

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**



**ENVIRONMENTÁLNÍ DOPADY VÝROBY PREFABRIKÁTŮ A
BETONU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Bakalant: Tomáš Tomek

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Tomek

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Environmentální dopady výroby prefabrikátů a betonu

Název anglicky

Environmental impacts of production prefabricate parts and concrete

Cíle práce

V bakalářské práci se budu zabývat environmentálními dopady z výroby prefabrikátů a betonu. Téma lze také konkretizovat z katalogu odpadů jako č. 17-Stavební a demoliční odpady (17 01 01-Beton a 17 09-Jiné stavební a demoliční odpady). Práce bude řešit zejména, jaké jsou druhy odpadů z této výroby, jak je šetrně odstranit (zejména z pohledu ekonomického a pohledu budoucího zatížení životního prostředí), jaké jsou možnosti recyklace a opětovného využití odpadů.

Metodika

V literární rešerši bude čerpáno z uvedených zdrojů. Problematika bude všeobecně popsána, přičemž bude kladen důraz na pozorování této výroby a její součásti, zejména na hlavní přísady k výrobě betonu, co tyto přísady dělají, jak reagují a jak se chovají. Dále budou popsány druhy odpadů, jako jsou např.: kaly a surový odpad, poté se práce zaměří na zpracování, skladování a recyklaci těchto odpadů. Další data a důležité poznatky budou sbírány ve výrobně prefabrikátů a betonu.

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

Prefabrikát, beton, recyklace, životní prostředí, odpad, kaly, technologie a skleníkové plyny

Doporučené zdroje informací

Jan Tichý, Praha 1984, Možnosti využití odpadu z výroby stavebních dílců

Plán odpadového hospodářství ČR, MŽP, 2014

Svaz výrobců betonu ČR, Praha 1999, Betonárky a životní prostředí

Zákon o odpadech 185/2001

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2020

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Environmentální dopady výroby prefabrikátů a betonu vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Břehoryjích, dne 27. 03. 2020



Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí práce, Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D., za věcné rady, připomínky, trpělivost, motivující a vstřícný přístup. Dále děkuji panu Ing. Pavlu Tichému a panu Ing. Jorgemu L. Gonzalezovi za poskytnutí velice cenných a v praxi ověřených informací. V neposlední řadě bych chtěl nejvíce poděkovat za podporu své manželce za neskutečnou trpělivost.

V Břehoryjích, dne 27. 03. 2020

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá dopady z výroby prefabrikátů a betonu na životní prostředí. Práce se v první řadě zaměřuje na popis dané problematiky.

V práci jsou popsány legislativní a základní pojmy, které se dotýkají tématu environmentální dopady z výroby prefabrikátů a betonu. Práce se také zabývá z jakých přísad a surovin se beton vyrábí a jak je s nimi nakládáno v odpadovém hospodářství. Hlavním tématem práce jsou odpady z výroby prefabrikátů a betonu. Dále práce popisuje výrobu betonu, posléze prefabrikátů a druhy odpadu z této výroby. Praktická část se zabývá tím, jak efektivně recyklovat tyto odpady, dále budou popsány experimentální či testované metody, které by mohli významně ušetřit přírodní zdroje, a také by mohli být ekonomicky velmi výhodné.

Klíčová slova

Prefabrikát, beton, recyklace, životní prostředí, odpad, kaly, technologie a skleníkové plyny

Abstract

The bachelor thesis deals with environmental impact of prefabricated parts and concrete production. The thesis focused primarily on the description of the issue.

The thesis described the legislative and basic concepts that relate to the topic of environmental impact from the production of prefabricated parts and concrete. The thesis also deals with what additives and raw materials concrete is produced and how they are treated in waste management. The main topic of the thesis are wastes from the production of prefabricated parts and concrete. Furthermore, the thesis describes the production of concrete, then prefabricated parts and types of waste from this production. The practical part deals with how to effectively recycle these wastes, experimental or tested methods that could significantly save natural resources and could be economically very advantageous.

Keywords

Prefabricated parts, concrete, recycling, environment, waste, sludge, technology and greenhouse gases

OBSAH

1. Úvod	11
2. Cíle práce	12
3. Metodika práce	12
4. Legislativa a základní pojmy	13
4.1. Zákon o odpadech	13
4.2. Katalog odpadů	13
4.3. Recyklace	13
4.4. Skládky	14
4.5. Metodický návod	14
5. Suroviny pro výrobu betonu a jejich recyklace	15
5.1. Voda	15
5.1.1. Způsob recyklace vody z výroby betonu	16
5.2. Cement	16
5.2.1. Způsob snížení množství použitého cementu	18
5.2.2. Eko-cement	19
5.2.3. Srovnání cen cementu	19
5.3. Písek	20
5.4. Kamenivo	21
5.4.1. Srovnání cen kameniva	22
5.4.2. Umělé kamenivo RUGEN jako alternativa za přírodní kamenivo	23
5.5. Chemické přísady	24
5.5.1. Plastifikační přísady	24
5.5.2. Provdzušňovací přísady	24
5.5.3. Přísady zpomalující tuhnutí	24
5.5.4. Přísady urychlující tuhnutí	25
5.5.5. Srovnání cen chemických přísad	25
6. Environmentální dopady při těžbě surovin pro výrobu betonu	26
6.1. Environmentální dopady výroby cementu	26
6.1.1. LCA hodnocení environmentálních dopadů výroby cementu	27
6.2. Environmentální dopady těžby písku	28
6.2.1. Zhodnocení	30
6.2.2. LCA hodnocení environmentálních dopadů těžby písku	31

6.3.	Environmentální dopady těžby kameniva.....	31
6.3.1.	Zhodnocení	32
6.3.2.	LCA hodnocení environmentálních dopadů těžby kameniva.....	32
6.4.	Environmentální dopady výroby chemických přísad	33
7.	Výroba betonu	34
7.1.	Srovnání cen výroby betonu	35
7.2.	Odpad z výroby betonu – kaly jejich využití a recyklace.....	36
7.2.1.	Šnekový odvodňovací lis kalových vod „kalolis“	36
7.2.2.	Spalování kalů v cementárenské peci.....	38
7.2.3.	Využití sušeného kalu jako stabilizátoru půdy pod vozovky	39
7.2.4.	Recyklace kalové vody s příměsí popílku a chemických přísad	39
7.3.	Environmentální dopady výroby betonu v globálním měřítku	40
7.4.	Recyklace betonu	43
7.4.1.	Recyklovaný beton	43
7.4.2.	Srovnání cen přírodního kameniva a recyklátů	45
7.4.3.	Zhodnocení	45
7.4.4.	LCA hodnocení environmentálních dopadů recyklátu	46
7.4.5.	Moderní recyklace betonu v konceptu Delvo systém	46
8.	Výroba prefabrikátů	47
8.1.	Odpady vznikající při výrobě prefabrikátů	48
8.1.1.	Zbytky betonové směsi	49
8.1.2.	Izolační materiály.....	49
8.1.3.	Formovací přípravky	50
8.2.	Recyklace odpadu vznikajícího při výrobě prefabrikátů.....	50
8.2.1.	Zbytky betonové směsi	50
8.2.2.	Izolační materiály.....	51
8.2.3.	Formovací přípravky	52
9.	Life cycle assessment „LCA“	52
9.1.	Hodnocení LCA betonu vyrobeného z recyklovaného betonu.....	53
10.	Závěr a přínos práce.....	54
11.	Citovaná literatura.....	55
12.	Seznam tabulek a grafů.....	59
13.	Seznam obrázků.....	59

14. Přehled použitých zkratek.....	61
------------------------------------	----

1. Úvod

Již před dvěma tisíci let si lidé chtěli vylepšit svůj životní standard. Od primitivních obydlí v jeskyních jsme se dostali až do doby, kdy lidstvo začalo hojně využívat materiály, jako například dřevo, kámen a beton, k výstavbě svých obydlí. Lidé zjistili, že stavby z betonu jsou velice trvanlivé a odolávají téměř všem přírodním živlům. Také zjistili, že z betonu se dají vytvářet nádherná díla, např. nevyztužená betonová kopule Pantheonu v Římě realizovaná v letech 118 až 125 n. l., která má průměr 43,3 m a váží 5000 tun. Beton s největší pravděpodobností byl, je a bude nejvíce využívaný konstrukční materiál na světě, ze kterého se staví vše co je kolem nás. Jeho potenciál je v podstatě neomezený. (1)

V současné moderní a uspěchané době stále roste produkce betonu, která nám zabezpečuje námi zažitý standart, dává lidem práci a zlepšuje ekonomickou situaci. Opozitum k těmto pozitivům jsou velice zásadní negativní dopady na ŽP, které nám postupně a nenávratně devastují naši planetu. V ČR se ochrana přírody a celkově ŽP začala brát jako důležité téma okolo roku 1989 a od té doby se udělal obrovský kus práce. V rámci níže popsáných pravd a faktů to, ale stále nestačí a musíme pro ŽP udělat více. Níže jsou popsány způsoby, metody a technologie, které by mohli výrazně pomoci s šetřením přírodních zdrojů, snížením emisí skleníkových plynů, emitací tuhých znečišťujících látek do ovzduší, snížením negativních dopadů na krajinu a dalšími zásadními negativními dopady na ŽP.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je komplexní shrnutí informací o výrobě prefabrikátů, betonu a vykreslení dopadů na životní prostředí z této výroby. Odpady, které vznikají z této výroby lze také konkretizovat z katalogu odpadů jako č. 17-Stavební a demoliční odpady (17 01 01-Beton a 17 09-Jiné stavební a demoliční odpady). Práce bude řešit zejména, jaké jsou druhy odpadů z této výroby, jak je efektivně recyklovat a jak je šetrně odstranit, zejména z pohledu ekonomického a pohledu zatížení životního prostředí.

3. Metodika práce

V literární rešerši bude čerpáno z uvedených zdrojů, odborných článků a internetových stránek. Problematika bude komplexně popsána, přičemž bude kladen důraz na pozorování této výroby, v závodu KŠ Prefa ve Štětí, a její součástí, zejména na hlavní přísady k výrobě betonu. Dále budou popsány druhy odpadů, jako jsou kaly a ostatní odpady z přidružené výroby. Na konec se práce zaměří na zpracování, skladování a recyklaci těchto odpadů.

4. Legislativa a základní pojmy

4.1. Zákon o odpadech

Pojem odpad definuje zákon č. 185/2001 Sb. a to jako každou movitou věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. Tento zákon aplikuje předpisy EU a upravuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany ŽP, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje. Omezuje nepříznivé dopady při využívání přírodních zdrojů a zlepšuje účinnost tohoto využívání. Deklaruje práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství. Vymezuje působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství. (2)

4.2. Katalog odpadů

Katalog odpadů nalezneme ve vyhlášce č. 93/2016 Sb. Katalog odpadů je podpůrným legislativním nástrojem pro výše uvedené zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. Tato vyhláška aplikuje příslušné předpisy EU a stanoví, katalog odpadů, postup pro správné zařazování odpadu podle Katalogu odpadů a náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností na zařazení odpadu podle Katalogu odpadů. Beton je v Katalogu odpadů zařazen do skupiny č. 17-(Stavební a demoliční odpady), do podskupiny 01-(Beton, cihly, tašky a keramika) a do druhu 01-(Beton). Beton 17 01 01. (3)

4.3. Recyklace

Pojem recyklace ve volném znění znamená, snahu o opětovné použití nebo zpracování odpadu a vytvoření materiálu přibližně stejné kvality. Recyklace je proces, který je, stejně jako výroba čehokoli jiného, náročná na energie a vodu. Tudíž se nedá říct, že recyklace v absolutní míře chrání ŽP, nýbrž se snaží omezit těžbu primárních surovin, které lze získat z recyklovatelných výrobků, tímto způsobem je recyklace v určité míře pozitivní, ekonomická a chrání ŽP. V některých případech může být recyklace i ekonomicky velice nerentabilní,

například recyklace chemických látek nebo nebezpečného odpadu, v těchto případech může být recyklace ekonomicky velice ztrátová. Pro představu míra recyklace v České republice je 34% z celkové produkce odpadů a to sice z 28,35 milionů tun v roce 2018. (4)

4.4. Skládky

Skládka je zařízení „prostor“ pro zneškodnění „odstranění“ odpadů, které nelze jinak zpracovat. Skládky můžeme dělit na: skládky pro inertní „netečný“ odpad, skládky pro ostatní odpad a skládky pro nebezpečný odpad. Výhody skládek jsou: nejlevnější způsob zneškodnění odpadu a produkce skládkového plynu. Nevýhody skládek jsou: zábor půdy, skleníkový efekt CH₄ a CO₂ a potenciální možnost kontaminace okolí skládky.

