro různé výrobky, například dlažební kostky, tvarovky, a další prefabrikované prvky. Tyto směsi často vyžadují pevné a stabilní plnivo, které poskytuje integritu a odolnost. Vlastnosti směsi lze ovlivnit kromě použitého kameniva a pojiva také přimícháním pojiv a přísad.

3.5.1.3 Zpevňování a stabilizace půd

Dalším využitím pro kamenivo a štěrkopísek je zpevňování a stabilizaci půd, zejména na místech s nestabilním podložím nebo nevhodnou únosností. Kamenivo se používá pro vytvoření pevné vrstvy, která snižuje riziko sesuvu půdy. V závislosti na konkrétních podmínkách se kamenivo může používat samostatně nebo ve spojení s pomocnými materiály, jako jsou například geotextilie nebo výztužné sítě.

3.5.1.4 Zpevněné plochy a dopravní stavby

Kamenivo a štěrkopísek se využívají při výstavbě zpevněných ploch a dopravních staveb, jako jsou silnice, parkoviště, chodníky a další. Při výstavbě těchto ploch se kamenivo používá jako podsypová vrstva, která zajišťuje pevnost, odvodňování a odolnost proti opotřebení.

3.5.1.5 Podklad pod základové konstrukce

Pevné a stabilní podloží je nutnou podmínkou pro správné založení stavby. Kamenivo a štěrkopísek se používá jako podkladová vrstva pro betonové základy, aby se zajistila jejich pevnost, stabilita a přenos zatížení budovy ze základové konstrukce do únosné zeminy.

3.5.2 Nahrazení kameniva a štěrkopísku stavebními recykláty

Stavebnictví se začíná potýkat se snižující se zásobou nerostných stavebních surovin, což se projevuje jejich nedostatkem, zvyšující se cenou a nutností dovážet suroviny na místa, kde již lokální přírodní zdroje nejsou tak bohaté. Jedním z přístupů, který nabízí řešení, je nahrazení tradičních surovin, jako je kamenivo a štěrkopísek, stavebními recykláty. Betonový a cihelný recyklát a recyklované kamenivo mohou sloužit jako alternativa k přírodním surovinám ve stavebnictví.

3.5.2.1 Betonový a cihelný recyklát

Betonový a cihelný recyklát vzniká třízením a drcením stavebních odpadů ze skupiny 17 01. Tento recyklát lze použít jako náhradu přírodního kameniva při výrobě betonu. Možnosti tohoto použití stanovuje norma ČSN EN 206+A2. Tato norma určuje minimální a maximální poměr cihelného a betonového recyklátu a maximální podíl výsledného recyklátu v konečné betonové směsi. Použitelné množství a typ recyklátu se liší podle aplikace výsledného betonu, jelikož recyklát ovlivňuje jeho vlastnosti, jako je pevnost a pružnost. Beton s příměsí recyklátu lze použít pro monolitické využití přímo na stavbě a také pro prefabrikovanou výrobu různých stavebních prvků.

V případě přebytku betonového a cihelného recyklátu nebo absence využitelnosti v betonové směsi lze tento recyklát také použít jako kamenivo pro podklad základových konstrukcí, podsypy, obsypy, násypy a další terénní úpravy.

3.5.2.2 Recyklované kamenivo

Recyklované kamenivo se získává čištěním a třízením stavebního odpadu ze skupiny 17 05. V případě správného vytřídění na příslušné frakce a zbavení nečistot se jedná

o materiál s téměř identickými vlastnostmi jako přírodní kamenivo. Recyklované kamenivo lze tedy využít ve všech případech, které nekladou na materiál velmi přísné požadavky na pevnost a další mechanické vlastnosti. Aplikace zahrnují například násypy a podsypy pro silniční a dopravní stavby, podklad pod základové konstrukce a terénní úpravy.

Nejrozšířenější aplikací kameniva, při které nelze použít recyklované kamenivo, je kolejové lože pro vysokorychlostní tratě. Namáhání kameniva je v tomto případě velmi vysoké a recyklované kamenivo nesplňuje vysoké nároky, které stanovuje norma.

3.6 Cenové porovnání stavebních recyklátů s tradičními materiály

Cenová výhodnost či nevýhodnost aplikací cirkulární ekonomiky se liší podle jednotlivých řešení. Předcházení vzniků odpadů může být ekonomicky pouze ziskové, jelikož se snižují náklady na odvoz a likvidaci odpadů za cenu snížení pohodlí. Na druhou stranu použití recyklovaných alternativ může být oproti tradičním materiálům v některých případech výrazně dražší a jedná se tak o ekonomicky ztrátové rozhodnutí.

Zatímco u selektivní demontáže, primární recyklace či plánování životního cyklu stavby lze těžko porovnávat náklady cirkulárního řešení oproti tradičnímu, u použití výrobků z recyklátu oproti výrobkům z nových surovin je toto porovnání přímočařejší. V tabulce níže je cenové porovnání vybraných tradičních stavebních materiálů a jejich alternativa z recyklovaných surovin.

Tabulka 1: Cenové porovnání tradičních materiálů s alternativou z recyklátů

Stavební prvek	Tradiční materiál		Recyklovaný materiál		Rozdíl v ceně	
	Cena	MJ	Cena	MJ		
Podsyp	Štěrkopísek frakce 0-8 C		Recyklát betonový 0/16		15,5 Kč	4,6 %
	337,5 Kč	tuna	322,0 Kč	tuna		
Základové konstrukce	Beton EASYCRETE C16/20		Beton ECOCRETE C16/20		775,0 Kč	21,2 %
	3 655,0 Kč	m ³	2 880,0 Kč	m ³		
Izolace obvodových stěn	Deska polystyrénová fasádní EPS tl. 150		Deska FOAMGLAS T4+ sklo izolační pěnové tl. 150 mm		- 2 123,0 Kč	-499,1 %
	532,0 Kč	m ²	2 655,0 Kč	m ²		
Izolace stropu	Deska izolační polystyrenová PERIMETER tl. 100 mm		Izolace foukaná celulózová STEICO floc, vrstva tl. 100 mm		394,0 Kč	63,8 %
	618,0 Kč	m ²	224,0 Kč	m ²		
Zpevněné plochy	Kamenivo těžené 0/16 Tasovice, JHM		Recyklát asfaltový 0/22		65,0 Kč	23,0 %
	282,0 Kč	tuna	217,0 Kč	tuna		
Obsyp inženýrských sítí	Štěrkopísek k zásypu		Recyklát cihelný 0/16		25,0 Kč	9,9 %
	252,0 Kč	tuna	227,0 Kč	tuna		

[14; 15]

U betonových a cihelných recyklátů, recyklovaného betonu a foukané izolace je vidět peněžní úspora oproti tradičním řešením. Naopak u izolace fasády pomocí izolačních desek je udržitelné řešení z recyklovaného pěnového skla pětikrát dražší než pomocí klasického polystyrenu.

Je patrné, že rozdílnost v ceně je závislá na používaných materiálech a oblasti stavební činnosti. Konečná bilance a případná ekonomická ztráta či úspora je patrná až po provedení kompletního rozpočtu s tradičními materiály a porovnání s rozpočtem s udržitelnými materiály.

4 Analýza zdrojů primárních surovin a jejich nahrazení stavebními recykláty

Cílem praktické části je zjistit možnosti využití betonového recyklátu a recyklovaného kameniva coby substitutu za drcený stavební kámen a štěrkopísky.

První část analyzuje současný stav produkce stavebního kamene a štěrkopísků v ČR, jeho historický vývoj a předpokládaný vývoj do budoucna. Druhá část analyzuje současnou produkci a využití recyklátů ve stavebnictví. Třetí část pojednává o možném navýšení využívání recyklátu a teoretické limity využití.

4.1 Analýza současného stavu produkce primárních surovin v ČR

Analýza byla zpracována na základě několika veřejně dostupných zdrojů, které poskytuje Česká geologická služba (ČGS).

ČGS v roce 2020 zpracovala na požadavek Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky průzkum s názvem *Současný stav disponibilních zásob u využívaných ložisek stavebního kamene a štěrkopísku v ČR*. Data z této studie jsou vzhledem ke své citlivosti neveřejná, je však dostupný odborný článek se stejným názvem od Ing. Josefa Godányho, který shrnuje výsledky této studie.

[16]

Od roku 1992 vydává každoročně ČGS publikaci s názvem *Surovinové zdroje ČR*, ve kterých popisuje aktuální stav ložisek, zásob a těžby u vybraných nejdůležitějších nerostných surovin na území České republiky. Obsah publikace se v průběhu let lehce měnil, ale vždy obsahuje důkladně zpracovaná data o rudních a nerudních surovinách, energetických nerostných surovinách a o stavebních surovinách.

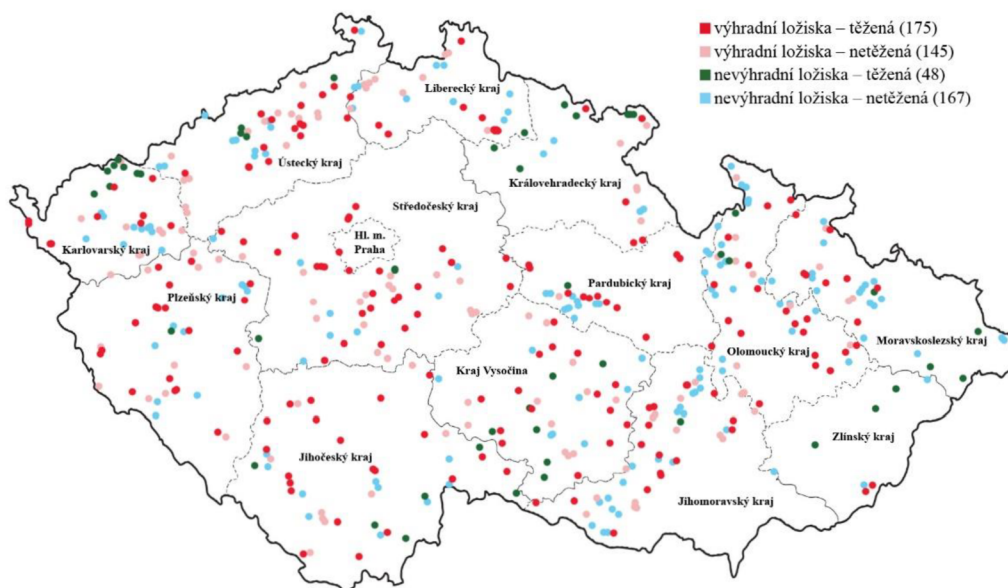
[17]

4.1.1 Produkce stavebního kamene

4.1.1.1 Ložiska stavebního kamene

Ložiska stavebního kamene jsou rozmístěna po celém území České republiky. Kromě oblasti Severočeské tabule a české části Vnějších Západních Karpat, kde se téměř žádná ložiska nenachází, jsou ložiska rozmístěna rovnoměrně.

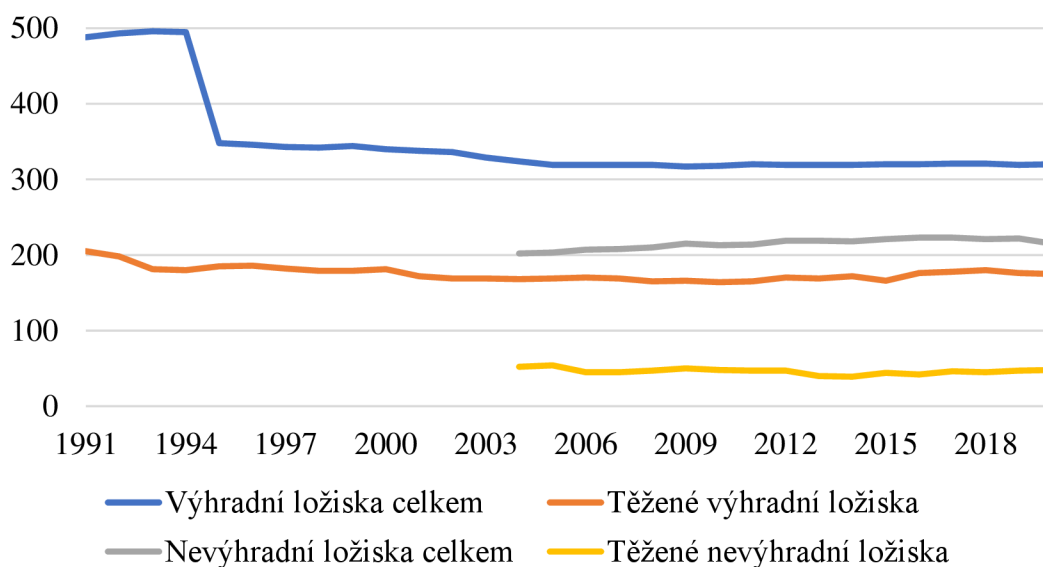
Výhradní ložiska dlouhodobě tvoří přibližně 60 % všech ložisek stavebního kamene, zbylých 40 % tvoří nevýhradní ložiska.



Obrázek 2: Umístění ložisek stavebního kamene (stav 2020)

[16]

Počet ložisek stavebního kamene



Graf 3: Počet ložisek stavebního kamene (1991-2020)

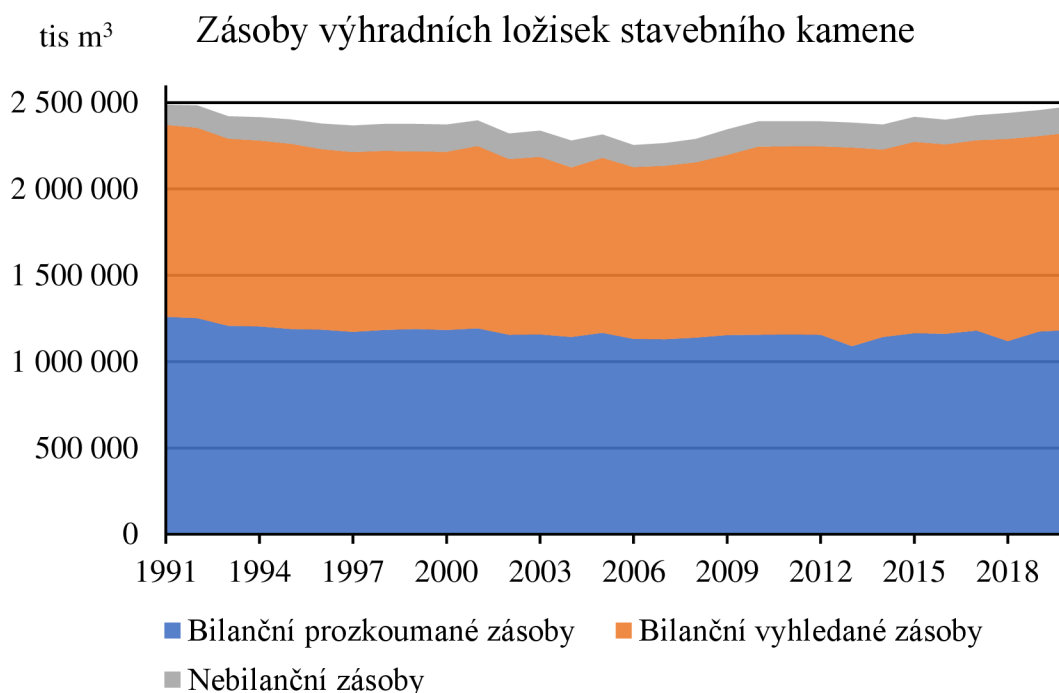
[17]

Výhradní ložiska

Výhradní ložiska dlouhodobě tvoří přibližně ze 49 % bilanční prozkoumané zásoby, 45 % tvoří bilanční vyhledané zásoby a zbylých 6 % připadá na nebilanční zásoby.

Počet výhradních ložisek dlouhodobě mírně klesá, s výjimkou v roce 1994, kdy meziročně poklesly o 147 ložisek, což představuje pokles o 30 %.

Zásoby výhradních ložisek v roce 1991 byly téměř 2 500 000 tis. m³. Následujících 16 let zásoby pomalu klesaly až na 2 250 000 tis. m³, což představuje úbytek o 10 % původního stavu. V roce 2008 se trend obrátil a zejména bilanční vyhledané zásoby vzrostly do roku 2020 o 12 %. V současnosti jsou zásoby výhradních ložisek srovnatelné se zásobami v roce 1991.



Graf 4: Zásoby výhradních ložisek stavebního kamene (1991-2020)

[17]

Nevýhradní ložiska

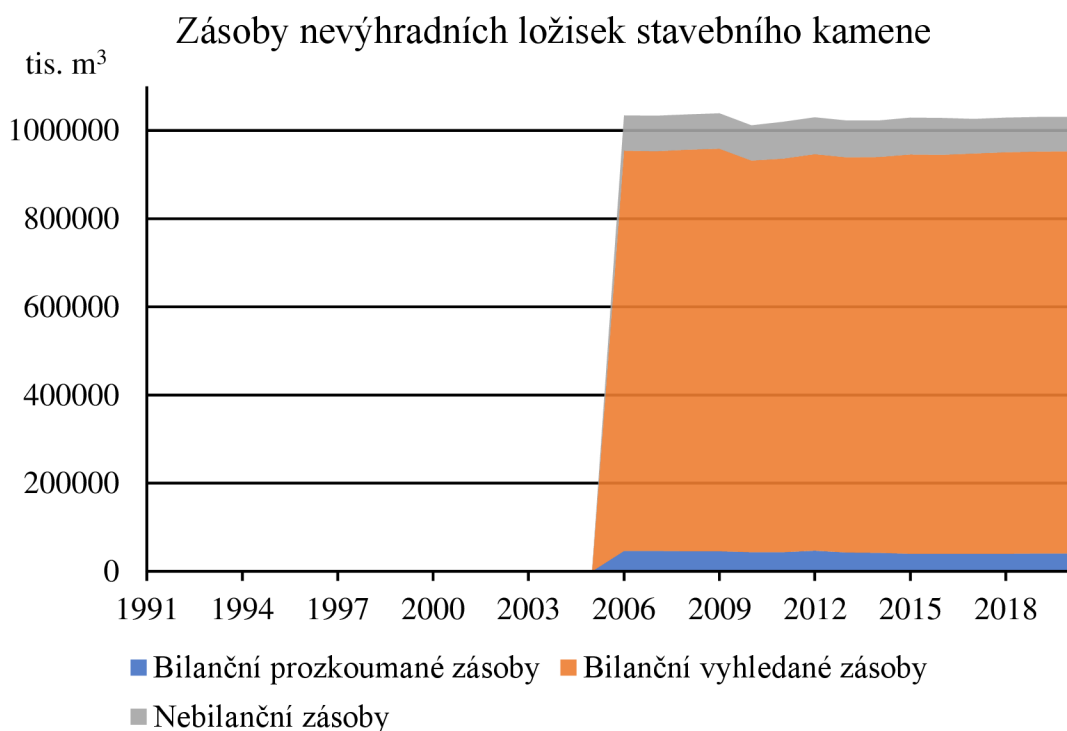
Zásoby nevýhradních ložisek se začaly evidovat až od roku 2006, starší data nejsou k dispozici. Lze však předpokládat, že poměr nevýhradních a výhradních ložisek v letech 1991-2005 byl přibližně srovnatelný s poměrem v letech 2006-2020.

Rozložení u nevýhradních ložisek je oproti výhradním zcela jiné. Převažují bilanční vyhledané zásoby, které tvoří přibližně 88 %, bilanční prozkoumané zásoby tvoří 4 % a zbylých 8 % připadá na nebilanční zásoby.

Z údajů lze vyzorovat, že výhradní ložiska bývají mnohem více prozkoumaná, zatímco nevýhradní ložiska bývají prozkoumaná pouze v míře potřebné pro těžbu v blízké budoucnosti.

Celkové zásoby nevýhradních ložisek na začátku evidence v roce 2006 byly 1 035 000 tis. m³ a od té doby jsou více méně stabilní. Nebilanční zásoby zůstávají

stabilní kolem 80 000 tis. m³ a bilanční vyhledané zásoby lehce rostou, z 907 000 tis. m³ v roce 2006 na 912 000 tis. m³ v roce 2020. Bilanční prozkoumané zásoby, na kterých probíhá těžba, klesají, z 47 000 tis. m³ v roce 2006 na 40 500 tis. m³ v roce 2020, což představuje pokles o 13 %.



Graf 5: Zásoby nevýhradních ložisek stavebního kamene (2006-2020)

[17]

4.1.1.2 Objem těžby

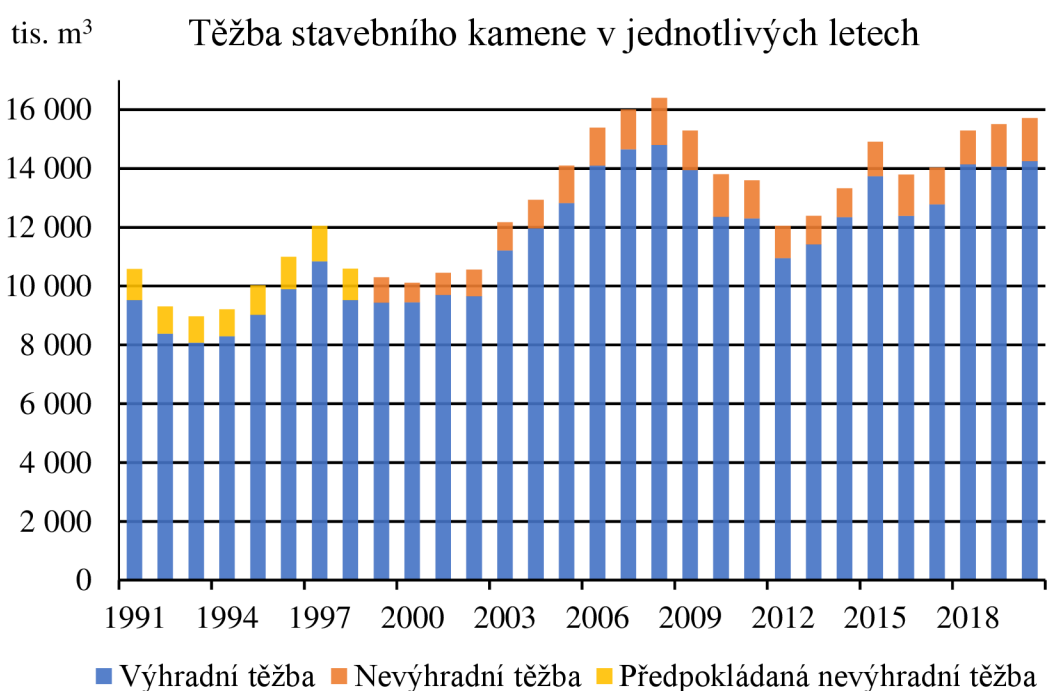
Těžba na výhradních ložiskách probíhá přibližně na polovině celkových výhradních ložisek. Vzhledem k poklesu počtu výhradních ložisek (z 488 v roce 1991 na 320 v roce 2020) ubývá také těžných ložisek (z 205 v roce 1991 až na 175 v roce 2020).