4.5. Metodický návod

Podstatným legislativním nástrojem v ČR při nakládání se stavebním a demoličním odpadem je metodický návod odboru odpadů MŽP pro řízení vzniku stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi z roku 2018. Vymezuje oblast jeho použití a doporučuje postup pro předcházení vzniku odpadů při výstavbě, využívání stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi. V závěru obsahuje ukázkové přílohy: seznam odpadů vhodných pro recyklaci, protokol o prohlídce stavby, plán demontáže, příklad norem a právních předpisů, ze kterých návod vychází. (5)

5. Suroviny pro výrobu betonu a jejich recyklace

Níže budou popsány všechny suroviny pro výrobu betonu, základní metody a způsoby jejich recyklace. Všechny suroviny, níže popsány jsou tzv. základním kamenem pro výrobu betonu, jedna bez druhé nemají takovou hodnotu jako všechny dohromady.

5.1. Voda

Voda, která se používá k mísení betonu, se nazývá „záměsová voda“. Tato záměsová voda musí splňovat betonářskou normu ČSN EN 206-1. K mísení betonu se může používat několik druhů záměsové vody, které musí být otestovány. Tato problematika je rozklíčována v Tabulce 1: Klasifikace druhů vod. (6)

Tabulka 1: Klasifikace druhů vod

Druh vody	Použití jako záměsová voda
Pitná	Použitelná bez zkoušení
Voda získaná při recyklaci	Nutno otestovat použitelnost
Podzemní voda	Nutno otestovat použitelnost
Povrchová voda	Nutno otestovat použitelnost
Odpadní průmyslová voda	Nutno otestovat použitelnost
Mořská voda	Do betonu bez výztuže, obecně není vhodná pro výrobu železo-betonu a předpjatého betonu
Brakická (poloslaná voda)	
Splašková voda	Není vhodná do betonu

Zdroj: vlastní zpracování

5.1.1. Způsob recyklace vody z výroby betonu

Recyklovaná voda, získaná z výroby betonu, musí být použita v souladu s normou ČSN EN 1008. Recyklovaná voda obsahuje zvýšený podíl jemných částic (písku, cementu a kameniva), dle jejího původu. Recyklovanou vodu z výroby betonu můžeme získat z:

- Vymývání bubnů autodomíchačů
- Mytí prostoru pod výsypkou betonu
- Výplachu čerpadel na beton

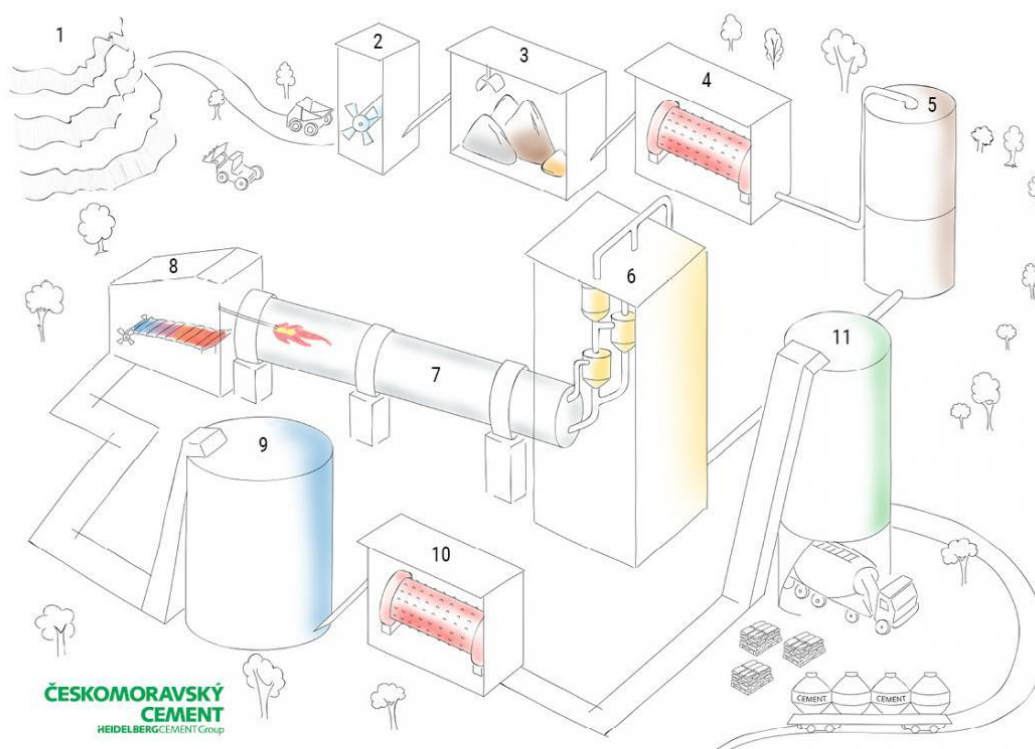
Recyklovanou vodu je vhodné znovu používat pouze v provozovnách, kde vznikla, kvůli zachování původu jednotlivých surovin. Recyklovaná voda se zásadně nepoužívá k výrobě konstrukčních a vysokopevnostních betonů. (7)

5.2. Cement

Cement je hlavní pojivou složkou pro výrobu betonu, je to jemně mletá anorganická látka, připomínající mouku, která po smíchání s vodou vytváří cementovou kaši, která tvrdne a tuhne v důsledku hydratačních reakcí. (6)

Výroba cementu je složitý a zdlouhavý proces, v krátkosti by se dal tento proces shrnout na vytěžení jednotlivých surovin jako je: vápenec, jíl, sádrovec a sekundární suroviny jako jsou: vysokopeční struska, pucolány a popílek. Dále se tyto suroviny drtí na frakci okolo 40mm, poté se suroviny melou na velice jemnou frakci, v dalším kroku se jemná frakce pálí v rotační peci, kde vzniká cementový slínek a poslední fází tohoto procesu je mletí cementové slínku na finální cementový produkt. (8)

Obrázek 1: Schéma výroby cementu



1 TĚŽBA SUROVIN V LOMU

2 PRIMÁRNÍ DRCENÍ SUROVIN

3 SKLADOVÁNÍ SUROVIN

4 SPOLEČNÉ MLETÍ SUROVIN NA SUROVINOVOU MOUČKU

5 HOMOGENIZACE A SKLADOVÁNÍ SUROVINOVÉ MOUČKY

6 PŘEDEHŘEV SUROVINOVÉ MOUČKY VE VÝMĚNÍKU

7 VÝPAL SUROVINOVÉ MOUČKY V ROTAČNÍ PECI NA SLÍNEK

8 CHLAZENÍ A DRCENÍ SLÍNKU

9 SKLADOVÁNÍ SLÍNKU V SILE

10 MLETÍ SLÍNKU NA CEMENT

11 SKLADOVÁNÍ A EXPEDICE CEMENTU

Zdroj: (9)

Druhy cementu musí splňovat normu ČSN EN 197-1. Druhy Cementu:

- CEM I-Portlandský cement
- CEM II-Portlandský cement směsný
- CEM III-Vysokopeční cement
- CEM IV-Purolánový cement
- CEM V-směsný cement

Řazeno od, nejkvalitnějšího cementu s vysokým podílem slínku a nejnižším podílem vysokopecní strusky, po nejméně kvalitní s nízkým obsahem slínku a nejvyšším podílem příměsí.

Pevnostní třídy cementu jsou označovány: 32,5, 42,5 a 52,5, od nejnižší po nejvyšší. Dále se označuje počáteční pevnost, kterou nalezneme za číselným označením pevnostní třídy:

- Písmeno N označuje normální počáteční pevnost.
- Písmeno R označuje vysokou počáteční pevnost.

Například: Portlandský cement podle normy ČSN EN 197-1, pevnostní třídy 52,5 s vysokou počáteční pevností se značí – **EN 197-1 – CEM I 52,5 R**.

Použití cementů podle pevnostních tříd:

- Cementy třídy 52,5 - výroba tenkostěnných monolitických a prefabrikovaných prvků, výroba železobetonu a předpjatého betonu pro náročné nosné konstrukce
- Cementy třídy 42,5 – výroba železobetonu a předpjatého betonu pro velmi namáhané konstrukce
- Cementy třídy 32,5 – výroba prostého betonu, bez předpokladu použití na náročné nosné konstrukce

Cement musí být skladován tak, aby se co nejvíce zamezilo styku s vodou a také s vodními parami, toho docílíme skladováním v zásobním síle. (6)

5.2.1. Způsob snížení množství použitého cementu

V průběhu 20. století se měnila technologie staveb a také pevnostní třídy oceli (armatury). V první polovině 20. století se používala ocel s označením B, která měla pevnost okolo 230 MPa, konstrukce tudíž byly velice masivní a spotřebovávalo se obrovské množství vstupních materiálů, včetně cementu. Od poloviny 20. století zhruba do roku 1995 se používala ocel s označením J330, která měla pevnost 330 MPa, konstrukce se tudíž začali ztenčovat, např.: sloupy se vyráběly v průřezu 600x600 mm. Od roku 1995 do současnosti se používají pevnostní třídy oceli B500B a B550A, které mají pevnost 500 a 550 MPa, konstrukce se tudíž začali znovu ztenčovat, např.: sloupy se dnes vyrábějí v průřezu 400x400 mm. V matematické rovině toto znamená, že se ušetří cca 33% vstupních materiálů, včetně cementu oproti období od poloviny 20. století do roku 1995. Trend ve snižování množství použitého cementu se dá rozhodně předpokládat, tudíž se bude zátěž na ŽP snižovat, s přibývajícími moderními technologiemi.

5.2.2. Eko-cement

Možnost použití mramorových kalů, pískových a železnatých strusek, splaškových kalů, kalů z čistíren pitné vody a kalů z kyslíkových pecí pro výrobu eko-cementu. V zásadě bylo zjištěno, že se dá nahradit až 50% vápence pro výrobu cementu, mramorovými kaly a také dalšími výše popsanými odpady v různých kombinacích. Eko-cement v průběhu hydratačního procesu generuje hydroxid vápenatý a hydráty křemičitanu vápenatého. Byly provedeny zkoušky pevnosti betonu po 28 dnech zrání, kde bylo použito 50% eko-cementu a 50% běžného portlandského cementu a zjistilo se, že pevnost betonu je téměř identická, jako u standardní technologie, kde se používá 100% běžného portlandského cementu. (10)

5.2.3. Srovnání cen cementu

Tabulka 2: Tržní srovnání cen cementu

Ceník cementu v (Kč/t) bez DPH 21 %		
	LaFarge	Českomoravský cement
CEM I 42,5 R	2289-2546	2840
CEM I 52,5 R	2394-2799	3184

Zdroj: interní zdroj KŠ PREFA, (9) / Autor

5.3. Písek

Písek, který je používán k výrobě betonu, se rozumí frakce 0,05 – 4 mm, v praxi se také označuje zkratkou TK (těžené přírodní kamenivo). Písek je nejčastěji říčního původu a vyznačuje se hladkým povrchem, který je zapříčiněn prouděním vody. Těžba se dělí na suchou a mokrou metodu s následujícím tříděním na frakce.

Obrázek 2: Frakce písku (TK)



Zdroj: (11)

Písek použitý pro přípravu betonu podle ČSN EN 206-1 musí být deklarováno podle ČSN EN 12620 (kamenivo do betonu). Složení písku závisí na tom, z jaké horniny je těžen, obvykle v písku nalezneme minerály, jako jsou křemen, živce a muskovit. Objemová hmotnost sypaného písku se pohybuje od 1300-1700 kg/m³. Při používání písku v betonářském průmyslu je velice důležité sledovat jeho vlhkost, protože vlhkost písku může kladně i negativně ovlivnit kvalitu betonové směsi. (12)

Obrázek 3: Skladování písku TK 0/4 v areálu firmy KŠ Prefa Štětí s.r.o.



Zdroj: Autor

5.4. Kamenivo

Kamenivo, které je používáno k výrobě betonu, se rozumí frakce 4 – 32 mm, v praxi se označuje také zkratkou TK (těžené přírodní kamenivo). Kamenivo je nejčastěji říčního původu a vyznačuje se hladkým povrchem, který je zapříčiněn prouděním vody. Těžba se dělí na suchou a mokrou metodu s následujícím tříděním na frakce.

Obrázek 4: Frakce kameniva TK



Zdroj: (11)

Kamenivo použité pro přípravu betonu podle ČSN EN 206-1 musí být deklarováno podle ČSN EN 12620 (kamenivo do betonu). Kamenivo k betonářským účelům by mělo být čisté, tvrdé, pevné a nesmí obsahovat zbytky chemických povlaků nebo jiného znečištění. Právě čistota kameniva je velice důležitá z hlediska pojivosti v betonové směsi. Kamenivo zásadně ovlivňuje chování betonu, jak čerstvě namíchaného tak zatvrdlého, strukturu betonu a také v neposlední řadě finanční stránku při výrobě betonu. (12)

Obrázek 5: Skladování kameniva TK 4/8 v areálu firmy KŠ Prefa Štětí s.r.o.