Těžená nevýhradní ložiska tvoří přibližně čtvrtinu všech nevýhradních ložisek. Oproti výhradním ložiskům jsou tedy méně využívána. Celkových nevýhradních ložisek mírně přibývá (z 202 v roce 2006 na 215 v roce 2020), počet těžených nevýhradních ložisek zůstává s malými výkyvy téměř neměnný (z 52 v roce 2006 na 48 v roce 2020).

Objem těžby je tvořen přibližně z 90 % těžbou na výhradních ložiskách, zbylých 10 % tvoří těžba na nevýhradních. Roční těžba se u nevýhradních ložisek sleduje až od roku 1999, lze však předpokládat, že i v letech 1991-1998 tvořila nevýhradní těžba přibližně 10 % celkové těžby.

Celková těžba meziročně dlouhodobě roste s jediným viditelným výkyvem v letech 2009-2013, kdy však poklesla i celková stavební produkce. Příčina tohoto propadu v celkovém stavebnictví a přeneseně i v potřebě a těžbě stavebního kamene pramenila z finanční krize v roce 2007. Mimo tento krátkodobý výkyv lze pozorovat stabilní růst těžby a bez zakročení lze předpokládat podobný růst i do budoucna.

Zatímco na začátku sledovaného období se celková těžba stavebního kamene pohybovala kolem 10 000 tis. m³, postupně narostla o přibližně 50 % a v roce 2018 přesáhla hranici 15 000 tis. m³.



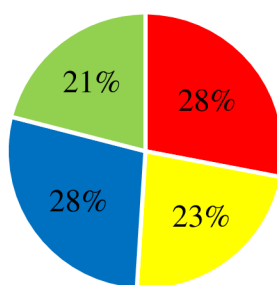
Graf 6: Těžba stavebního kamene v jednotlivých letech (1991-2020)

[17]

4.1.1.3 Životnost kamenolomů

Podle studie zpracované ČGS dojde do roku 2030 k uzavření 50 % až 60 % kamenolomů. Za hlavní příčinu tohoto poklesu ČGS považuje výrazné snížení zásob v těžných ložiskách v důsledku zvyšující se těžby a pomalý proces otevírání nových ložisek, který se běžně táhne i 10 a více let. Další příčinou bude i neschopnost splnit přísné požadavky ČSN EN na stavební kámen, zejména při použití na konstrukčně náročných stavbách, jako je například plánovaná vysokorychlostní železniční trať.

Předpokládaná životnost kamenolomů

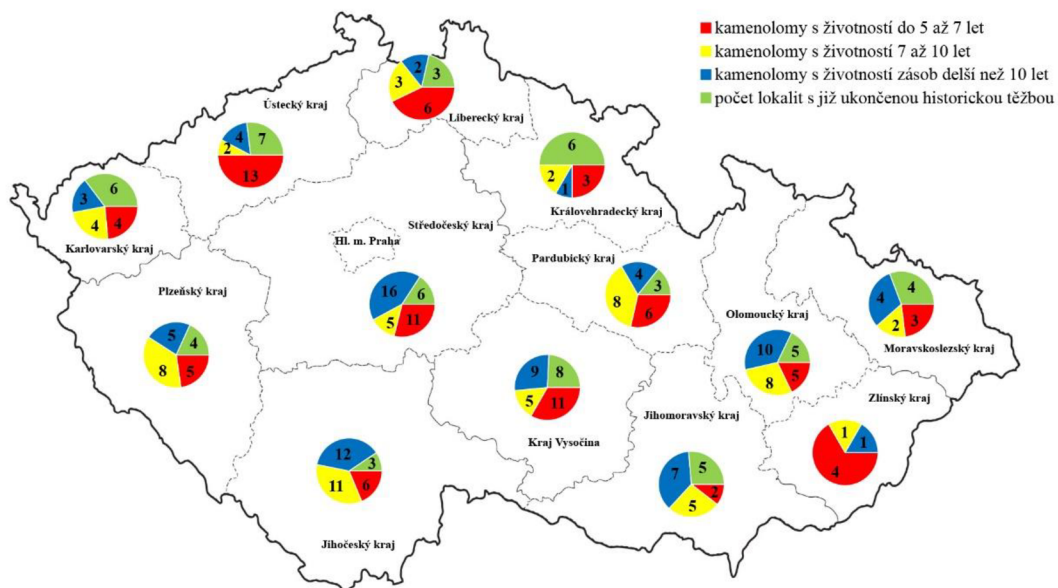


- kamenolomy s životností do 5 až 7 let
- kamenolomy s životností 7 až 10 let
- kamenolomy s životností delší než 10 let
- počet lokalit s již ukončenou historickou těžbou

Graf 7: Předpokládaná životnost kamenolomů (stav 2020)

[16]

Nerovnoměrnost ložisek v jednotlivých krajích povede k nutnosti převážet stavební kámen do krajů s nízkým počtem dlouhodobě provozuschopných kamenolomů, zejména do Zlínského, Královehradeckého a Libereckého kraje. Tato potřeba přepravy povede k prodražení ceny stavebního kamene a také k zátěži jak na samotné komunikace a infrastrukturu, tak také na životní prostředí.



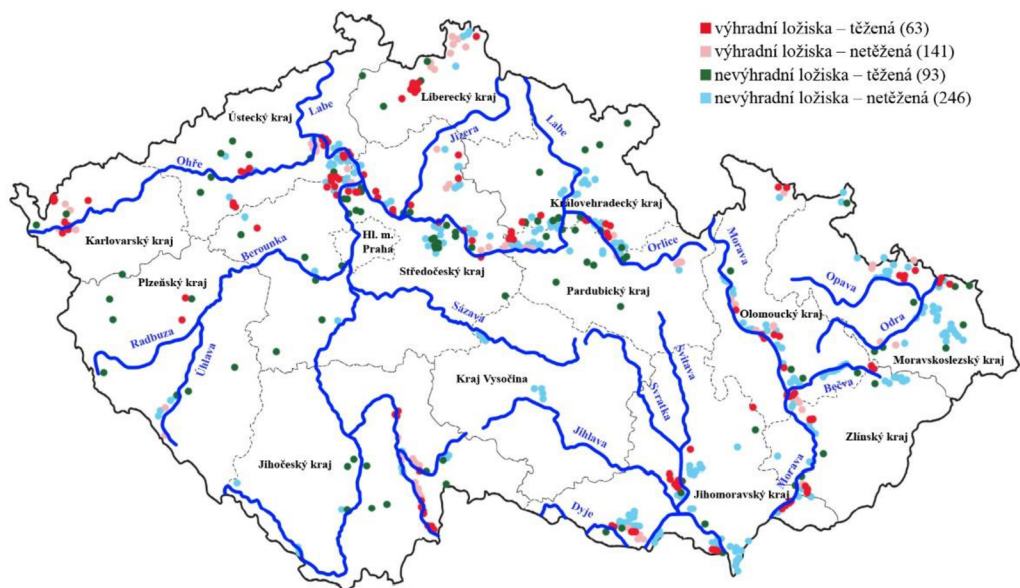
Obrázek 3: Životnost kamenolomů podle krajů (stav 2020)
[16]

4.1.2 Produkce štěrkopísku

4.1.2.1 Ložiska štěrkopísku

Ložiska štěrkopísku se nachází zejména v povodí velkých českých řek. Jedná se o povodí Labe, Vltavy, Moravy a Odry. Menší význam a spíše lokální charakter mají ložiska na Ostravsku, Olomoucku či v severních Čechách.

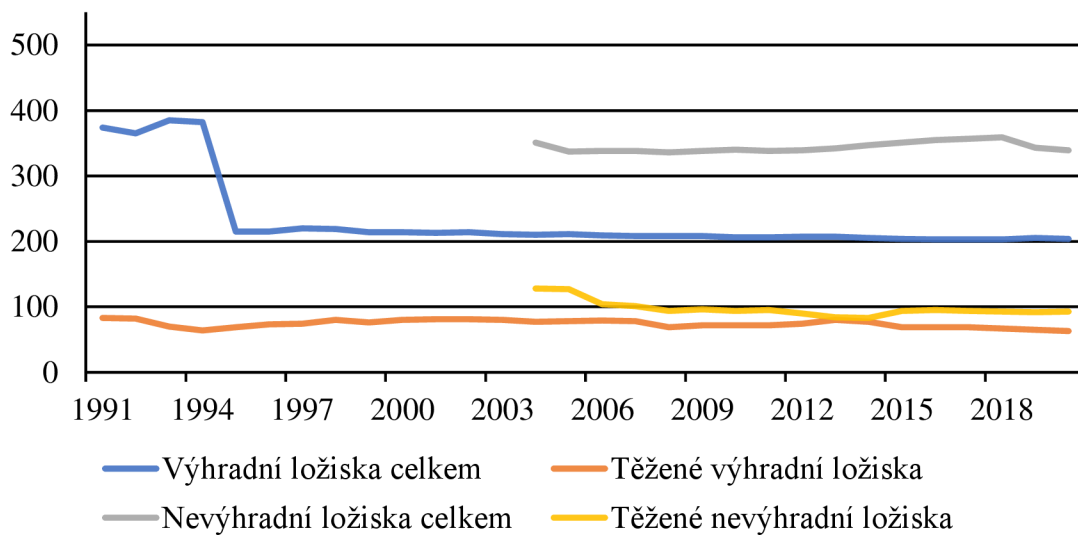
Poměr výhradních a nevýhradních ložisek u štěrkopísku je přibližně opačný poměru stavebního kamene. Nevýhradní ložiska tvoří 62 % všech ložisek štěrkopísku, zbylých 38 % tvoří výhradní ložiska.



Obrázek 4: Umístění ložisek šterkopísku (stav 2020)

[16]

Počet výhradních ložisek šterkopísku



Graf 8: Počet ložisek šterkopísku (1991-2020)

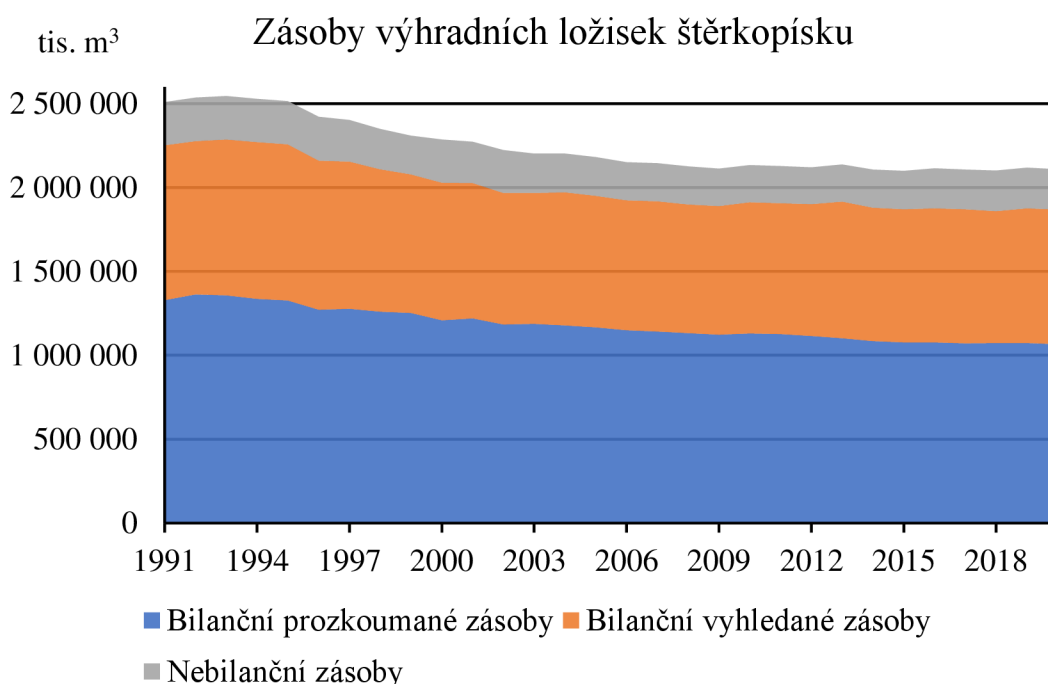
[17]

Výhradní ložiska

Poměr zásob na výhradních ložiskách štěrkopísků je podobný jako u stavebního kamene. 52 % zásob tvoří bilanční prozkoumané, 37 % bilanční vyhledané a na nebilanční připadá zbylých 11 % zásob.

Počet výhradních ložisek dlouhodobě klesá, z 374 ložisek v roce 1991 až na 204 ložisek v roce 2020, což představuje pokles o 45 %.

Zásoby výhradních ložisek nezanedbatelně klesají. V roce 1991 celkové zásoby činily 2 500 000 tis. m³, zatímco v roce 2020 činily 2 100 000 tis. m³, klesly tak o 15 % během 29 let. Bilanční prozkoumané zásoby ve sledovaném období klesly z 1 350 000 tis. m³ až na 1 050 000 tis. m³, bilanční vyhledané zásoby klesají podobným tempem, z 920 000 tis. m³ až na 800 000 tis. m³. Pomaleji klesají nebilanční zásoby, z původních 260 000 tis. m³ až na 241 000 tis. m³.



Graf 9: Zásoby výhradních ložisek štěrkopísku (1991-2020)

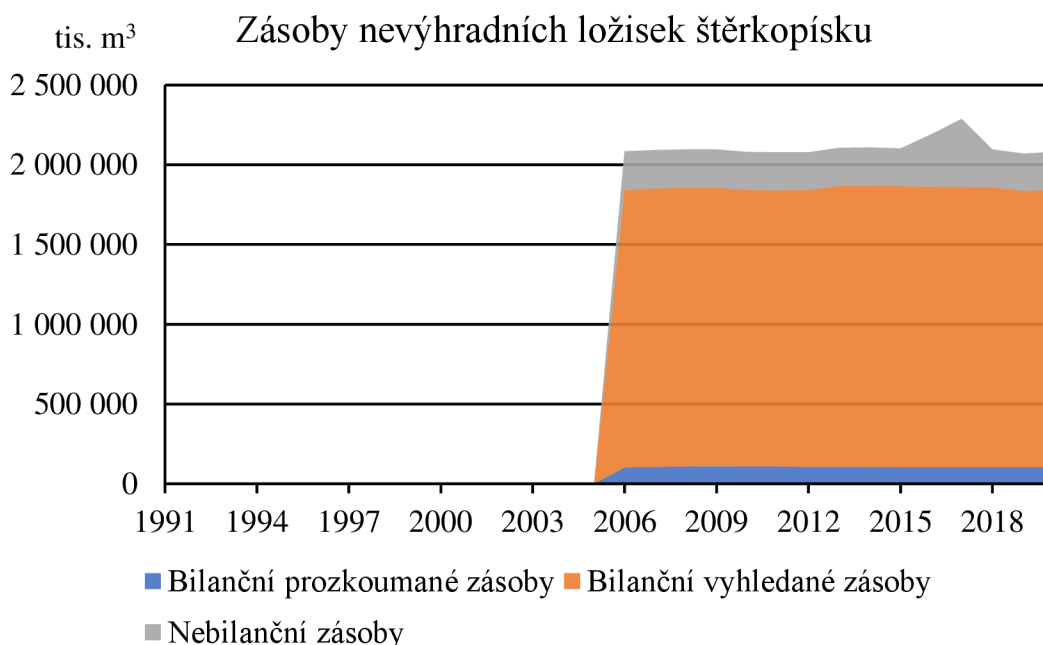
[17]

Nevýhradní ložiska

Stejně jako u stavebního kamene jsou k nevýhradním ložiskům pouze omezená data vzhledem k povinné evidenci až od roku 2006.

U nevýhradních ložisek štěrkopísků lze pozorovat podobný trend v rozložení jako o stavebního kamene, a tedy že zásoby prozkoumaných ložisek jsou pouze v takové míře, jaká je potřeba pro těžbu v krátkodobé budoucnosti. Bilanční vyhledané zásoby tvoří 83 % celkových zásob, nebilanční tvoří 12 % zásob a na bilanční prozkoumané připadá pouze 5 % zásob.

Až na jednorozhodný výkyv nebilančních zásob v roce 2017 jsou jednotlivé zásoby nevýhradních ložisek ve sledovaném období téměř neměnné. Bilanční vyhledané zásoby se pohybují kolem 1 740 000 tis. m³, bilanční prozkoumané kolem 105 000 tis. m³ a nebilanční kolem 250 000 tis. m³, celkové zásoby se tedy pohybují kolem 2 095 000 tis. m³.



Graf 10: Zásoby nevýhradních ložisek štěrkopísku (2006-2020)

[17]

4.1.2.2 Objem těžby

Podíl těžených výhradních ložisek z celkových ložisek se dlouhodobě drží kolem 35 %. Nominálně však pomalu ubývají celková i těžená ložiska. Celková ložiska klesla od roku 1991 o 45 %, z původních 374 ložisek až na 204 ložisek v roce 2020. Pokles těžených ložisek je menší, a to o 25 %, z původních 83 ložisek na 63 ložisek v roce 2020.

U nevýhradních ložisek šterkopísku lze pozorovat ztelnější pokles. Zatímco v roce 2004 bylo ze všech ložisek těžených 36 %, postupně tento poměr klesá a v roce 2020 bylo těžených pouze 27 %. Celkový počet nevýhradních ložisek klesl jen nepatrně, z 351 v roce 2004 na 339 v roce 2020, tedy o 4 %. Těžená ložiska však ubývají razantněji, z 128 v roce 2004 až na 93 v roce 2020, což představuje pokles o 27 %.

Poměr objemu těžby na výhradních a nevýhradních ložiskách není tak stabilní, jako u stavebního kamene. Těžba na nevýhradních ložiskách se eviduje až od roku 1999, lze však předpokládat, že poměr těžby na výhradních a nevýhradních ložiskách v letech 1991-1998 byl podobný poměru v letech 1999-2006, kdy tvořila výhradní ložiska přibližně 65 % těžby a nevýhradní ložiska zbylých 35 %. V letech 2007-2020 se procento těžby na nevýhradních ložiskách postupně zvyšovalo až na 45 % celkové těžby a na výhradní ložiska tak připadalo pouze 55 %.

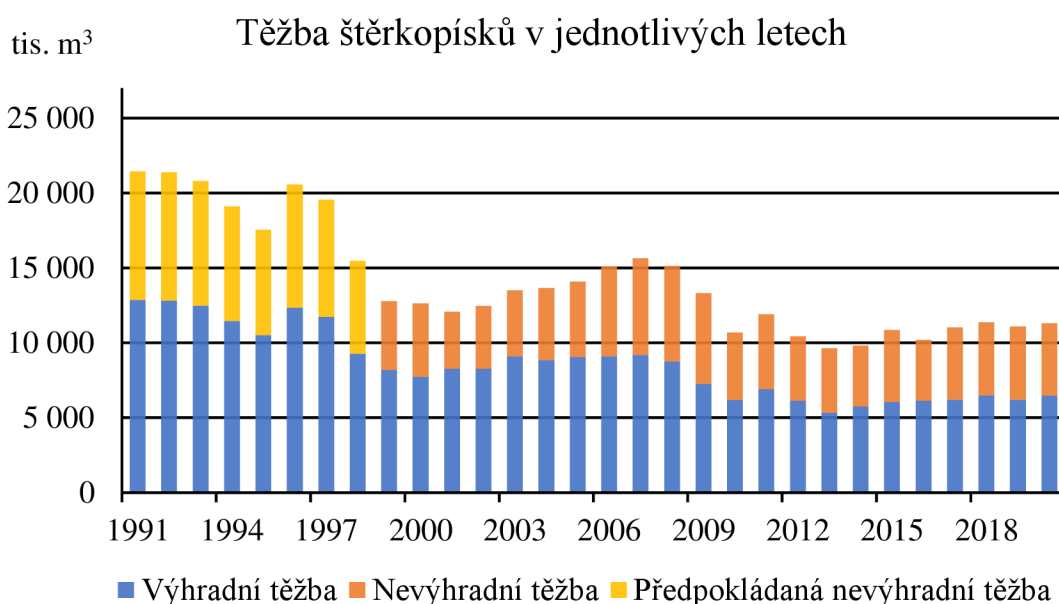
Těžba na výhradních ložiskách dlouhodobě výrazně klesá. V roce 1991 bylo těženo téměř 13 000 tis. m³ ročně, zatímco v roce 2020 pouze 6 500 tis. m³, těžba tedy poklesla o 50 %.

Navzdory tomuto klesajícímu trendu se evidovaná těžba na nevýhradních ložiskách drží na podobných úrovních. V roce 1999 činila nevýhradní těžba 4 600 tis. m³, v letech 2004-2007 vzrostla až na 6 500 tis. m³ a poté postupně klesala až na 4 800 tis. m³ v roce 2020.

Celková těžba meziročně dlouhodobě roste s jediným viditelným výkyvem v letech 2009-2013, kdy však poklesla i celková stavební produkce v důsledku finanční krize.

I přes stabilní a místy i rostoucí těžbu na nevýhradních ložiskách celková těžba znatelně klesá. Z předpokládané celkové těžby v roce 1991 21 000 tis. m³, na evidovanou celkovou těžbu 12 700 tis. m³ v roce 1999 až na 11 000 tis. m³ v roce 2020.

Podobně jako u těžby stavebního kamene lze u štěrkopísku vyzorovat krátkodobé navýšení těžby v letech 2005-2008, které následovalo propad až o 30 % v letech 2009-2013 v důsledku finanční krize. Na rozdíl od těžby stavebního kamene se však těžba štěrkopísku nevzpamatovala a nezačala opět růst.



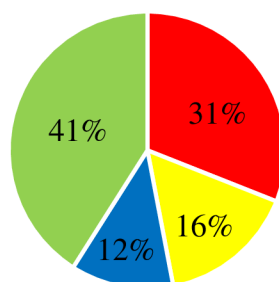
Graf 11: Těžba štěrkopísku v jednotlivých letech (1991-2020)

[17]

4.1.2.3 Životnost štěrkopískoven

Situace na poli se štěrkopískem je ještě více alarmující než u kamenolomů. Zejména výhradní ložiska štěrkopísku dlouhodobě stabilně klesají a podle ČGS by mohlo 60 % - 70 % dnes aktivních štěrkopískoven do roku 2030 ukončit svou činnost. Otevírání nových ložisek či rozšiřování stávajících je velmi složité z hlediska legislativy, životního prostředí a také z důvodu čerpání pitné vody u některých možných ložisek. Již dnes lze na trhu pozorovat zvyšující se cenu za těžené i drcené kamenivo a postupné snižování domácích zásob a produkce bude tento trend jenom zhoršovat.