Zdroj: Autor

Obrázek 6. Skladování kameniva TK 8/16 v areálu firmy KŠ Prefa Štětí s.r.o.



Zdroj: Autor

5.4.1. Srovnání cen kameniva

Tabulka 3: Tržní srovnání cen kameniva

Ceník písku a kameniva v (Kč/t) bez DPH 21 %			
	České štěrkopísky	Českomoravský štěrk - Pískovna Mankovice	Kare Praha
Frakce TK 0/4	140	250	295
Frakce TK 4/8	260	400	445
Frakce TK 8/16	260	400	383

Zdroj: interní zdroj KŠ PREFA, (11), (13) / Autor

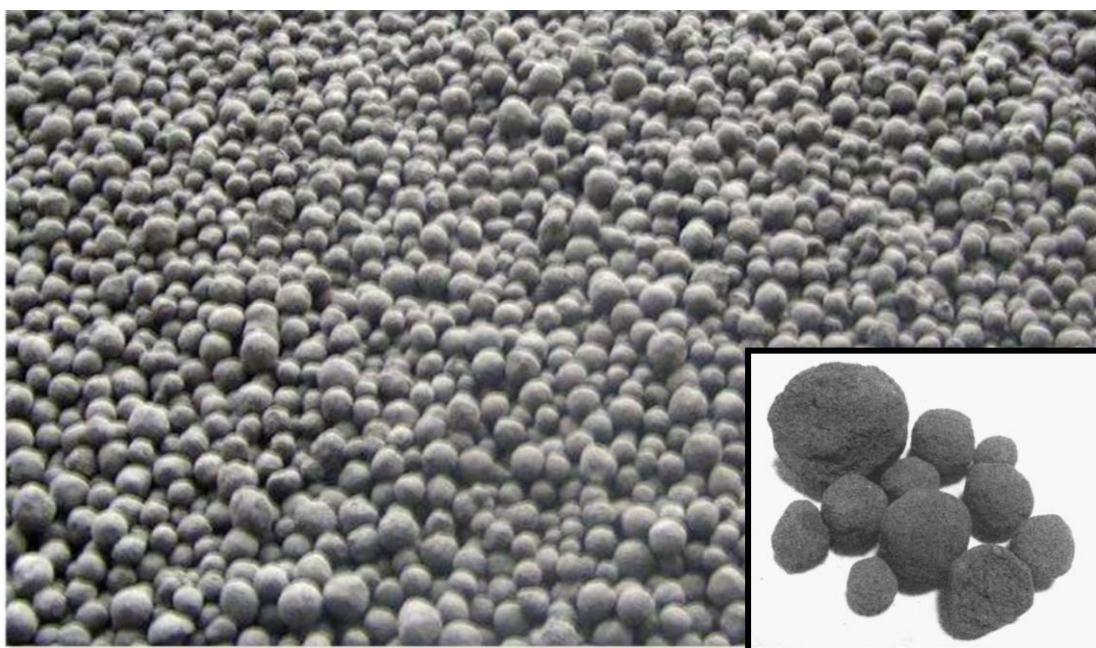
5.4.2. Umělé kamenivo RUGEN jako alternativa za přírodní kamenivo

Umělé kamenivo RUGEN je vyráběno z jemného anorganického odpadního materiálu (JAOM), jeho zdrojem jsou zejména technologie spalování tuhých paliv, technologie těžby a úpravy přírodního kamene. JAOM je většinou materiál velice nesterodný s různým mineralogickým a chemickým složením, dokonce i s různými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi. Umělé kamenivo RUGEN se může použít v závislosti od druhu vstupních komponentů použít pro výrobu následujících stavebních materiálů a hmot:

- Lehké hutné betony s ρ od 1400 kg/m³ (stěnové panely o tl. 200mm)
- Lehké mezerovité betony s ρ od 900 kg/m³ (tvarovky, příčkovky, desky, překlady, panely,...)
- Samonivelační hmoty a vyrovnávací vrstvy suchých podlah

Jednou z nejlepších vlastností umělého kameniva RUGEN je jeho objemová hmotnost, v závislosti na frakci je jeho objemová hmotnost až o 40 % nižší než u standartního přírodního kameniva. To má velice pozitivní vliv na ŽP např. co se týče transportu samotného betonu nebo stavebních dílců a také v rámci zatížení ŽP z těžby přírodního kameniva.

Obrázek 7: Umělé kamenivo RUGEN



Zdroj: Autor

5.5. Chemické přísady

Všechny chemické přísady musí splňovat normu ČSN EN 934-2. Chemické přísady pro výrobu betonu jsou chemické sloučeniny s různými vlastnostmi, které se přidávají do betonové směsi během míchání v množství od 0,2% do 5% hmotnosti cementu, za účelem změny vlastností betonu. (6)

5.5.1. Plastifikační přísady

V praxi to znamená vodu redukující přísady, které redukují potřebné množství vody pro dosažení stejné zpracovatelnosti čerstvého betonu. (6) Plastifikační přísady fungují tak, že prodlužují zpracovatelnost a zvyšují soudržnost betonové směsi, dále zlepšují čerpatelnost betonové směsi, která si uchovává i při tekuté konzistenci soudržnost bez segregace kameniva a odlučování vody. Chemicky se jedná o polykarboxiláty, hydrolyzáty bílkovin a sulfitově modifikované melaminové pryskyřice.

5.5.2. Provzdušňovací přísady

Jsou chemické látky, které po přidání do betonové směsi vytváří uzavřené vzduchové póry, rovnoměrně rozložené v betonu. Velikost vzduchových pórů je od 0,01 do 0,3 mm a navzájem jsou si vzdálené 0,2 mm. (7) Provzdušňovací přísady fungují tak, že vzduchové póry v zatvrdlém betonu výrazně zvyšují odolnost vůči mrazu, agresivnímu prostředí a v neposlední řadě snižují spotřebu vstupních materiálů. Chemicky se jedná o přirozené pryskyřice, syntetické neionogenní a anionogenní tenzidy.

5.5.3. Přísady zpomalující tuhnutí

Jsou chemické látky, které po přidání do betonové směsi zpomalují tuhnutí cementu, tudíž prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky. V praxi se tyto chemické přísady používají při delších transportech na stavbu. (6) Chemicky se jedná o fosforečnany, oxikyseliny a sulfonové sloučeniny.

5.5.4. Přísady urychlující tuhnutí

Jsou chemické látky, které po přidání do betonové směsi zrychlují tuhnutí cementu, tudíž velice zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky. V praxi se tyto chemické přísady používají tam, kde je potřeba dosáhnout zvýšení krátkodobých pevností, zejména u stříkaného betonu a při betonování za nízkých teplot. (7) Chemicky se jedná o alkalicky reagující anorganické soli, např. uhličitan sodný a draselný, hlinitany a křemičitany.

Obrázek 8: Skladovací nádrž chemických přísad Masterglenium od firmy BASF



Zdroj: (49)

5.5.5. Srovnání cen chemických přísad

Tabulka 4: Tržní srovnání cen chemických přísad

Ceník chemických přísad v (Kč/l) bez DPH 21 %			
	BASF - Masterglenium	Drizoro	Stachema
Plastifikační přísady	45-69	85	64,5
Provzdušňovací přísady	44-66	80	81
Přísady zpomalující tuhnutí	45-56	72	-
Přísady urychlující tuhnutí	25-49	73	21,2

Zdroj: interní zdroj KŠ PREFA, (14), (15) / Autor

6. Environmentální dopady při těžbě surovin pro výrobu betonu

Dopady na ŽP z těžby a výroby jednotlivých surovin pro výrobu betonu, jsou různě intenzivní a závažné. Dle níže popsaného je poznat, že spotřeba všech surovin roste a s tím jsou spojené různé negativní, možná částečně i pozitivní dopady na ŽP.

6.1. Environmentální dopady výroby cementu

Výroba cementu má zásadní vliv na ŽP. Jedná se o těžbu jednotlivých surovin pro výrobu cementu, posléze i o výrobu samotného cementu, tyto procesy zatěžují ŽP zejména emisemi skleníkových plynů, prašností při těžbě, zpracování, dopravě a také energetickou náročností daných procesů. Nicméně by se měli více používat náhradní pojivé materiály na místo cementu, v současné době je spíše myšleno přidávání popílku a strusky místo určitého podílu portlandského cementu. (16)

Dle Českého statistického úřadu stále stoupá množství, vyrobeného cementu a množství elektrické energie spotřebované na jeho výrobu, v České republice.

Tabulka 5: Cement v číslech

		Produkce cementu v ČR					
	Jednotka	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Portlandský, hydraulický, hlinitanový a struskový cement	tis. tun	3423	3749	3822	4007	4079	4532
		Energetická náročnost výroby cementu					
Portlandský, hydraulický, hlinitanový a struskový cement	GJ/tunu	3,918	3,921	3,954	3,912	4,029	-
		Emise oxidu uhličitého v provozovnách vyrábějící cement v rámci ČR					
Portlandský, hydraulický, hlinitanový a struskový cement	Mt CO ²	3,14	3,37	3,49	3,72	3,82	4,15

Zdroj: (17), (18), (19) / Autor

V Evropských poměrech je emitováno do ovzduší mnoho znečišťujících látek viz Tabulka č. 6.

Tabulka 6: Množství emitovaných znečišťujících látek

Znečišťující látka	Vypouštěná hmotnost tun/rok
CO ₂	1,54 milionu
CO	460-11500
SO ₂	až 11125
NO _x jako NO ₂	334-4670
Prach	0,62-522
TOC/VOC	2,17-267
HCl	0,046-46
HF	0,21-23
PCCD/PCDF	0,0000276-0,627 g za rok

Zdroj: (20) / Autor

TOC/VOC, PCCD a PCDF představují celkově organické sloučeniny, včetně těkavých organických sloučenin. CO₂, CO a SO₂ představují skleníkové plyny emitované do ovzduší. V neposlední řadě je do ovzduší emitováno stopové množství těžkých kovů jako je Hg, Cd, As, Pb, Cr, Mn a Ni.

Snahou společností, které těží suroviny pro výrobu cementu, a které produkuje cement, by měla být úspora neobnovitelných přírodních zdrojů, využívání alternativních materiálů a paliv, zásadní zvýšení podílů recyklace, snížení prašnosti a také by měli vkládat nemalé finanční prostředky do rekultivací, čištění povrchových vod a do nových stanovišť pro měření emisí. (20)

6.1.1. LCA hodnocení environmentálních dopadů výroby cementu

V Turecku byl proveden experiment, který prokázal následující skutečnosti. V případě, že nahradíme klasické palivo při výrobě cementu alternativními, jako jsou sušené kaly a zbytkové oleje, snížíme negativní dopady na ŽP přibližně o 12% na 1 tunu vyrobeného slínku. Hlavně v rámci emisí CO₂ a energetické náročnosti. (21)

6.2.Environmentální dopady těžby písku

Písek je přírodní agregát tvořený erozí hornin po tisíce let, což znamená, že jeho zásoby nejsou nevyčerpatelné a jeho obnova trvá v řádech tisíců let. Významnost písku jako vzácného přírodního zdroje, je mnohem důležitější než se může zdát. Písek je v dnešní době po sladké vodě druhý nejpoužívanější materiál na světě. Paradoxem je, že ne každý typ písku, např. pouštní (obsahuje malá a jemná zrna), je vhodný pro tržní poptávku v rámci stavebnictví, např. země Středního východu, které jsou obklopené pouštěmi, musí dovážet až 90% písku ze zahraničí.