Předpokládaná životnost štěrkopískoven

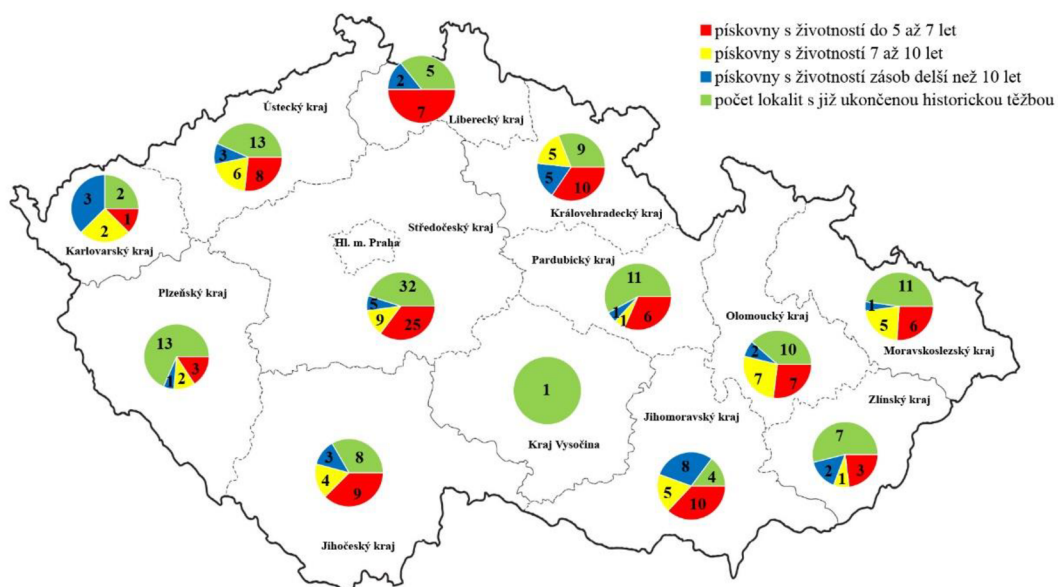


- pískovny s životností do 5 až 7 let
- pískovny s životností 7 až 10 let
- pískovny s životností delší než 10 let
- počet lokalit s již ukončenou historickou těžbou

Graf 12: Předpokládaná životnost štěrkopískoven (stav 2020)

[16]

Vzhledem k povaze umístění ložisek štěrkopísku je tato surovina zatížena velkou koncentrovaností v oblasti velkých řek a nízkým, místy až nulovým výskytem mimo tyto oblasti. Jihomoravský, Královehradecký a Středočeský kraj společně s Prahou jsou jediné kraje s pěti či více štěrkopískovny s životností přes deset let. Nejhůře je na tom kraj Vysočina, kde se momentálně nenachází žádná ložiska, velmi nízké zásoby jsou také ve Zlínském, Plzeňském a Karlovarském kraji. Nedostatek štěrkopísku nejdříve v těchto oblastech, ale později i v ostatních krajích, bude nutno řešit dopravou z jiných krajů či z okolních států. Zahraniční import kameniva sice může vyřešit krátkodobou poptávku, není to však vhodné řešení pro dlouhodobou udržitelnost a suverenitu českého stavebnictví.



Obrázek 5: Životnost štěrkopískoven podle krajů (stav 2020)
[16]

4.1.3 Shrnutí

Stavební produkce dlouhodobě vesměs stabilně roste. Tento trend lze vzhledem k neustále zvyšujícímu se počtu obyvatel a zvyšujícímu se věku dožití předpokládat také do budoucna.

Zásoby stavebního kamene prozatím nezaznamenávají znatelný pokles, ale těžba stabilně roste. Ložiska postupně ubývají a do 10 let se zastaví těžba na 65 % současně těžených ložiskách. Nová ložiska se nacházejí pouze v malém množství a jejich zprovoznění je zdlouhavé.

U štěrkopísku je viditelná snižující se těžba i celkové zásoby a pouze 20 % současných provozovaných ložisek má životnost nad 10 let. Vzhledem k vysoké nerovnoměrnosti rozložení ložisek štěrkopísků se s ubývajícím ložisky bude ještě více zvyšovat ekologická zátěž způsobená dlouhou přepravou štěrkopísků do místa stavby.

Podle odhadů až 60 % všech materiálů používaných při výstavbě tvoří beton, který je až ze 75 % tvořen kamenivem (písky, štěrkopísky, štěrk a drcený stavební kámen). Další přibližně 10 % stavební produkce je tvořeno samotným kamenivem.

Kamenivo tedy tvoří přibližně 55 % všech spotřebovaných stavebních materiálů. Vzhledem k zvyšující se spotřebě a snižujícím se zásobám je potřeba hledat alternativu k primární těžbě takto dominantní stavební suroviny.

[18]

4.2 Analýza současného stavu recyklace stavebního kamene a kameniva v ČR

Analýza byla zpracována na základě veřejných dat, která dlouhodobě vede a zpracovává Český statistický úřad (ČSÚ).

Od roku 2009 až do současnosti vydává každoročně ČSÚ publikaci s názvem *Produkce, využití a odstranění odpadů v ČR*. Publikace obsahuje podrobná data o produkci odpadů podle odvětví původu, materiálu a různých kvalifikací, dále se věnuje způsobům nakládání s odpady podle materiálu a původu a bilanci dovozu a vývozu odpadů. Obsah a metodika zpracování této publikace není konzistentní, ale několikrát se za dobu vydávání lehce změnila, což vede k náročnosti zpracování dat za celé období do jedné práce, přesto se jedná o nejkvalitnější veřejně dostupná data k tomuto tématu.

[19]

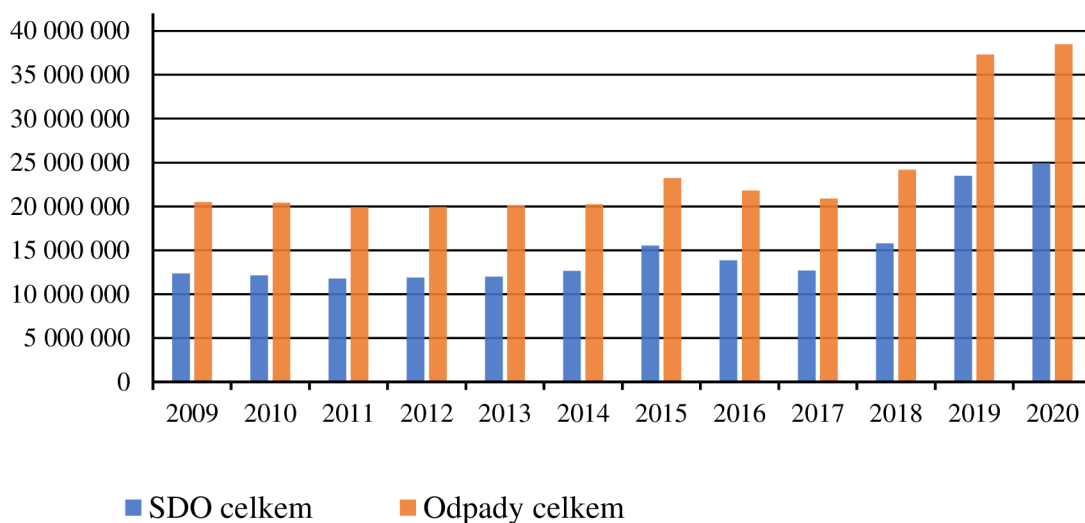
4.2.1 Produkce stavebního odpadu

4.2.1.1 Celková produkce odpadu v ČR 2009–2020

Celková produkce odpadů v ČR za rok 2020 dosáhla 38,486 mil. tun, z toho SDO tvořil 24,956 mil. tun, tedy téměř 65 % celkové produkce. Dlouhodobě se poměr stavebního odpadu vůči celku pohybuje kolem 60 % - 65 %.

Produkce stavebních odpadů a celková produkce odpadů

mil. tun



Graf 13: Produkce stavebních odpadů a celková produkce odpadů (2009-2020)

[19]

4.2.1.2 Dílčí produkce stavebních odpadů 2009–2018

Pro účely této práce byly sledovány pouze podnikové stavební odpady, tedy odpady produkované pouze ekonomickými subjekty zapsanými na území ČR. Tato kategorie odpadů je dlouhodobě sledována ČSÚ a nejvíce detailně popsána. Data jsou sledována pouze do roku 2018, protože od následujícího roku začala ČSÚ sledovat celkovou produkci odpadů a data nebyla dostatečně detailně separována, tudíž data z let 2019-2020 nejsou srovnatelná a použitelná s předchozími ročníky.

Tabulka 2: Produkce stavebních odpadů v ČR [tuny] (2009-2013)

Skupina	2009	2010	2011	2012	2013
17 01	2 138 706	1 655 919	1 818 720		1 864 387
17 02	52 133	49 986	61 137		62 505
17 03	408 676	359 799	329 990		381 268
17 04	1 130 296	1 398 503	1 784 889		1 791 210
17 05	8 134 612	8 316 847	7 341 436		7 578 985
17 06	51 489	60 186	47 961		35 237
17 08	4 081	4 344	5 477		4 950
17 09	432 723	314 427	397 099		277 637
SDO celkem	12 352 717	12 160 012	11 786 708	11 893 072	11 996 178
Odpady celkem	20 513 767	20 423 322	19 918 509	19 938 705	20 127 368

[19]

Tabulka 3: Produkce stavebních odpadů v ČR [tuny] (2014-2018)

Skupina	2014	2015	2016	2017	2018
17 01	2 083 203	2 464 245	2 253 019	2 148 924	2 724 127
17 02	66 317	71 270	79 271	70 441	68 245
17 03	454 506	687 792	622 970	624 757	734 974
17 04	1 511 848	1 579 550	1 841 358	1 912 877	1 846 891
17 05	8 278 504	10 397 907	8 757 061	7 581 650	9 944 861
17 06	40 952	38 264	39 366	28 793	35 081
17 08	6 248	8 459	11 837	9 767	40 890
17 09	225 609	277 891	264 224	322 555	390 137
SDO celkem	12 667 187	15 525 377	13 866 855	12 699 765	15 785 206
Odpady celkem	20 235 665	23 247 371	21 801 816	20 883 840	24 189 304

[19]

Celková roční produkce SDO ve sledovaném období se pohybovala od 11,786 mil. tun až po 15,785 mil. tun. V produkci lze pozorovat pouze mírný rostoucí trend, který narušují odchylky v letech 2016 a 2017.

Nejvíce SDO pochází z kategorie 17 05, tedy zemina, kamení a vytěžená hlšina, tato skupina tvoří 62–65 % celkové produkce, tedy 7,34 – 10,4 mil. tun ročně. Druhým největším zástupcem je skupina 17 01, tedy beton, cihly, tašky a keramika. Tento odpad tvoří 13–17 % celkové produkce stavebních odpadů ve sledovaném období,

ročně se tedy vyprodukuje 1,6 – 2,46 mil. tun odpadu z této skupiny. Tyto dvě nejvíce zastoupené skupiny lze dobře recyklovat, a proto budou předmět zkoumání této analýzy.

4.2.2 Nakládání se stavebním odpadem

4.2.2.1 Celkové nakládání

SDO představuje nezanedbatelnou část odpadového mixu a zároveň se jedná o kategorii velmi vhodnou k recyklaci. Kromě recyklace lze s tímto odpadem nakládat způsobem skládkování, zasypávání nebo ostatním způsobem. Ostatní způsob nakládání zahrnuje způsoby XN1-XN18, pro SDO to bude zejména XN1 (zasypávání), v menším zastoupení pak XN10 (prodej jako druhotné suroviny) a XN11 (využití na rekultivace skládek). V letech 2009–2011 byla kategorie *Ostatní nakládání s odpady* reportována u všech skupin dohromady, zatímco v letech 2013-2018 již byla separátně reportována kategorie XN1 (zasypávání), ale pouze u skupin 17 01, 17 03, 17 05 a 17 09. Data z let 2013-2018 jsou tedy více přehledná a vypovídající pro zkoumanou oblast, pro obecný přehled jsou však vhodnější data z let 2009-2011, kde se reportovaly všechny kategorie odpadů zvlášť. Data z roku 2012 úplně chybí, v tomto roce ČSÚ reportoval všechny odpady dohromady a nelze tak zjistit, jak se nakládalo s jednotlivými stavebními odpady.

Tabulka 4: Nakládání se stavebními odpady podle skupin [tuny] (2009-2013)

Skupina	Způsob nakládání	2009	2010	2011	2012	2013
17 01	Recyklace	323 237	363 148	363 370		1 470 154
	Skládkování	3 791	3 631	15 114		193 402
	Zasypávání					695 550
	Ostatní	1 811 678	1 289 140	1 359 651		633 975
	Celkem	2 138 706	1 655 919	1 738 136		2 993 080
17 02	Recyklace	435	427	7 645		
	Skládkování	25	151	1 055		
	Zasypávání					
	Ostatní	51 672	49 409	58 481		
	Celkem	52 133	49 986	61 137		
17 03	Recyklace	74 828	42 575	26 266		360 966
	Skládkování	1 003	1 257	1 865		21 832
	Zasypávání					14 141
	Ostatní	332 845	315 968	281 920		218 900
	Celkem	408 676	359 799	329 990		615 839
17 04	Recyklace	207 890	297 405	977 350		
	Skládkování	184	155	267		
	Zasypávání					
	Ostatní	922 222	1 100 943	1 521 381		
	Celkem	1 130 296	1 398 503	1 784 889		
17 05	Recyklace	76 343	118 038	86 173		1 035 937
	Skládkování	14 545	31 567	73 353		306 504
	Zasypávání					2 512 393
	Ostatní	8 043 724	8 167 242	6 961 969		3 079 636
	Celkem	8 134 612	8 316 847	7 341 436		6 934 469
17 06	Recyklace	14	21	68		
	Skládkování	140	402	4 592		
	Zasypávání					
	Ostatní	51 335	59 763	47 057		
	Celkem	51 489	60 186	47 961		
17 08	Recyklace	0	0	8		
	Skládkování	42	42	42		
	Zasypávání					
	Ostatní	4 039	4 302	5 427		
	Celkem	4 081	4 344	5 477		
17 09	Recyklace	1 270	4 292	18 443		93 996
	Skládkování	4 420	4 012	13 367		129 296
	Zasypávání					137 814
	Ostatní	427 034	306 122	406 408		139 846
	Celkem	432 723	314 427	397 099		500 953

[19]

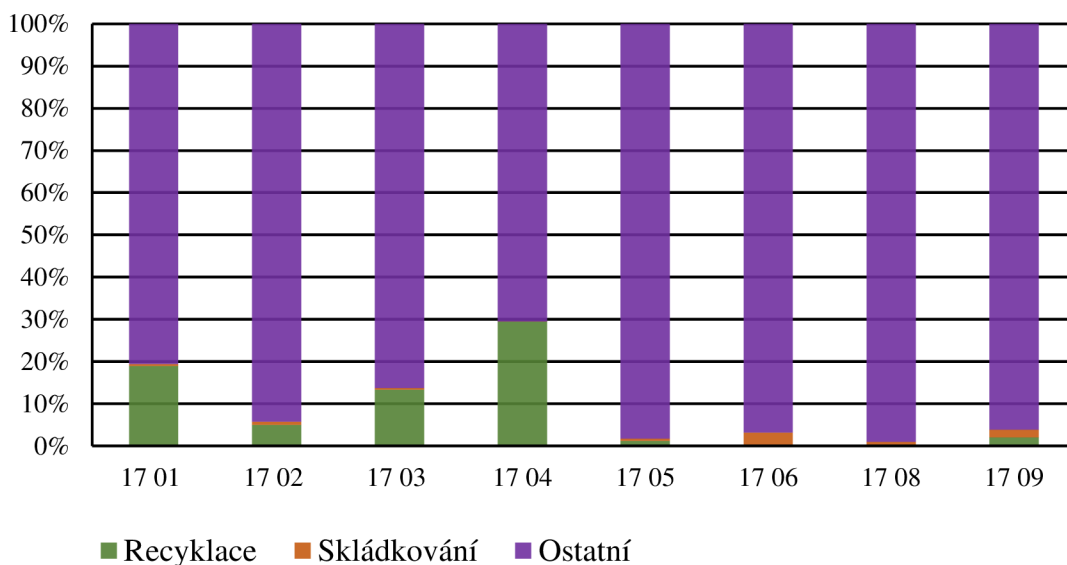
Tabulka 5: Nakládání se stavebními odpady podle skupin [tuny] (2014-2018)

Skupina	Způsob nakládání	2014	2015	2016	2017	2018
17 01	Recyklace	1 399 113	1 857 826	2 365 034	2 244 749	2 499 119
	Skládkování	208 472	181 675	227 710	147 851	214 251
	Zasypávání	882 202	1 013 574	862 427	768 985	952 025
	Ostatní	577 776	739 774	541 168	586 898	668 962
	Celkem	3 067 563	3 792 849	3 996 340	3 748 483	4 334 357
17 02	Recyklace					
	Skládkování					
	Zasypávání					
	Ostatní					
	Celkem					
17 03	Recyklace	369 295	534 652	562 447	573 997	645 938
	Skládkování	24 714	25 181	24 517	10 861	25 223
	Zasypávání	33 638	20 080	12 014	14 894	17 234
	Ostatní	212 833	290 284	225 053	267 865	312 783
	Celkem	640 480	870 197	824 032	867 617	1 001 179
17 04	Recyklace					
	Skládkování					
	Zasypávání					
	Ostatní					
	Celkem					
17 05	Recyklace	1 358 948	2 234 015	2 525 143	3 088 088	3 787 426
	Skládkování	290 986	351 907	576 873	444 068	1 012 119
	Zasypávání	3 348 616	4 269 786	4 226 580	3 980 176	4 199 564
	Ostatní	2 401 333	2 781 580	1 641 833	1 876 519	1 887 285
	Celkem	7 399 883	9 637 289	8 970 430	9 388 850	10 886 394
17 06	Recyklace					
	Skládkování					
	Zasypávání					
	Ostatní					
	Celkem					
17 08	Recyklace					
	Skládkování					
	Zasypávání					
	Ostatní					
	Celkem					
17 09	Recyklace	63 402	76 693	125 498	242 747	158 962
	Skládkování	93 783	139 812	113 102	129 373	167 282
	Zasypávání	171 501	131 969	123 233	142 147	143 255
	Ostatní	100 771	138 001	124 306	142 813	151 964
	Celkem	429 458	486 475	486 138	657 080	621 463

[19]

Pro obecný přehled nakládání se stavebními odpady jsou vhodná data z let 2009-2011, jelikož jsou separátně dohledatelná data ke všem skupinám stavebních odpadů. Zdaleka největší zastoupení napříč skupinami má ostatní nakládání, zejména tedy zasypávání, prodej jako druhotné suroviny a rekultivace skládek. Největší poměr recyklace je u skupiny 17 04 (kovy a slitiny), a to téměř 30 %, následuje skupina 17 01 (beton, cihly, tašky a keramika) s 20 %, dále pak 17 03 (asfaltové směsi a dehet), 17 02 (dřevo, sklo, plasty) a 17 09 (jiné stavební a demoliční odpady), u ostatních skupin je poměr recyklace zanedbatelný. Skládkování stavebního odpadu je v malé míře zastoupený u skupin 17 06 (izolační materiály a materiály s obsahem azbestu) ve výši 3 % a u skupiny 17 09 ve výši 2 %, u ostatních skupin je skládkování zanedbatelné.

Rozložení způsobů nakládání se stavebními odpady



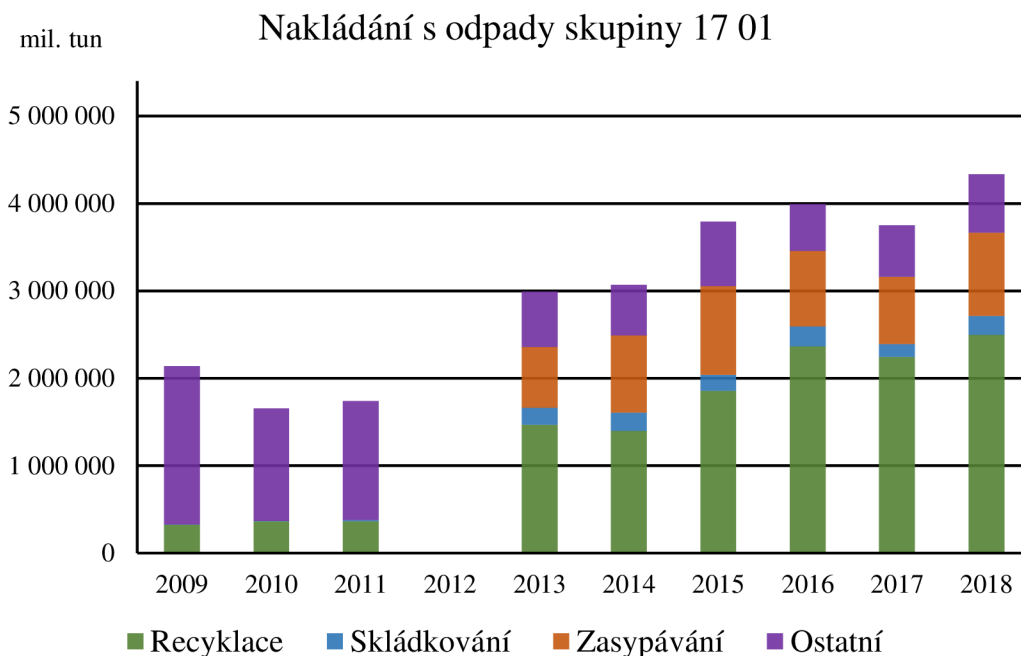
Graf 14: Rozložení způsobů nakládání se stavebními odpady (průměr 2009-2011)

[19]

4.2.2.2 Nakládání s odpady skupiny 17 01 - beton, cihly, tašky a keramika

V letech 2009–2011 byl podíl recyklované části malý a převažoval ostatní způsob nakládání, zejména tedy zasypávání. Ve velmi malé míře (méně než 1 %) bylo využíváno i skládkování. V letech 2013–2018 lze však vypozařovat změnu v mixu nakládání. Začíná převažovat recyklace a lze vypozařovat i rostoucí trend poměru recyklovaného odpadu,

zatímco v roce 2009 činila recyklace pouze 15 %, tak v roce 2013 dosáhla téměř 50 % a v roce 2018 už dokonce 57,5 %.