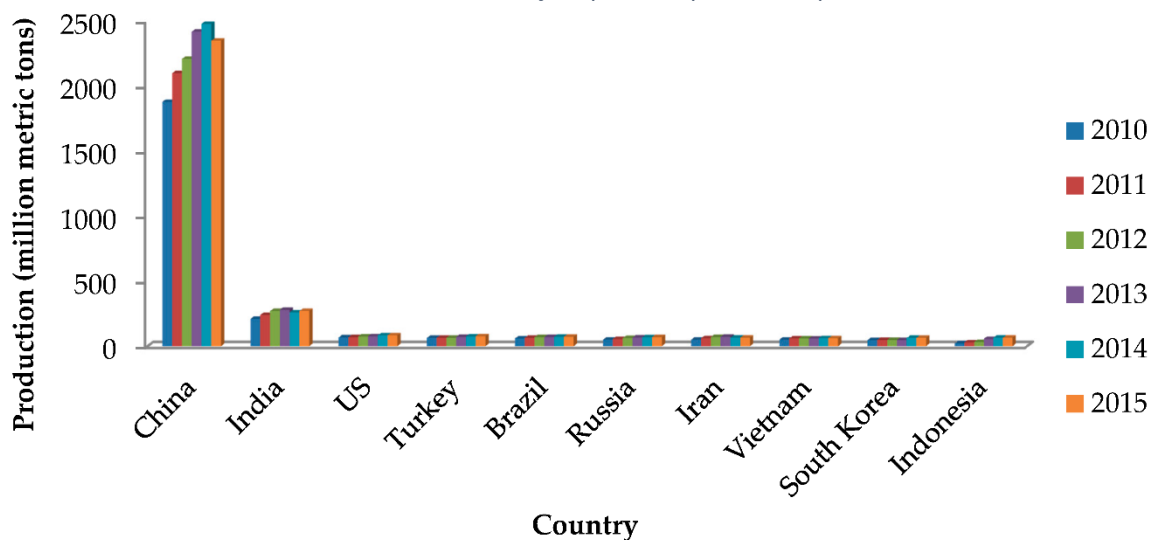
Různé typy písků mají specifické vlastnosti a používají se v odlišných průmyslových odvětvích např. ve stavebnictví, sklářství, slévárenství, kovovýrobě, chemické výrobě, keramice, ve výrobě žáruvzdorných materiálů, pro výrobu barev a povlaků a filtrace. Krom toho, že se písek používá na výrobu různých materiálů se také používá při rekultivaci půdy. Ložiska pro těžbu písku se dají rozdělit na dva původy:

- Suchozemská ložiska – zbytková ložiska půdy, ložiska kanálů a ložiska luční
- Mořská ložiska – pobřežní ložiska a ložiska na mořském dně

Zásadním problémem těžby písku na suchozemských ložiscích je, že se tato ložiska převážně nacházejí v ekologicky hodnotných oblastech, to znamená drancování přírodních zdrojů, drastické zvýšení dopravy a s tím spojené negativní vlivy na ŽP, především emise skleníkových plynů, prašnost, narušení přirozených ekosystémů a zásadní negativní vliv je přeměna krajinného rázu. Na druhou stranu je suchozemská těžba daleko levnější než mořská.

S neustále rostoucím trendem používání betonu jako hlavní složkou pro stavební průmysl roste samozřejmě i spotřeba písku, pro představu na jednu tunu cementu se do betonu připadá 3-5 tun písku. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny země, které jsou předními producenti písku od roku 2010 do roku 2015, zároveň tento graf nevykresluje situaci exportu písku ze země původu do zahraničí. (22)

Obrázek 9: Graf států jako předních producentů písku



Zdroj: (22)

Těžba písku je rozvinutá činnost napříč všemi kontinenty, která má své kladné i stinné stránky. Kladnými stránkami těžby písku jsou: rekultivace krajiny (výsadba lesa po ukončení těžby, nová zemědělská půda nebo parky), vytvoření nových vodních nádrží a nových systémů zásobování pitnou vodou, nová stanoviště pro živočichy a rostliny, snižování chudoby a ekonomický růst.

Podstatnými negativními dopady těžby písku jsou: změny v místní fauně a flóře, kontaminace podzemní vody, znečištění ovzduší a změny v krajině. Konkrétní dopady a důsledky na ŽP viz tabulka č. 7. Důležité je zmínit, že těžba písku má negativní dopad na změnu klimatu. Příímí dopad souvisí s procesem těžby a dopravy (emitace prachových částic do ovzduší) a nepřímí dopad souvisí s výrobou cementu.

Možností eliminace dopadu na ŽP není příliš mnoho, protože není adekvátní náhrada za písek. Jednou z možností je využití recyklovaného betonu nebo drcené suti ze zdemolovaných staveb v požadovaných frakcích, 0/2 a 0/4, na místo písku, ovšem tento recyklát nespĺňuje technické a stavební normy. Rizika spojená s negativními dopady na ŽP převyšují nad ekonomickými a sociálními výhodami, tudíž bychom se měli snažit tato rizika eliminovat nebo alespoň zmírnit. (22)

Tabulka 7: Dopady na ŽP

Oblast dopadu	Hlavní dopad	Důsledky
VZDUCH	Zvýšení koncentrace látek znečišťujících ovzduší	Rizika pro lidské zdraví
FAUNA A FLÓRA	Ztráta přirozeného prostředí	Změna populace
	Fyzické narušení stanoviště	Degradace vodní bioty Změna počtu živočichů
	Zničení vegetace	Zničení zemědělské půdy a pastvin
VODA	Zvýšení zákalu vody	Snížení fotosyntetických aktivit rostlin
		Snížený průnik světla
		Snížená hladina kyslíku
		Ovlivnění tření a líhnutí
		Negativní změny v diverzitě
		Zvýšení infekcí a úmrtí vodních živočichů
	Zvýšení eroze břehů	Vnikání mořské vody
	Zhoršení kvality vody	Zvýšení slanosti Změna vodních zdrojů
Znečištění vody	Zvýšené náklady na úpravu vody Ovlivňuje biologickou rozmanitost	
PŮDA	Snížení kvality půdy	Úrodnost půdy klesá z důvodu poklesu podzemních vod
		Zvýšení podílu těžkých kovů v půdě
	Eroze půdy	Znečištění vodních toků, mokřadů a jezer
KRAJINA	Narušení krajiny	Změny v krajinném rázu
		Odlesňování
		Ztráta původních vodních ploch

Zdroj: (22) / Autor

6.2.1. Zhodnocení

Těžba písku má zásadní dopad na ŽP v negativní rovině, tudíž by měli být navrženy legislativní nástroje pro snížení negativních dopadů na ŽP. Dále by měli být zavedeny poplatky na rekultivaci a obnovu krajiny po ukončení těžby písku, které by těžební společnosti zahrnuly přímo do výrobních nákladů. Vlády a orgány státní správy zainteresované v oblasti těžebního průmyslu, musí efektivně prosazovat normy, předpisy a zákony na ochranu přírody, sledovat a kontrolovat místa těžby, jestli společnosti dodržují své závazky vůči normám, předpisům a zákonům. V neposlední řadě by těžební společnosti měli investovat do čistších a modernějších technologiím.

6.2.2. LCA hodnocení environmentálních dopadů těžby písku

Dle hodnocení LCA, těžba a zpracování písku emituje do ovzduší mnohem méně CO₂, než těžba a zpracování hrubého kameniva, protože písek je pouze tříděn a ne drcen. Jedna tuna vytěženého a zpracovaného písku generuje o 60 – 70% méně CO₂ než jedna tuna vytěženého a zpracovaného hrubého kameniva. (23)

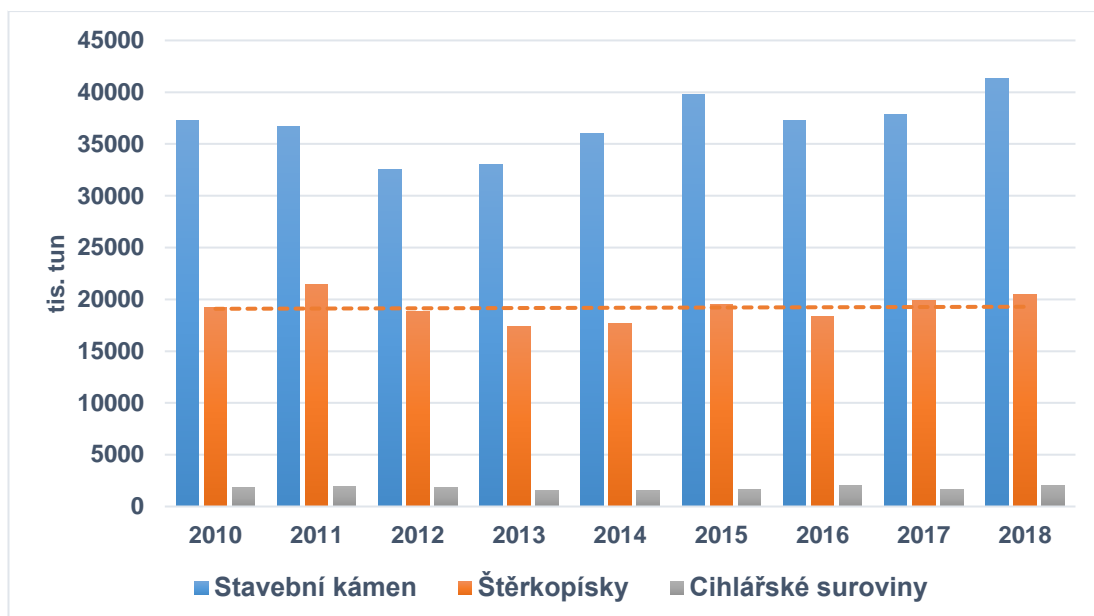
6.3. Environmentální dopady těžby kameniva

Tato problematika se ve větší míře prolíná s problematikou, která je rozepsána v kapitole 6.2. Těžba kameniva je téměř stejně podstatná jako těžba písku, tudíž má velice podobné negativní i pozitivní dopady na ŽP. Většina negativních dopadů na ŽP z těžby kameniva se dá ve větší míře předpokládat a usměrňovat v místě vzniku negativního dopadu.

Jedním z méně zřetelných dopadů je přeměna využití půdy, ze zemědělské nebo lesní půdy, na dočasnou tzv. „díru v zemi“. Tato přeměna je doprovázena ztrátou stanovišť původních druhů živočichů a rostlin, hlukem, prašností, erozí, sedimentací a změnami krajinného rázu. Geologické, geomorfologické, fyzikální a chemické vlastnosti mají velký vliv na konkrétní intenzitu a rozsah dopadů této těžby. Těžební ložiska, která obsahují velké množství materiálu nevhodného k další distribuci, vytvářejí rozsáhlé těžební oblasti a velké množství odpadního materiálu. V konečném důsledku těžba kameniva vytváří narušenou krajinu, kterou je velmi složité rekultivovat tak, aby dopady na ŽP a krajinný ráz byly co nejméně markantní. Protipólem těchto negativních dopadů je zlepšení ekonomické situace rozvojových zemí, snížení chudoby a zlepšení životní úrovně obyvatelstva v místě těžby. (24)

V níže uvedeném grafu č. 8, dle Informačního systému statistiky a reportingu dále jen „ISSaR“, budou vyobrazena čísla těžby kameniva v ČR v letech 2010 – 2018.

Graf 8: Těžba stavebních surovin



Zdroj: (51) / Autor

6.3.1. Zhodnocení

Z výše uvedeného grafu č. 8 vyplývá, že v letech 2010 – 2018 bylo trendem těžít 19,2 tis. tun štěrkopísku ročně, v rámci ČR. Nedá se jednoznačně určit, zda bude objem těžby klesat nebo stoupat. Pro porovnání byly přidány i hodnoty těžby stavebního kamene a cihlářských surovin.

6.3.2. LCA hodnocení environmentálních dopadů těžby kameniva

Dle hodnocení LCA, těžba a zpracování kameniva emituje do ovzduší mnohem více CO₂, než těžba a zpracování písku, protože hrubé kamenivo musí být tříděno a ještě drceno. Těžba a zpracování hrubého kameniva je zodpovědná za 13-20% emisí CO₂ v rámci celkové výroby betonu. Většina emisí CO₂ z produkce hrubého kameniva, pochází ze spotřeby elektrické energie, konkrétně asi 75%, samotná těžba a doprava přispívá přibližně 25% celkových emisí CO₂. (23)

6.4.Environmentální dopady výroby chemických přísad

Superplastifikátory, jsou také známy jako obsah vody snižující přísady, které jsou ve vodě rozpustné organické chemikálie. Super plastifikátory tvořily v roce 2006 asi 38 % všech přísad prodávaných v Evropě.

Dle EFCA environmentálního prohlášení z roku 2006, zpracovaného v souladu s ISO 14040, 1 kg superplastifikační chemické přísady do betonu, produkuje 21 g non-nebezpečného odpadu, 0,45 g nebezpečného odpadu a spotřebuje se na jeho výrobu 18,3 MJ elektrické energie. Částečný rozbor:

- Emise do ovzduší – 0,72 kg CO₂, 1,2 g methanu, 11 mg butanu, 7,4 mg benzolu, 0,29 g VOC, 2,1 g amoniaku, 43 ng dioxinu, 39 µg PAH, 58 µg As, 94 µg Hg
- Emise do vody – 67 µg PAH, 51 mg barytu, 3,9 mg Ni
- Emise do půdy – 0,22 mg šestimocného Cr, 0,66 g oleje a NS

Provdzdušňovací přísady, se používají k vytvoření velkého množství malých vzduchových bublinek v betonu. Provdzdušňovací přísady tvořily v roce 2005 asi 5 % všech přísad prodávaných v Evropě.