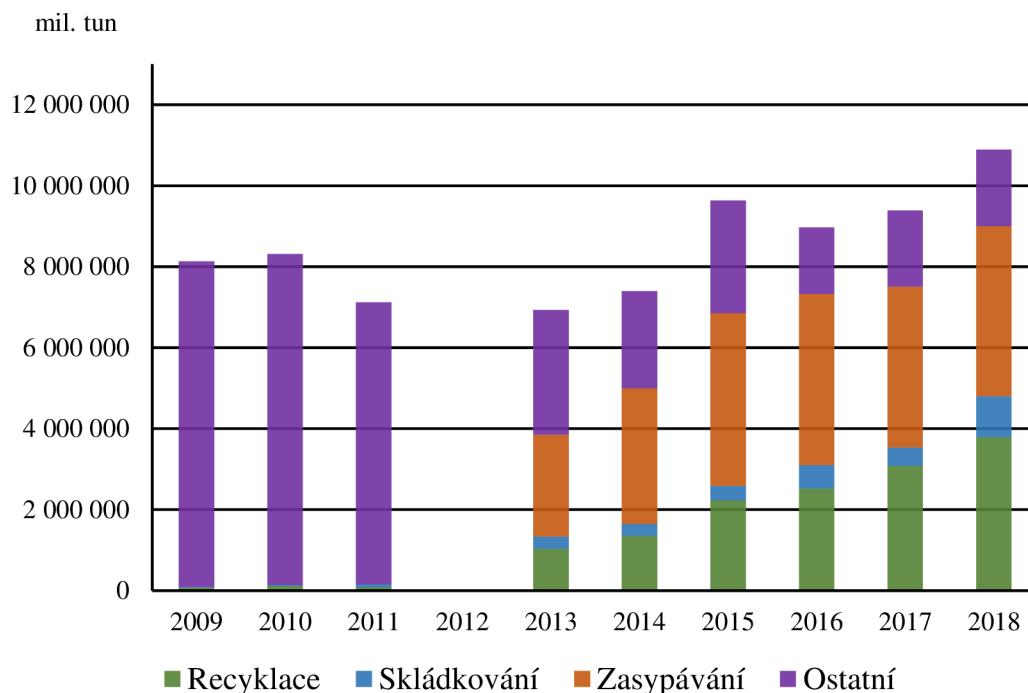
Graf 15: Nakládání s odpady skupiny 17 01 (2009-2018)

[19]

4.2.2.3 Nakládání s odpady skupiny 17 05 – zemina, kamení a vytěžená hlušina

Na začátku sledovaného období se téměř všechny odpad skupiny 17 05 zpracovával ostatním způsobem, tedy převážně zasypáváním. Recyklace a skládkování tvořilo zanedbatelná procenta nakládání. V roce 2013 se v malé míře začalo uplatňovat také recyklování a skládkování, oba tyto způsoby až do roku 2018 postupně narůstaly. Zatímco v roce 2013 se recyklovalo pouze 15 % odpadu, v roce 2018 to již bylo 35 %.

Nakládání s odpady skupiny 17 05



Graf 16: Nakládání s odpady skupiny 17 05 (2009-2018)

[19]

4.2.2.4 Procesní odpad

Odpad určený k recyklaci putuje na proces samotné recyklace, který zahrnuje zejména drcení, třídění, separaci nežádoucích materiálů a čištění. V každé fázi vzniká procesní odpad, který představuje tu část materiálu, kterou nelze recyklovat. Při recyklaci odpadů 17 01 a 17 05 zde patří například nečistoty, kovy, dřevo nebo omítky. Procesní odpad tvoří u skupiny 17 01 přibližně 30 % - 50 %, u skupiny 17 05 přibližně 40 % - 60 %.

4.2.2.5 Výroba betonového recyklátu a recyklovaného kameniva

Po odečtení procesního odpadu z množství recyklovaného odpadu dostaneme konečné množství recyklátu, který je možno použít k nahrazení stavebního kamene a štěrkopísku coby primární suroviny.

Tabulka 6: Výroba betonového recyklátu a recyklovaného kameniva (2018)

Odpad		Určeno k recyklaci	Procesní odpad	Recyklát	
		tuny	%	tuny	
17 01	Beton, cihly, tašky a keramika	2 499 119	30 - 50	749 736	- 1 249 560
17 05	Zemina (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst), kamení a vytěžená hlušina	3 787 426	40 - 60	1 514 970	- 2 272 455
		Celkem =		2 264 706	- 3 522 015

[zdroj: vlastní]

V roce 2018 se v ČR vyrobilo přibližně 0,75 - 1,25 mil. tun recyklátu ze skupiny odpadu 17 01 a 1,51 – 2,27 mil. tun recyklátu ze skupiny odpadu 17 05. Celkem se tedy vyrobilo přibližně 2,26 - 3,52 mil. tun recyklovaného kameniva.

4.2.3 Shrnutí

U obou skupin stavebních odpadů, které jsou po správném zpracování vhodné k částečnému nahrazení stavebního kamene a štěrkopísku coby primární suroviny, lze pozorovat pozitivní vývoj. Od roku 2013 do roku 2018 se postupně zvyšuje poměr recyklovaného odpadu, a přestože novější data již nejsou k dispozici, lze předpokládat podobný vývoj i v současnosti.

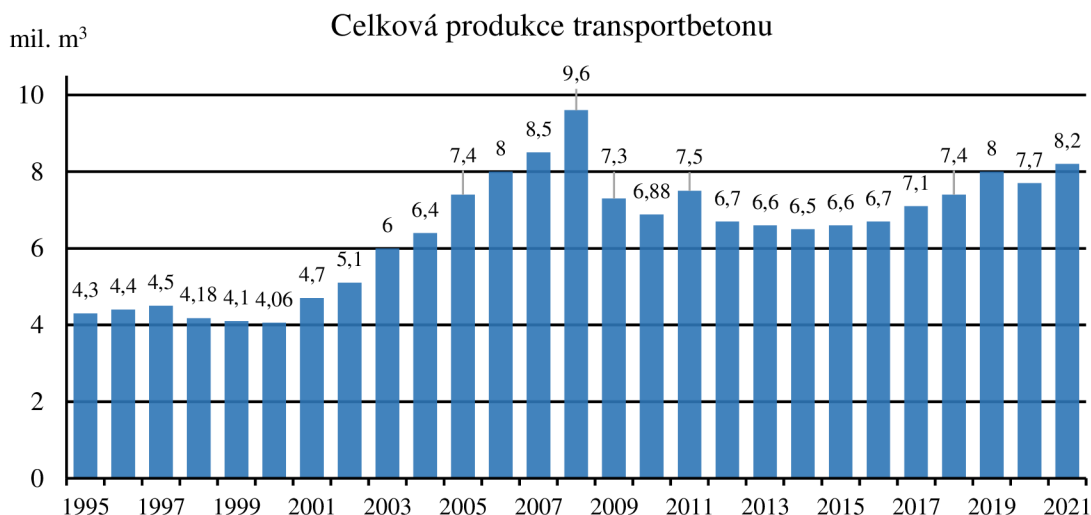
V roce 2018 se recyklovalo 2,5 mil. tun betonu a keramických výrobků a 3,8 mil. tun zeminy a kamení. Po očištění o procesní odpad se celkově jedná o přibližně 2,26 - 3,52 mil. tun recyklátu vhodného k substituci primárních surovin.

Ve stejném roce se vytěžilo 15 291 000 m³ povrchově těženého stavebního kamene a 11 374 000 m³ štěrkopísků, celkem se tedy jedná o 26 665 000 m³ kameniva. Při předpokládané objemové hmotnosti 2000 kg/ m³ se jedná o 53,33 mil. tun kameniva. V roce 2018 tedy kamenný recyklát tvořil přibližně 4,1-6,2 % celkového objemu kameniva vstupujícího na trh.

4.3 Možnosti nahrazení primárních surovin stavebními recykláty v ČR

4.3.1 Maximální možné využití betonového a cihelného recyklátu

V roce 2021 se v ČR vyrobilo celkem 8,2 mil. m³ transportbetonu. Po lehkém úpadku ve výrobě po finanční krizi v roce 2008 výroba meziročně pomalu roste.



Graf 17: Celková produkce transportbetonu v ČR (1995-2021)

[20]

Objemová hmotnost vyráběného betonu a jeho složení se liší dle výrobce a způsobu použití, pro orientační výpočet lze použít střední objemovou hmotnost 2250 kg/m³ a složení s podílem kameniva 75 %. Při výrobě 8,2 mil. m³ se tedy jedná o přibližně 18,45 mil. tun hotového betonu, ve kterém tvoří kamenivo přibližně 75 %, tedy 13,84 tun.

Toto kamenivo lze nahradit betonovým a cihelným recyklátem pouze v omezené míře. Možnosti použití recyklátů v betonové směsi upravuje norma ČSN EN 206+A2. Podle této normy lze až 50 % kameniva nahradit recyklátem pro beton do vnitřního prostředí s nízkou vlhkostí vzduchu a až 30 % pro beton do vnitřního střídaně suchého a mokrého prostředí, včetně základových konstrukcí, svislých vnějších konstrukcí a slabě agresivních chemických prostředí.

Tabulka 7: Možnosti použití recyklátů v betonové směsi dle normy ČSN EN 206+A2

Typ recyklátu		Typ A	Typ B
Podíl betonového recyklátu		min 90 %	min 50 %
Podíl cihelného recyklátu		max 10 %	max 30 %
Podíl recyklátu v betonu	do 50 %	XC0	XC0 (max C30/37)
	do 30 %	až XC4, XF1, XD1, XA1	nelze použít

[21]

Beton s přísadami recyklátu má zároveň horší mechanické vlastnosti. Snižuje se zejména modul pružnosti o přibližně 30 % - 50 % a pevnost betonu o přibližně 15 %. Beton s přísadami recyklátu tedy není vhodný na prvky namáhané na ohyb (průvlaku, překlady, stropy).

Podle odhadů tvoří beton s podílem recyklátu do 50 %, který není použitý na prvky namáhané na ohyb, až 5 % celkové spotřeby betonu. Beton s podílem recyklátu do 30 %, který je použitý zejména na základové konstrukce, tvoří až 65 % celkové spotřeby betonu.

Tabulka 8: Teoretická maximální možná spotřeba recyklátů v betonové směsi

Typ betonu	Odhad využití	Spotřeba	Množství spotřebovaného kameniva	Možný podíl recyklátu	Spotřeba recyklátu při maximálním využití
		m3	tuny		tuny
Podíl recyklátu do 50 %	5 %	410 000	691 875	50 %	345 938
Podíl recyklátu do 30 %	65 %	5 330 000	8 994 375	30 %	2 698 313
Bez recyklátu	30 %	2 460 000	4 151 250	0 %	0
Celkem	100 %	8 200 000	13 837 500		3 044 250

[zdroj: vlastní]

Za předpokladu roční spotřeby betonu ve výši roční výroby lze využít až 3,04 mil. tun betonového a cihelného recyklátu z odpadní skupiny 17 01 k substituci nově těžného kameniva.

4.3.2 Maximální možné využití recyklovaného kameniva

Recyklát pocházející z odpadu 17 05 je nejvhodnější na zásypy a podsypy u dopravních staveb. Uplatnění najde i u pozemních staveb, zde se však většinou jedná o recyklát získaný demolicí, zpracováním a použitím v místě stavby, a tudíž do sledovaného procesu recyklace vůbec nevstupuje (tzv. nezaznamenaná recyklace).

Podle studie ČGS bude potřeba na výstavbu silnic a dálnic v letech 2022-2026 přibližně 11,6 - 14,5 mil. tun kameniva pro podsypy a násypy, tedy přibližně 2,6 mil. tun kameniva ročně. Železniční výstavba plánovaná v letech 2022-2032 spotřebuje přibližně 36,6 mil. tun kameniva, tedy 3,66 mil. tun ročně. Stavba železniční infrastruktury je však přísnější na požadované vlastnosti a recyklované kamenivo zde nelze použít.

[22]

Recyklované kamenivo svými vlastnostmi odpovídá kamenivu používanému pro násypy a podsypy silničních staveb a je tak možno jím nahradit až 100 % nově těženého kameniva. Při stavbě však mohou nastat nečekané překážky v možnosti využití, proto pro účely průzkumu lze předpokládat možnost nahrazení maximálně 80 % přírodního kameniva.