Dle EFCA environmentálního prohlášení z roku 2005, zpracovaného v souladu s ISO 14040, 1 kg provzdusňovacích přísad do betonu, produkuje 0,29 g non-nebezpečného odpadu, 59 mg nebezpečného odpadu a spotřebuje se na jeho výrobu 2,1 MJ elektrické energie. Částečný rozbor:

- Emise do ovzduší – 86 g CO₂, 0,62 g methanu 0,92 mg butanu, 1,1 g benzolu, 6,4 mg amoniaku, 0,0072 µg dioxinu, 9,1 µg PAH, 8,6 µg As, 19 µg Hg
- Emise do vody – 5,8 µg PAH, 4,2 mg barytu, 0,74 mg Ni, 25 mg N, 0,24 g dusičnanů, 29 mg fosfátu, 0,71 mg Cu
- Emise do půdy – 17 µg šestimocného Cr, 37 mg oleje a NS, 0,15 µg Hg (25)

7. Výroba betonu

Výroba betonu není tak jednoduchá jak se může zdát, pro kvalitní beton musí být přesně kalkulován poměr jednotlivých přísad a surovin, pro dosažení perfektní a individuální receptury. Při výrobě se musí brát v potaz okolní faktory jako je: roční období, teplota vzduchu a teplota vstupních materiálů, vlhkost vzduchu a vlhkost vstupních materiálů, jak daleko se bude beton transportovat a na co se bude beton používat. Znalosti a zkušenosti technologa betonárny musí být na velice dobré úrovni, aby dokázal správně reagovat na výše uvedené faktory, jen takto lze docílit stanovené pevnosti betonu, kvality, obsahu vzduchu v betonu, jeho odolnosti proti průsakům vody, schopnosti odolávat mrazu a různým chemickým látkám.

Každá receptura, resp. každý den se musí beton podrobit laboratorním zkouškám. Druhy laboratorních zkoušek:

- Konzistence rozlitím, kdy se měří výška a šířka rozlití
- Konzistence sednutí kužele, kdy se měří výška kužele
- Konzistence rozlití – poklepem, kdy se měří průměr rozlití
- Zkouška obsahu vzduchu v BS
- Zkouška CHRL, kdy se měří odolnost proti chloridu sodnému
- Zkouška pevnosti betonu, kdy se odlévá krychle o rozměrech 150x150x150 mm, po vytvrdnutí se nechá zrán po dobu 28 dní ve vodní lázni, za konstantní teploty 20°C + - 2°C, poté se v lisu měří pevnost betonu

Obrázek 10: Krychle 150x150x150 mm



Zdroj: Autor

Míchání BS na betonárně je velice komplexní činnost. Nakladačem se naplní násypka na jemné a hrubé kamenivo, které se elevátorem dopravuje na vrchol betonárny, kde je přes síta rozměňováno. Dále je kamenivo dávkováno za pomoci klapky na váhu, kde se nachází velice přesné tenzometry, které měří hmotnost kameniva. Poté kamenivo padá do míchacího jádra. U věže betonárny se nachází sila na cement, ze kterých je tlačén trubním šnekovým dopravníkem na pohyblivé pásy, kde jsou velice přesné tenzometry, které měří hmotnost dopravovaného cementu. V tuto chvíli se již spojí trasa kameniva a cementu v míchacím jádru, kam je zároveň několika tryskami rozstříkována voda a příslušné množství chemických přísad. Míchací jádro má objem 1,5 m³ a tento objem je míchán 60-90 sekund, poté promíchaná BS padá do autodomíchávače nebo do přepravního zařízení. (26)

Obrázek 11: Věžová betonárna



Zdroj: Autor

7.1. Srovnání cen výroby betonu

Tabulka 9: Tržní srovnání cen výroby betonu

Ceník betonu v (Kč/m ³) bez DPH 21 %				
Třída betonu	Odolnost	KŠ PREFA	Skanska	Českomoravský beton
C30/37	XC1-4, XD1-2, XA1	1950	2285	2330
C30/37	XC1-4, XD1-3, XA2, XF2-4	2085	2521	2520
C35/45	XC1-4, XD1-2, XA1	2136	2494	2450
C35/45	XC1-4, XD1-3, XA1, XF2-4	2186	2605	2660
C40/50	XC1-4, XD1-3, XA1	2289	2596	2670
C50/60	XC1-4, XD1-3, XA1	2490	-	3270

Zdroj: interní zdroj KŠ PREFA, (27), (28) / Autor

7.2. Odpad z výroby betonu – kaly jejich využití a recyklace

Kaly z výroby betonu vznikají v zásadě dvěma způsoby: při vymývání míchačky (míchacího jádra) a při vymývání autodomíchačů. Vymytý obsah se shromažďuje v jímkách, kde se nechá sedimentovat. Po usazení kalu na dně jímky, se odčerpá z povrchu voda, která se opět dá použít k výrobě betonu nebo pro další vymývání autodomíchačů. Sediment se pomocí bagru odstraní ze dna jímky na místo, kde se nechá vyschnout.

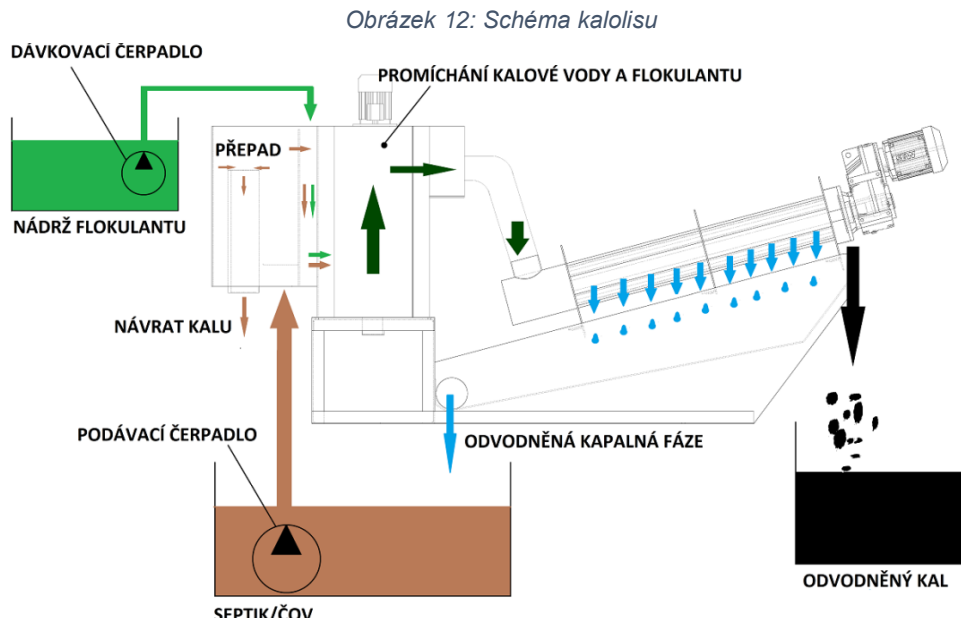
Po vyschnutí sedimentu se musí provést laboratorní zkoušky. Kal se především testuje na ekotoxicitu. Zpravidla bývá kal velice alkalický, musí se zneutralizovat kyselinou, aby se dosáhlo ideálního pH mezi 9 až 11 pH. Tyto testy se obvykle provádějí na Perloočce (*Daphnia magna*), Sladkovodní řase (*Desmodesmus quadricauda*), Semenech bílé hořčice (*Sinapis alba*) a na bioluminiscenční mořské bakterii (*Vibrio fischeri*). Testy spočívají v aplikaci výluhu z kalu do živného roztoku, kde se vyskytují výše uvedené organizmy a řasy, kde se pozoruje imobilizace, inhibice a mortalita, v případě že je mortalita vyšší než 10%, vzorek nevyhověl v rámci testu ekotoxicity. Tyto testy mají největší potenciál pro hodnocení nebezpečí v rámci vodních ekosystémů. (29)

V případě, že se kal odváží na skládku jako volně ložený odpad, tak vystává několik variant, jak ho využít: přimíchávání sušeného kalu do čerstvých BS, použití jako podklad pod vozovky a jako hnojivo na pole. Dále se kal dá recyklovat níže popsanými způsoby.

7.2.1. Šnekový odvodňovací lis kalových vod „kalolis“

Kalolis funguje relativně na jednoduchém principu, který bude dále popsán. Kal je přiváděn čerpadlem z akumulární nádrže do první přítokové komory, ve které se optimalizuje průtok do další části šnekového lisu. Při vstupu kalu do míchací komory je do kalu dávkován flokulant/polymer, který shlukuje pevné částice do vloček. Tento proces probíhá za pomalého míchání kalové vody s flokulantem, kdy je tato směs mísená lopatkami. Kal shluknutý do vloček natéká ke šroubu, který je základním ústrojím kalolisu. Šroubovice má proměnlivé stoupání a lamely, plní funkci samočisticího pohyblivého filtru. V těle lisu se nachází dvě pevné a jedna volná lamela, která rotuje při pohybu šroubu. Mezera mezi pevnými lamelami a pohyblivou lamelou je volitelně nastavitelná v rozmezí od 0,5 do 0,1 mm.

Touto mezerou vytéká voda, oddělená od vloček kalu. Na konci šnekové komory je umístěn vymezovací uzávěr, který tlačí v protisměru a zajišťuje tím větší účinnost odvodnění. Kalová voda se poté vrací zpět do aktivizační nádrže. Odvodněný kal, vypadává na konci stroje na dopravník, které ho transportuje ven do kontejneru. Přednostmi kalolisu jsou: nízká energetická náročnost, široké použití, automatický režim ekonomický provoz a kvalitní české zpracování. (30)



Zdroj: (30)

Obrázek 14: Šroubovice kalolisu



Zdroj: (30)

Obrázek 13: Odvodněný kal



Zdroj: (30)

7.2.2. Spalování kalů v cementářenské peci

Metoda spalování kalů byla vyvinuta v Japonsku a má nespočet výhod a pozitivních aspektů v rámci ŽP: při teplotě spalování $> 1500^{\circ}\text{C}$ lze úplně odstranit všechny toxické organické látky, těžké kovy se naváží na cementářenský slínek a nemohou být dále vyluhovány, velká úspora uhlí a surovin, snížení emisí CO_2 , bezodpadové zpracování kalů.

Pro udržení standartních vlastností cementu je možno sušeným kalem nahradit pouze 5% použitého uhlí a použitý kal musí obsahovat 95% sušiny. Cementárna používá sušený kal práškový nebo granulovaný s obsahem sušiny nad 90%. Sušené kaly se dávkuje do blízkosti plamene hořáku, který produkuje teplotu přibližně 1800°C , kde shoří.

Pozitivní aspekty spalování kalů v cementářenské peci, budou dále popsány. Emise tuhých znečišťujících látek např.: těžkých kovů, furanů a dioxinů jsou výrazně pod emisními limity. Ani emise plyných látek nepřekračují emisní limity, až na oxid uhelnatý a NO_x , což ale není způsobeno spalováním kalů, ale je dáno povahou cementářenské pece, pro níž limit CO není stanoven. Pozitivní je také úspora uhlí a surovin. Spalování vysušených kalů v cementářenské peci se jeví jako efektivní metoda jejich spolehlivé likvidace, bez další zátěže pro ŽP a navíc se využije jejich energetický potenciál.

Další možností využití kalů v cementářenské peci je použití kalu pro výrobu portlandského cementu. Kal s obsahem sušiny okolo 20% je smíchán s páleným vápnem v poměru 1:1 a je dosušen na 99% sušiny. Obsah organických látek má dostačující kalorickou hodnotu pro spálení. Solidifikace kalu do betonu se ukázala být účinnou technologií fixace toxických kovů jako je chrom rtuť a olovo a jiných kovů jako je nikl, měď a zinek, vyskytujících se ve vysokých koncentracích v kalech. (31)

7.2.3. Využití sušeného kalu jako stabilizátoru půdy pod vozovky

Podle experimentální studie pana Jinxi Zhanga z Pekingské technické univerzity byl zjištěn následující objev. V Japonsku se každý rok vyprodukuje obrovské množství kalu z výroby betonu, jeho likvidace je velice drahá a zároveň může zneškodněný betonový kal způsobit vážné problémy v oblasti ŽP, konkrétně poškození půdy a spodních vod. Proto byla vyvinuta nová technologie pro recyklaci betonového kalu, která se využívá v oblasti výstavby vozovek. Japonští vědci provedli experimenty, které potvrdili vhodnost použití sušeného betonového kalu (prášku) jako stabilizátoru vlhkých hlinitých půd. Tento prášek výrazně snižuje obsah vody, index plasticity v zamrzlé půdě a zároveň zvyšuje únosnost. Stabilizační účinnost sušeného kalu je vyšší než účinnost páleného vápna. (32)

7.2.4. Recyklace kalové vody s příměsí popílku a chemických přísad

Opětovné použití kalové vody z výroby betonu pro výrobu nového betonu. Při této metodě recyklace kalové vody se počítá s obsahem pevných látek, jako je popílek a chemické přísady, které jsou popsány výše v kapitole 5.5. Byly zkoumány chemické a fyzikální vlastnosti kalové vody. Postupným přidáváním kalové vody s obsahem pevných látek jako záměsové vody do míchačky byl zjištěn optimální poměr, a to sice 5-6% celkového objemu záměsové vody. Při větší koncentraci bylo zjištěno, že beton nevyhovuje z hlediska doby tuhnutí, pevnosti v tlaku, propustnosti a odolnosti pro kyselinám. Kalová voda s obsahem pevných látek nižším než 6% je vhodná pro výrobu betonu s přijatelnou pevností a trvanlivostí. (33)

7.3.Environmentální dopady výroby betonu v globálním měřítku

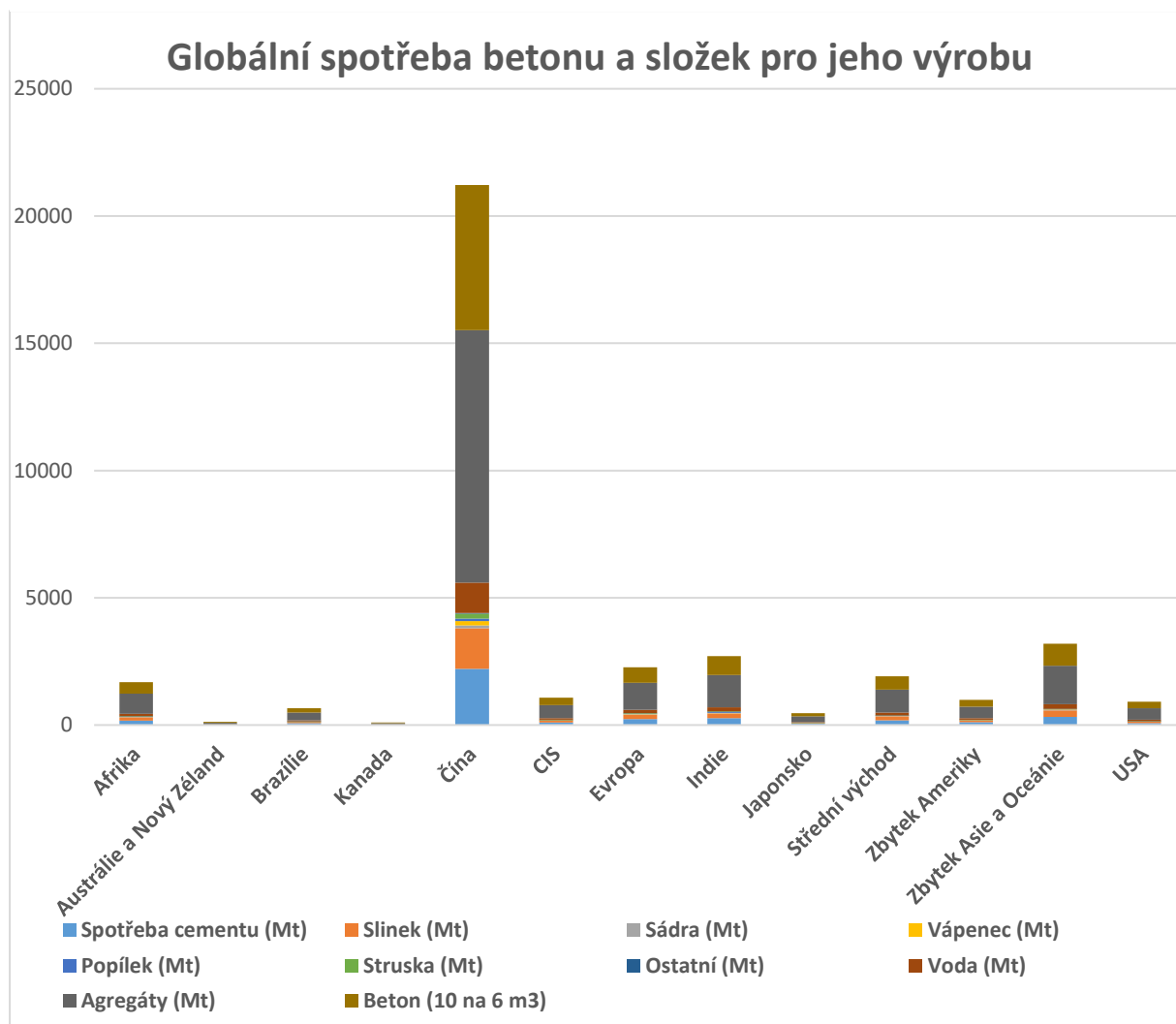
Od 2. poloviny 20. století se razantně zvýšilo procento světové populace bydlící v městských oblastech, konkrétně z 30% na 54%. Dle výhledů do budoucnosti se předpokládá, že v roce 2050 bude v městských oblastech bydlet 66% světové populace obyvatel, což znamená nárůst o 2,5 miliardy lidí bydlících ve městech. Z tohoto obrovského nárůstu vyplývá dramatický nárůst produkce betonu a s tím spojených negativních vlivů na ŽP. Za posledních 50 let se zvýšila produkce betonu až 2-násobně v porovnání s ocelí a až 6-násobně v porovnání s dřevem. Řádově to znamená, že se na světě v roce 2012 spotřebovalo: 3,8 Gt cementu, 2 Gt vody použité v BS a 17,5 Gt kameniva, což představuje asi 10 miliard m³ betonu. (34)

Tabulka 10: Globální spotřeba betonu a složek pro jeho výrobu

Oblast	Spotřeba cementu (Mt)	Slínek (Mt)	Sádra (Mt)	Vápenec (Mt)	Popílek (Mt)	Struska (Mt)	Ostatní (Mt)	Voda (Mt)	Agregáty (Mt)	Beton (10 ⁶ m ³)
Afrika	177	136	9	21	3	2	5	93	786	451,7
Austrálie a Nový Zéland	12	10	1	1	0	1	0	7	58	33,3
Brazílie	72	49	3	5	2	10	3	37	307	177,4
Kanada	10	8	0	0	0	1	0	6	50	28,3
Čína	2203	1605	102	176	100	186	35	1189	9915	5704,7
CIS	103	83	5	1	0	12	2	60	516	292
Evropa	234	175	9	15	7	21	8	127	1063	610,4
Indie	268	192	12	1	48	14	2	157	1274	737,8
Japonsko	46	34	2	0	0	10	0	26	224	126,3
Střední východ	191	156	9	11	2	7	7	106	907	516,7
Zbytek Ameriky	108	76	4	10	1	8	9	55	456	264,1
Zbytek Asie a Oceánie	321	256	13	25	6	10	10	178	1510	861,5
USA	80	67	3	2	2	3	2	52	452	253,9
Celkem	3825	2847	172	268	171	285	83	2093	17518	10058,1

Zdroj: (34) / Autor

Graf 11: Globální spotřeba betonu a složek pro jeho výrobu

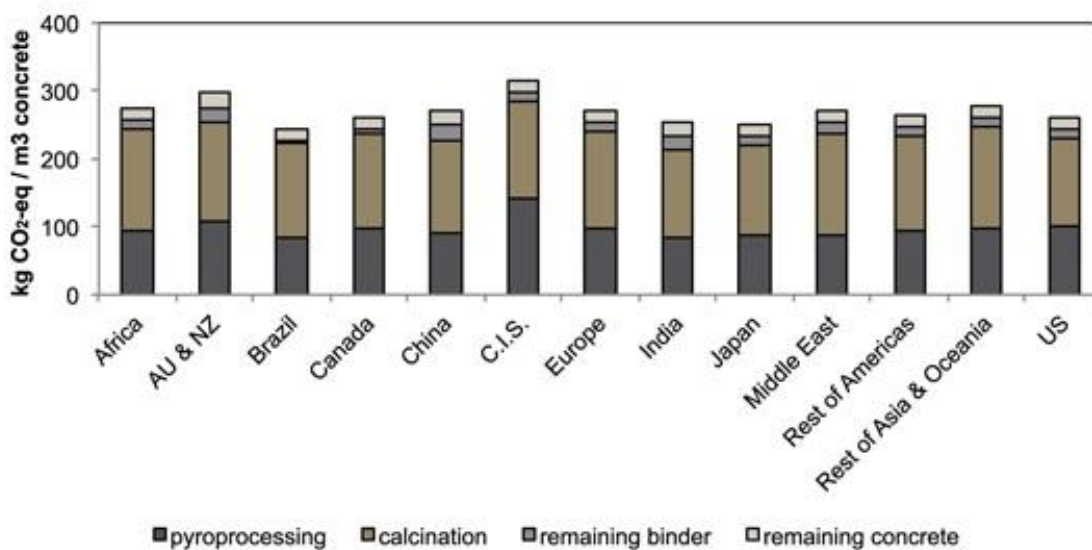


Zdroj: (34) / Autor

Největší zátěž pro ŽP z výroby betonu jsou emise CO₂. Dle statistik je produkce emisí CO₂ z výroby betonu 8,6% z celkových emisí vyprodukovaných člověkem a 23% celkových emisí z průmyslových procesů.

Konkrétní složkou, která zapříčiňuje největší množství skleníkových plynů, je cementový slínek, který emituje 90 – 98% skleníkových plynů při výrobě cementu, posléze betonu. Toto velké procentuální zastoupení při emisích skleníkových plynů je zapříčiněno chemickými reakcemi, kde se uvolňuje velké množství oxidu vápenatého (CaO) a oxidu uhličitého (CO₂). V průběhu výroby slínku je potřeba velkých teplot, konkrétně 1400°C, což vyžaduje velké energetické vstupy a vede k dalším emisím skleníkových plynů. Dalším zdrojem skleníkových plynů je proces kalcinace (přeměna vápna na vápník). (34)

Obrázek 15: Graf emise skleníkových plynů z výroby betonu (m³)



Zdroj: (34)

Graf zobrazuje emise skleníkových plynů z výroby betonu (m³). Zatěžujícími složkami jsou pyroprocesy, což znamená zahřívání, dále proces kalcinace jsou uvedeny ve vztahu ke zbývajícím emisím z výroby cementu a emisím skleníkových plynů z betonu. Průměr emisí skleníkových plynů je 240-320 kg CO₂/m³, přičemž 90-95% připadá na výrobu cementu. Největším znečišťovatelem v tomto ohledu je Čína. V roce 2012 vypustila Čína do ovzduší 1,5 Gt skleníkových plynů z výroby betonu, tato hodnota je o více než 84% vyšší než emise skleníkových plynů v jakékoli jiné zemi na světě.

Příležitostí ke zlepšení stávající situace je několik, za podpory vědců a moderních technologií se bavíme o: nahrazení neefektivního výrobního zařízení, nahrazování surovin na výrobu cementu, používání alternativních paliv ve výrobě, zlepšení účinnosti pece a spotřeby energie a zlepšení zachytávání a ukládání uhlíku z výroby. Každopádně jsou problémy s implementací těchto opatření. K hlavním důvodům, proč nelze aplikovat tato opatření, patří: vysoké investiční náklady, budoucí cena pohonných hmot, schopnost používat určitá paliva a úroveň zrání technologií.

Další možností snížení emisí skleníkových plynů z výroby betonu, která by nebyla vázána na velké investiční náklady a nové technologie, by bylo implementování většího množství popílku a strusky do cementové směsi (při 20-ti a 35-ti % náhradě). (34)

7.4. Recyklace betonu

K recyklaci betonu by mělo docházet na každé stavbě, betonárně i v každé výrobně prefabrikátů, hlavně by mezi sebou měli výrobní a stavby v blízkých dojezdových vzdálenostech komunikovat a efektivně obchodovat. Pozitivním aspektem tohoto obchodu by bylo razantní snížení nákladů obou stran a snížení negativních dopadů na ŽP, které jsou níže popsány. V této kapitole budou popsány dva komplexní způsoby recyklace betonu, více či méně efektivní.

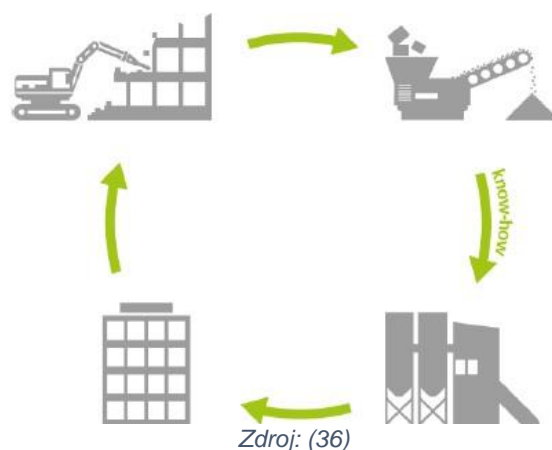
7.4.1. Recyklovaný beton

Beton je nejvíce používaný stavební materiál na světě, jehož celosvětová spotřeba činí přibližně 25 gigatun (25.000.000.000 tun) ročně. V důsledku této obrovské spotřeby, je environmentální zátěž značná z hlediska využívání zdrojů a emisí do životního prostředí. (35)

Proto je nutné se zamyslet nad tím, jak ušetřit/zachránit zdroje a jak radikálně snížit emise do životního prostředí. Jednou z možností je využití zbytků ze zdemolovaných staveb, tyto zbytky tvoří až polovinu všech vyprodukovaných odpadů v České republice. Touto problematikou se zabývá společnost Skanska v koprodukcí s českou firmou ERC-TECH. Tyto dvě společnosti spojily své síly, vědomosti a znalosti a vyvinuli recyklovaný beton, který je vyráběn až ze 100 % recyklované stavební suť. Tento český patent má potenciál způsobit celosvětovou revoluci ve stavebnictví. Recyklovaný beton má podobné vlastnosti jako beton, namísto přírodního kameniva je používána stavební suť s nano příměsí. Tato technologie umožňuje z materiál po ukončení jeho životnosti vytvořit materiál nový.