Tabulka 9: Teoretická maximální možná spotřeba recyklovaného kameniva

Typ kameniva	Odhad využití	Spotřeba [tuny]
		tuny
Recyklované kamenivo	80 %	2 080 000
Přírodní kamenivo	20 %	520 000
Spotřeba celkem	100 %	2 600 000

[zdroj: vlastní]

Přírodní nově těžené kamenivo na silniční výstavbu lze ročně nahradit přibližně až 2,08 miliony tun recyklovaného kameniva pocházejícího z odpadní skupiny 17 05.

4.3.3 Shrnutí a doporučení

V roce 2018 se vyprodukovalo přibližně 0,75-1,25 mil. tun betonového a cihelného recyklátu a přibližně 1,51–2,27 mil. tun recyklovaného kameniva.

Betonový a cihelný recyklát lze použít jako náhradu přírodního kameniva do betonových směsí. Kapacita výroby betonu v české republice je schopna pojmout až 3,05 milionu tun betonového a cihelného recyklátu ročně. Produkci těchto recyklátů lze tedy ještě navýšit o 250 - 400 % a snížit tak spotřebu přírodního kameniva do betonu až o 20 %.

Recyklované kamenivo lze vhodně použít jako podsypový a vyrovnávací materiál do silničních staveb. Vzhledem k plánované dopravní výstavbě v české republice lze využít až 2,08 mil. tun recyklovaného kameniva, což je hodnota přibližně odpovídající současné produkci. Navýšení výroby tohoto recyklátu by tak nevedlo ke snížení spotřeby přírodních zdrojů. Možnost navýšit výrobu recyklátu z odpadu a absence využitelnosti však vyzývá k hledání alternativy pro využití, případně ke změně produkce. Nabízí se možnost najít způsob, jak využít recyklované kamenivo v ostatních oblastech stavebnictví, například jako podklad u železničních staveb. Tohoto by šlo dosáhnout lepším zpracováním recyklátu, a tak i zlepšením jeho vlastností, které by splňovaly náročné požadavky pro železniční stavby.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zmapovat zdroje primárních surovin a výrobu recyklátů v kontextu stavební produkce. Čtenář se dozvěděl, jakými způsoby lze v oblasti stavebnictví přejít na udržitelnější způsob výroby a tím nejen snížit dopady na životní prostředí, ale také snížit budoucí nedostatek přírodních zdrojů.

V teoretické části práce byly krátce vysvětleny obecné principy cirkulární ekonomiky a možné využití těchto principů ve stavebnictví, zejména v oblasti zpracování stavebních odpadů, dále byla provedena cenová analýza použití stavebních materiálů z recyklovaných surovin v porovnání s tradičními materiály.

Praktická část se skládá ze tří analýz. První geografická analýza zkoumala stav a produkci přírodních zdrojů kamene a štěrkopísku pro stavebnictví. Druhá analýza se zaměřuje na produkci a nakládání se stavebním odpadem, který je vhodný k výrobě betonového a cihelného recyklátu a recyklovaného kameniva. Třetí analýza řeší možnosti nahrazení přírodních zdrojů vyrobeným recyklátem.

Průzkum provedený v praktické části práce došel k několika závěrům. Těžba primárních surovin je ve střednědobém horizontu v ohrožení, pouze 35 % kamenolomů má životnost zásob více jak deset let, u štěrkopísku je to pouze 20 % současně těžených ložisek. Recyklace stavebního odpadu, který by mohl nově těžené kamenivo a štěrkopísky nahradit, se vyvíjí pozitivně. Odpad z betonu, cihel a keramiky se recykluje z více než 50 %, kamenivo a zemina se recykluje z více než 35 %. Betonový a cihelný recyklát a recyklované kamenivo tvoří přibližně 5 % celkového objemu kameniva vstupujících ročně na trh. Odbyt pro betonový a cihelný recyklát je dostatečný a je tak možné jeho produkci navýšit o 250 % - 400 %, tímto by se ušetřilo až 20 % nově těženého kameniva. Recyklované kamenivo je vhodné pouze k omezeným účelům a jeho dnešní produkce se přibližně rovná jeho dnešní spotřebě, navýšení produkce tohoto recyklátu by tedy nevedlo k úsporám přírodních zdrojů. Toto omezení vybízí k hledání alternativních využití recyklovaného kameniva, případně vylepšení technologie recyklace, aby recyklát dosahoval lepších vlastností a mohl být použit například pro stavbu vysokorychlostní železniční tratě.

6 Seznam použitých zdrojů

1. VLASÁKOVÁ, Veronika. Cirkulární ekonomika [online]. Hradec Králové, 2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/grnet9/>. Bakalářská práce. Univerzita Hradec Králové, Fakulta informatiky a managementu. Vedoucí práce Ing. Martina Hedvičáková, Ph.D.
2. WAUTELET, Thibaut. The Concept of Circular Economy: its Origins and its Evolution [online]. 2018, s. 1-3 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: doi:10.13140/rg.2.2.17021.87523
3. ANDERSEN, Mikael Skou. An introductory note on the environmental economics of the circular economy [online]. 2006, s. 1-4 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: doi:10.1007/s11625-006-0013-6
4. Toyota Production System Basic Handbook [online]. In: 2000, s. 3-6 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://artoflean.com/wp-content/uploads/2019/01/Basic_TPS_Handbook.pdf
5. ŠKAPA, Radoslav. Reverzní logistika. Brno: Masarykova univerzita, 2005. ISBN isbn80-210-3848-9.
6. Electricity production, consumption and market overview. Statistics Explained [online]. 2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview#Household_electricity_consumption
7. Produkce a dovoz energie. Statistics Explained [online]. 2019 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Produkce_a_dovoz_energie#Produkce_prim.C3.A1rn.C3.AD_energie_se_v_letech_2008_a.C5.BE_2018_sn.C3.AD.C5.BEila
8. Historie recyklace odpadu: kde a kdy to celé začalo?. Siegl [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://siegl.cz/blog/recyklace-odpadu/historie-recyklace-odpadu-kde-a-kdy-to-cele-zacalo>
9. MINUNNO, Roberto, Timothy O'GRADY, Gregory M. MORRISON, Richard L. GRUNER a Michael COLLING. Strategies for Applying the

- Circular Economy to Prefabricated Buildings [online]. 2018, 5-6 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: doi:10.3390/buildings8090125
10. Průvodce předcházením vzniku stavebních odpadů [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2017 [cit. 2023-05-22]. ISBN 978-80-7212-613-9. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/EAB3251DF9DA8E57C125821900533761/\\$file/Pruvodce_vznik%20stavebnich%20odpadu.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/EAB3251DF9DA8E57C125821900533761/$file/Pruvodce_vznik%20stavebnich%20odpadu.pdf)
11. HERRMANN, Jakub. Možnosti recyklace výrobků na bázi sádry [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84255/F1-DP-2019-Herrmann-Jakub-DP_Herrmann_bez%20podpisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Tesárek, Ph.D.
12. ŠEVC, Jan. Směsný recyklát v podloží vozovek [online]. Brno, 2014 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/78162> . Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
13. VRŇÁKOVÁ, Eva. Nakládání se stavebními odpady z pohledu lektora environmentálního vzdělávání [online]. Brno, 2017 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/daiu2/DP_VrnakovaEva_ver3.pdf . Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce RNDr. Jindřiška Svobodová.
14. RTS DATA [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.rtscloud.cz/App/RTS-Data/>
15. Betony, Ceník pro rok 2023. TBG Metrostav [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.tbg-metrostav.cz/wp-content/uploads/cenik-2023-tbg-mts.pdf>
16. GODÁNY, Josef. Současný stav disponibilních zásob u využívaných ložisek stavebního kamene a šterkopísku v ČR [online]. 2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2021-1-15.pdf>

17. Surovinové zdroje České republiky - nerostné suroviny [online]. Česká geologická služba, 1992-2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje>
18. AYTEKIN, Burcu a Ali MARDANI-AGHABAGLOU. Sustainable Materials: A Review of Recycled Concrete Aggregate Utilization as Pavement Material [online]. 2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: doi:10.1177/03611981211052026
19. Produkce, využití a odstranění odpadů [online]. Český statistický úřad, 2009-2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2020>
20. Výroba transportbetonu v ČR. Svaz výrobců betonu ČR [online]. 2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.svb.cz/vyroba.html#>
21. ČSN EN 206+A2. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
22. GODÁNY, Josef a Pavel FIALA. Studie dostupnosti kameniva pro plánované stavby dálnic a silnic I. třídy a železniční infrastruktury [online]. 2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.silnice-mosty.cz/2318-studie-dostupnosti-kameniva-pro-planovane-stavby-dalnic-a-silnic-i-tridy-a-zeleznicni-infrastruktury/>

7 Seznam zkratk

SDO – Stavební a demoliční odpad

ČGS – Česká geologická služba

ČSÚ – Český statistický úřad

MJ – měrná jednotka

tis. – tisíce

mil. – miliony

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Cenové porovnání tradičních materiálů s alternativou z recyklátů.....	24
Tabulka 2: Produkce stavebních odpadů v ČR [tuny] (2009-2013)	42
Tabulka 3: Produkce stavebních odpadů v ČR [tuny] (2014-2018)	42
Tabulka 4: Nakládání se stavebními odpady podle skupin [tuny] (2009-2013)	44
Tabulka 5: Nakládání se stavebními odpady podle skupin [tuny] (2014-2018)	45
Tabulka 6: Výroba betonového recyklátu a recyklovaného kameniva (2018)	49
Tabulka 7: Možnosti použití recyklátů v betonové směsi dle normy ČSN EN 206+A2 51	
Tabulka 8: Teoretická maximální možná spotřeba recyklátů v betonové směsi	51
Tabulka 9: Teoretická maximální možná spotřeba recyklovaného kameniva	52

9 Seznam grafů

Graf 1: Produkce stavebního odpadu a celkového odpadu (průměr 2009-2018).....	12
Graf 2: Produkce stavebních odpadů podle skupin (průměr 2009-2018)	13
Graf 3: Počet ložisek stavebního kamene (1991-2020)	27
Graf 4: Zásoby výhradních ložisek stavebního kamene (1991-2020)	28
Graf 5: Zásoby nevýhradních ložisek stavebního kamene (2006-2020).....	29
Graf 6: Těžba stavebního kamene v jednotlivých letech (1991-2020)	30
Graf 7: Předpokládaná životnost kamenolomů (stav 2020).....	31
Graf 8: Počet ložisek štěrkopísku (1991-2020).....	33
Graf 9: Zásoby výhradních ložisek štěrkopísku (1991-2020).....	34
Graf 10: Zásoby nevýhradních ložisek štěrkopísku (2006-2020).....	35
Graf 11: Těžba štěrkopísku v jednotlivých letech (1991-2020).....	37
Graf 12: Předpokládaná životnost štěrkopískoven (stav 2020).....	38
Graf 13: Produkce stavebních odpadů a celková produkce odpadů (2009-2020)	41
Graf 14: Rozložení způsobů nakládání se stavebními odpady (průměr 2009-2011)	46
Graf 15: Nakládání s odpady skupiny 17 01 (2009-2018).....	47
Graf 16: Nakládání s odpady skupiny 17 05 (2009-2018).....	48
Graf 17: Celková produkce transportbetonu v ČR (1995-2021).....	50

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Životní cyklus surovin v cirkulární a lineární ekonomice.....	5
Obrázek 2: Umístění ložisek stavebního kamene (stav 2020)	26
Obrázek 3: Životnost kamenolomů podle krajů (stav 2020).....	32
Obrázek 4: Umístění ložisek šterkopísku (stav 2020).....	33
Obrázek 5: Životnost šterkopískoven podle krajů (stav 2020)	39