Touto technologií se dá eliminovat obrovské množství stavebních odpadů, které končí převážně na skládkách, dále rapidně snížit uhlíkovou stopu, snížit nutnost další těžby surovin a s tím spojenou další dopravu materiálů. Využitím recyklovaného betonu namísto drahého a cenného přírodního kameniva má také výraznou výhodu v rámci ceny stavby.

Obrázek 16: Životní materiálový cyklus



Díky nižšímu koeficientu tepelné vodivosti recyklovaného betonu, bude stavba do budoucna méně energeticky náročná. Díky recyklovanému betonu je zaručen nekonečný životní materiálový cyklus, který zároveň eliminuje tvorbu odpadů, znečišťování podpovrchových vod a ŽP. Technologie rovněž přináší významný environmentální aspekt při úspoře tvorby emisí CO₂. (36)

Obrázek 17: Cihelný recyklát



Zdroj: (36)

Dle studie s názvem „Recyklovaný beton jako agregát pro výrobu strukturálního betonu“ od paní profesorky Mirjany Maleševové, byly zjištěny následující poznatky. Důležitým faktorem se stává, zda je recyklovaný beton homogenní nebo heterogenní, v závislosti na tom pro jakou výrobu bude recyklát použit. Pro náročnější stavby a pohledové betony je důležitá homogenita recyklátu, pro betonové kryty a nepohledové betony může být recyklát heterogenní. Zpracovatelnost TK a recyklátu je téměř stejná, pokud se použije recyklovaný agregát nasycený vodou. Objemová hustota čerstvého betonu se zvětšuje s větším množstvím recyklátu v BS. Modul pružnosti betonu klesá s rostoucím obsahem recyklátu, v důsledku nižšího modulu pružnosti recyklátu ve srovnání s TK. Ze studie vyplývá, že při použití recyklátu je výsledný beton pevnější než při použití TK, díky zvýšenému podílu cementu, což se může zdát jako pozitivum, ale oproti tomu je tento beton křehčí. V závěru se studie zmiňuje, že by se tento recyklát neměl používat pro výrobu konstrukčních prvků u kterým se předpokládá velká deformace, což jsou zjednodušeně předpjaté prvky střešních konstrukcí. Využíváním recyklovaného betonu jako náhrada za TK, buď v poměru 50/50, 75/25 a nebo 100 % recyklátu, by velice značně pomohlo, snížit náklady na TK, dopravu, nutnost další těžby, emise CO₂ a celkově přispět k lepšímu ŽP. (37), (38)

7.4.2. Srovnání cen přírodního kameniva a recyklátů

Tabulka 12: Tržní srovnání cen přírodního kameniva a recyklátu

Srovnání cen přírodního kameniva a recyklátu v (Kč/t) bez DPH 21 %					
	České štěrkopísky	Dufonev		Kare Praha	Dufonev
	Přírodní kamenivo			Recyklát	
Frakce TK 0/4	140	170	Frakce 0/8	Živičný - 30	Cihelný - 20
Frakce TK 4/8	260	360	Frakce 8/32	Živičný - 30	-
Frakce TK 8/16	260	270	Frakce 0/32	Betonový - 115, živičný 30	Cihelný - 20, betonový - 90
			Frakce 0/63	Betonový - 85, živičný - 30	Cihelný - 20, Betonový - 95
			Frakce 32/63	Betonový - 115, živičný 30	Betonový - 100

Zdroj: interní zdroj KŠ PREFA, (39), (13) / Autor

7.4.3. Zhodnocení

Ze zjištěných cen vyplývá, že ceny recyklátů jsou výrazně nižší než ceny přírodního kameniva. Využití recyklátů pro betonářské účely nebo jiné stavební účely je velice pozitivní v rámci finančních nákladů na suroviny a také v rámci ŽP. V rozhodování firem může být jediným úskalím doprava recyklátu na místo určení, resp. vzdálenost, kde se recyklát prodává. Těchto recyklačních středisek není po České republice mnoho, tudíž si firma musí udělat ekonomický výhled, zda se jí vyplatí odebírat kamenivo ze stávajícího zdroje nebo bude odebírat výrazně levnější recyklát. Každopádně jednou nastane doba, kdy budou dojezdové vzdálenosti bezpředmětné a firmy budou odebírat pouze recyklát, buď může dojít k vytěžení ložisek anebo přijde na řadu vládní rozhodnutí o zastavení těžby přírodního kameniva.

7.4.4. LCA hodnocení environmentálních dopadů recyklátu

Použití recyklovaného betonu může vyřešit problém s nedostatkem kameniva, zároveň i ochranu stávajících ložisek kameniva, dále pomůže výrazně snížit emise skleníkových plynů v rámci těžby, zpracování a dopravy kameniva, snížit negativní dopady na krajinný ráz a zpomalí vymírání endemických druhů. Výpočty je zjištěno, že výroba betonu emituje do ovzduší 0,29-0,32 t CO₂/m³. Díky LCA hodnocení bylo zjištěno, že používání recyklátu na místo běžného kameniva by mohlo snížit až o 22% emise CO₂, což znamená 0,25-0,28 t CO₂/m³. (23)

7.4.5. Moderní recyklace betonu v konceptu Delvo systém

Dle statistických údajů se ročně v České republice recykluje nebo jinak odstraňuje přibližně 50 000 m³ betonu. Běžným způsobem recyklace betonu jsou stacionární a mobilní recyklační linky, kde dochází k oddělení kameniva od pojiva, které se poté přidávají do čerstvého betonu. Tato varianta má určitá úskalí. Je nutno počítat s vysokými investičními a provozními náklady. Recyklované suroviny podléhají přísným požadavkům na kvalitu a oddělené skladování od nových neznečištěných surovin. Dále je nutné odvážet odpad z recyklační linky, což je spojeno s dalšími náklady. Další možností likvidace betonu je zalévání děr poblíž betonárny, což znamená ztrátu cenných surovin a také negativní dopad na ŽP.

Na trhu se už přibližně 30 let vyskytuje technologie, která se nazývá Delvo systém, která spočívá v tom, že po přidání výrobku Delvo se beton deaktivuje neboli „uspí“ po dobu 1-3 dnů, po této době se přidá Delvo aktivátor a beton se reaktivuje, neboli „probudí“. Technicky Delvo systém funguje tak, že zastaví hydrataci a poté zase hydrataci nastartuje. Za pomoci Delvo systému lze využít zbytkový beton dovezený ze stavby či výplachovou vodu z autodomíchávačů. Tento způsob recyklace betonu nemá negativní vliv na kvalitu betonu. Dle předepsaných a v praxi ověřených tabulek dávkování přípravku Delvo nám umožňuje přípravek kontrolovaně řídit zpomalení a následné zrychlení hydratace. Postup působení lze rozdělit do 3 fází. V první fázi se nadávkuje do směsi přípravků pro zpomalení hydratace, čímž dojde k obalení zrn a beton se „uspí“. Druhá fáze trvá 1-3 dny, během níž hydratace neprobíhá. V třetí fázi se nadávkuje do směsi přípravků reaktivaci hydratace, čímž dojde ke zvýšení pH a hydratace se znovu nastartuje.

Jako každá jiná technologie, tak i Delvo systém má své podmínky a limity. Primárně byl Delvo systém používán v osmdesátých letech pro stříkané betony v podzemní stavitelství, kdy beton při přerušení prací ležel v dlouhém potrubí, kde pochopitelně degradoval a tuhl. Pro tyto účely byl původně Delvo systém vyvinut a následně byl rozšířen i pro běžné potřeby betonáren. Tento systém nelze aplikovat, jestliže je venkovní teplota pod +8C° a vrácený beton nesmí být starší než 4 hodiny od výroby.

Použití Delvo systému přináší v neposlední řadě ekonomické úspory, ale i pozitivní dopad na ŽP. Konkrétně v 99 % eliminaci odpadu z recyklační linky, výrazné zkrácení doby mytí autodomíchávačů v průběhu i na konci směny, dle propočtů tato doba zkrácení mytí činí až 12,25 hodin na jeden autodomíchávač za měsíc. Což má pozitivní vliv v rámci mezd pro zaměstnance a také v rámci nákladů za pohonné hmoty. Dalším velice pozitivním efektem je úplné vyčištění vnitřků bubnů autodomíchávačů od starých zbytků zatvrdlého betonu a tím odpadají další náklady na mechanické čištění bubnů a likvidaci starých zbytků zatvrdlého betonu, současně se zvyšuje kvalita dodávaného betonu. (40)

8. Výroba prefabrikátů

Výroba prefabrikátů je komplexní činnost celého závodu a všech zaměstnanců, zároveň je logisticky velmi náročná. Výroba začíná výrobní dokumentací dále jen „VD“, musí být zpracována reálně a se zažitými zvyklostmi, jsou určité výrobky tak komplikované, které zkrátka nelze vyrobit, např. 2 krát zlomené točité schodiště. Dalším krokem je příprava formy z Phenoxových desek. Zkušební truhláři nařežou dle VD desky, řezání desek musí být v jednotkách milimetrů naprosto přesné. Poté si nařezaný materiál přesunou na tzv. německé podložky o rozměrech 3,5 x 6,5 M. Tyto podložky se dají ve výrobní hale variabilně skládat k sobě dle potřeb konkrétního projektu. Na německých podložkách truhláři sestrojí danou formu dle VD.

V tuto chvíli práce truhlářů končí, nastupují betonáři. Betonáři formu vyčistí od zbytků pilin z vrtání, tak aby forma byla perfektně čistá, dále betonáři nanesou separační olej do formy, který zajistí, že se beton (hotový prefabrikát) bude lépe odtrhovat od formy, v tuto chvíli částečně končí práce betonářů a nastupují zaměstnanci armovny, kteří dle VD nastříhají, naohýbají a navážejí danou armaturu. Na spodní a boční plochy

armatury se umístí distanční podložky, vysoké dle krytí betonu (nejčastější praxí je výška krytí 30 až 50mm). Distanční podložky mohou být plastové, cementové anebo plastové plošné. Armatura se za pomoci jeřábu založí do formy. V tuto chvíli opět přichází na řadu práce betonářů, musí umístit tzv. zabetonované prvky, to znamená, že musí umístit manipulační a přepravní závěsy, různých typů a rozměrů. Beton se umíchá na betonárně a z ní putuje v přepravních zařízeních do výrobní haly, kde se beton postupně ukládá a hutní do formy. Když je forma vyplněna betonem a beton je zhutněný, přichází na řadu práce finálních úprav povrchu betonu, nejčastější metody povrchových úprav jsou utahování, hlazení, válečkování a zatlačování drti.

Další postup prací přichází až druhý den, kdy je beton zatvrdlý. Pevnost betonu se běžně ověřuje tzv. Schmidtovým kladívkem, tento nástroj měří velikost pružné reakce od vyvozeného úderu. Správná pevnost pro odformování a vytažení prefabrikátu je 50% konečné pevnosti, předepsané projektantem, ta se liší v návaznosti na typu výrobku, jestli je prefabrikát plošný, tyčový nebo vaznicový, v obecné rovině by se dalo říct, že je správná pevnost pro odformování a vytažení prefabrikátu přibližně mezi 18 až 25 MPa. V případě, že má beton dostatečnou pevnost, může přijít na řadu odformování prefabrikátu. Truhláři z praxe vědí, že nejlepší je výroba opakovatelných prefabrikátů, tzv. obrátkovost formy a proto formu vyrobí tak, aby ji při vytahování výrobku nemuseli demontovat celou, ale pouze její část. Prefabrikát se za manipulační úchyty uchopí jeřábem a je dále transportován na skládku, kde se případně opraví a začistí. Poslední fáze je transport hotových prefabrikátů na stavbu, avšak musíme brát na vědomí, že prefabrikáty můžeme transportovat na stavbu v momentě, kdy se jejich pevnost rovná minimálně 75% konečné pevnosti předepsané projektantem. To v obecné rovině odpovídá hodnotě mezi 27 až 35 MPa.

8.1. Odpady vznikající při výrobě prefabrikátů

Při výrobě prefabrikátů vzniká mnoho druhů odpadů, popsanych v kapitolách 8.1.1, 8.1.2. a 8.1.3. Není nic jednoduššího než shromažďovat všechny vznikající odpady na jedné obrovské hromadě a poté je někam nelegálně transportovat, jak se tomu u nás a v dnešní době děje. Tímto způsobem bychom si za velice krátkou dobu zničili všechny naše ekosystémy, připravili bychom o život stovky tisíc druhů živočichů a rostlin, v konečném důsledku bychom si zdevastovali celou naši planetu. A proto je důležité přistupovat k odpadům zodpovědně a hlavně se jimi zabývat a řešit je. V dnešní moderní době existuje mnoho způsobů, možností a

technologíí, jak odpady efektivně i ekonomicky recyklovat případně ekologicky likvidovat.

8.1.1. Zbytky betonové směsi

Zbytky betonové směsi dále jen „BS“ vznikají z různých důvodů. Při zhutňování BS ve formách, vzniká přebytečná BS, která vytéká přes okraje formy a z praxe se tyto zbytky BS nechají vytvrdnout a poté se očistí a shromažďují se v kontejnerech. Dále vzniká tento odpad při povrchových úpravách prefabrikovaných dílců, nejčastější metody povrchových úprav jsou utahování, hlazení, válečkování a zatlačování drti. Při povrchových úpravách také vytéká BS přes okraje formy, které se poté shromažďují v kontejnerech. Velké množství BS vzniká také kvůli technicky organizačním nedostatkům, které jsou běžnou součástí pracovního procesu, nejčastěji kvůli protaženým poledním přestávkám a také vzhledem k nedostatkům v projektové dokumentaci, kde se často vyskytují chyby v objemu prefabrikovaných dílců. V praxi toto znamená, že projektant špatně spočítá objem prefabrikovaného dílce, respektive udává menší kubaturu, než je skutečná. Nejvíce zbytků BS vzniká na konci pracovní směny, kdy betonárna namíchá BS, která se nespoteřebuje na výrobu prefabrikovaných dílců. (41)

8.1.2. Izolační materiály

Při výrobě moderních staveb např. domů, budov či hal se používají jako stěnové prvky tzv. sendvičové panely. Sendvičový panel je složen z betonové nosné vrstvy, tepelně-izolačního materiálu (polystyrenu EPS nebo XPS různých tloušťek od 70 do 160 mm dle náročnosti stavby a dle projekčních výpočtů) a betonová moniérková vrstva. Vnější a vnitřní vrstva bývají spojeny sponami z nerezové oceli, které procházejí tepelně izolační vrstvou. Polystyren se kupuje ve standartních rozměrech 1000x500 mm, skládá se na zavadlou nosnou vrstvu, plocha dílce samozřejmě neodpovídá standartním rozměrům polystyrenu, tudíž se musí polystyren různě odřezávat. Tímto způsobem vzniká různé množství (někdy až 15%) odpadového polystyrenu. (41)

Obrázek 18: Sendvičový panel



Zdroj: Autor

8.1.3. Formovací přípravky

Z praxe je nám známo, že asi nejvhodnějším materiálem pro výrobu forem (prefabrikátů) je Agepan Phenox spezial 200/200, který svým perfektně hladkým povrchem vytváří krásně hladký povrch betonu. Agepan Phenox spezial 200/200 jsou v podstatě velkoplošné bednicí desky vyrobené z materiálu na bázi dřeva o vysoké hustotě. Na pohledovém povrchu bednicí desky se nachází šedo-běžový film z melaninové pryskyřice, v rozmezí 200 – 450 g/m². Velkým pozitivem a vlastně základem úspěchu je voděodolná vlastnost Phenoxových desek, tato vlastnost je ideální pro výrobu prefabrikátů.

(42)

8.2. Recyklace odpadu vznikajícího při výrobě prefabrikátů

Níže popsané způsoby recyklace odpadu vznikajícího při výrobě prefabrikátů, jsou velice efektivní a ne vždy zásadní a náročné v rámci investičních a provozních nákladů. K recyklaci těchto odpadů by mělo docházet v každé výrobně prefabrikátů. Pozitivním aspektem recyklace je, že výrobny v určitých ohledech mohou, ušetřit nemalé finanční prostředky ba naopak mohou ještě generovat vedlejší zisk z komodit, které by se běžně uložily na skládky.

8.2.1. Zbytky betonové směsi

V praxi oblíbeným řešením využití zbytků BS je výroba výměťových prefabrikovaných dílců. V provozovně KŠ Prefa ve Štětí se tato problematika řeší výrobou výměťových silničních panelů o rozměrech 3000x1000x150 mm a tzv. lego kostek o rozměrech 800x800x800 mm, které mají na dvou stranách opačné zámky, které do sebe perfektně zapadají. Určitá část těchto výrobků se používá přímo na provozovně k různým účelům např. k vytváření nových skladovacích ploch nebo v případě lego kostek k ohraničení skladovacích ploch pro písek a kamenivo. Další část těchto výměťových prefabrikovaných výrobků se nabízí k volnému prodeji. Toto řešení využití zbytků BS je ekonomicky výhodné a zároveň šetří ŽP, z pohledu transportu a skládkování odpadu.

V dnešní době existují stacionární i mobilní linky na recyklaci zbytkového betonu. Tyto linky umí recyklovat zbytky BS z vymývání autodomývačů a přepravních zařízení na BS. Existuje několik druhů těchto recyklačních linek, které budou dále popsány, všechny však fungují na podobném principu. To je separace kameniva od pojivé složky BS, kde se dá znovu použít kamenivo a voda. (43), (44)

Obrázek 19: Šnekový recyklační systém LRS

- Šnekový recyklační systém LRS – umí zpracovat až 22 m³ BS za hodinu a vyseparovat kamenivo od frakce 0,25 mm, tato recyklační linka má kompaktní konstrukci, která je vyrobena z materiálů, které mají dlouhou životnost. (43), (44)



Zdroj: (43)

- Bubnový recyklační systém LRT – díky většímu objemu bubnu, dokáže lépe nárazově zpracovat větší objem zbytkové BS, bubnový recyklační systém dokáže zpracovat až 20 m³ za hodinu vymyté BS a jsou schopny separovat kamenivo od frakce 0,25 mm. (43), (44)

Obrázek 20: Bubnový recyklační systém LRT



Zdroj: (43)

8.2.2. Izolační materiály

Odřezané části polystyrenu se dají do určité míry využít na výrobu dalších sendvičových panelů pro vyložení menších členitých ploch. Velice efektivní a rentabilní možností zpracování odpadového polystyrenu je použití drtičky polystyrenu, která polystyren rozděljuje na jednotlivé granule. Tento granulát se může volně nabídnout k prodeji jako sypaný tepelně-izolační materiál, který

se hojně používá ve stavebnictví. Polystyrenové granule jsou prodávány v pytlích o objemu 1 m³, prodejní cena tohoto odpadu je cca 650 Kč za pytel. Tento způsob recyklace každého 1 cm³ polystyrenu je perfektní možností jak se z 100% zbavit odpadového polystyrenu a zároveň ekonomicky zhodnotit to co by jinak skončilo na skládkách. V neposlední řadě se dá polystyrenový granulát používat jako příměs do vylehčených betonů. V případě recyklace přímo na provozovně snížíme náklady na jiné materiály, které se musí nakupovat. (41)

Skládkování 1 tuny polystyrenu stojí 1389 Kč, včetně poplatků a DPH (45). Pořizovací cena drtičky polystyrenu je 39 325 Kč, včetně DPH (46). Z výše uvedeného vyplývá, že se pořizovací cena drtičky rovná ceně skládkování 28,3 tun polystyrenu. Při recyklaci a prodeji 60,5 m³ polystyrenového granulátu se zaplatí drtička, když nebereme v potaz náklady na zaměstnance, který sporadicky, jednou za týden nebo dva, obsluhuje drtičku.

8.2.3. Formovací přípravky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 8., důležitá je obrátkovost forem. Pokud vyrobíme 10 stejných kusů výrobků např., (schodišťových ramen nebo sloupů) v jedné formě, je to ekonomicky velice výhodné, zároveň tímto způsobem chráníme ŽP, protože spotřebujeme mnohem menší množství materiálu. Faktor obrátkovosti forem záleží do jisté míry na projektantovi, jaké má zkušenosti, jak dokáže prefabrikáty přizpůsobit předešlým výrobkům a také do jaké míry se dokáže dohodnout s vedoucím stavebního projektu.

9. Life cycle assessment „LCA“

Life cycle assessment dále jen „LCA“ v českém znění posouzení/hodnocení životního cyklu. LCA je definováno jako systematická analýza dopadu produktů na ŽP během celého svého životního cyklu, dále je LCA primárním nástrojem používaným na podporu rozhodování o udržitelném rozvoji. V průběhu posuzování životního cyklu jsou environmentální dopady hodnoceny v rámci výroby, používání a likvidace. Patří sem také procesy, které se dějí před a po uvedením suroviny do výroby a posléze i do oběhu, konkrétně výroba surovin, pomocných a provozních materiálů. LCA se také

někdy nazývá jako metoda „od kolébky k hrobu“. LCA se skládá ze 4 fází: definice cíle a rozsah, analýza zásob, posouzení dopadů a tlumočení.

Důležité je zmínit, že LCA je komplexní metoda pro posuzování všech přímých i nepřímých dopadů na ŽP v průběhu celého životního cyklu produktového systému. (47)



Zdroj: (50)

9.1. Hodnocení LCA betonu vyrobeného z recyklovaného betonu

Ze studie pana Nicolase Serrese vyplívá, že materiál z demolic staveb je jednou z největších zátěží pro ŽP. Studie popisuje dopady na ŽP, v rámci aplikace recyklovaného betonu při výrobě betonu. Byly hodnoceny mechanické vlastnosti betonu s příměsí TK, betonu s příměsí recyklátu a betonu kde se nacházely obě složky (recyklát a TK). Výsledkem studie je zjištění, že vzorky betonu s příměsí obou složek (recyklát a TK) a vzorky betonu s příměsí recyklátu mají dobré environmentální vlastnosti, i když recyklát musí projít fází drcení. Tyto vzorky vykazují nízkou hustotu kameniva, což snižuje náklady na dopravu a zároveň vykazují dobrou mechanickou pevnost, jako u vzorku betonu s příměsí TK. Závěrem studie je, bezmezná možnost nahrazení TK recyklátem, což výrazně napomůže, ke snížení nákladů na TK a s tím spojené negativní vlivy na ŽP při těžbě a následné dopravě. (48)

10. Závěr a přínos práce

Po prostudování této práce by měl každý čtenář získat povědomí a komplexní informace o výrobě betonu a prefabrikátů a o způsobech recyklace odpadů vznikajících při této výrobě. Přínosem je také osvěta problematiky v rámci dopadů na ŽP a jejich zhodnocení. Jsou zde popsány moderní způsoby využití odpadů, které se běžně ukládají na skládkách a přináší s sebou negativní dopady na ŽP. V případě, že by firmy začaly aplikovat všechny nebo alespoň část výše popsaných způsobů recyklace, myšlení a pozitivního přístupu v rámci environmentu, bylo by ŽP rozhodně v lepším stavu, než je dnes.

11. Citovaná literatura

1. **Hájek P.** Časopis stavebnictví. *Význam betonu a betonových konstrukcí z hlediska kritérií udržitelné výstavby.* [Online] 2007/11-12. [Citace: 10. 03. 2020.] Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/vyznam-betonu-a-betonovych-konstrukci-z-hlediska-kriterii-udrzitelne-vystavby_N467.
2. **Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění.** [Online] 2001. [Citace: 3. 1. 2020.] Dostupné z: <https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8fc3e5c15334ab9dc125727b00339581?OpenDocument>.
3. **Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, v platném znění.** [Online] 2016. [Citace: 3. 1. 2020.] Dostupné z: <https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=0BFE53E10EC910E2C12580A7004BBDA1&action=openDocument>.
4. **ČSÚ.** *Produkce, využití a odstranění odpadů.* [Online] ©2018. [Citace: 05. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2018>.
5. **MŽP.** Metodický návod pro řízení vzniku stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi. [Online] ©2018. [Citace: 17. 02. 2020.] Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/metodika_stavebni_odpady.
6. **Českomoravský, beton.** Příručka technologa Beton-suroviny, výroba a vlastnosti. [Online] 2013. [Citace: 09. 12. 2019.] Dostupné z: <http://www.transportbeton.cz/tisk-a-media/publikace-a-prezentace.html>.
7. **Českomoravský, beton.** Příručka technologa-Beton, suroviny, výroba a vlastnosti. [Online] 2005. [Citace: 08. 12. 2019.] Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/TST/usatv-ax/cw15-lad-TP-beton.pdf>.
8. **Taraba, J.** Výroba cementu. *Přírodovědecká fakulta MU, technická spolupráce: Servisní středisko pro e-learning na MU.* [Online] 2007. [Citace: 09. 12. 2019.] Dostupné z: <https://is.muni.cz/elportal/estud/prif/ps07/taraba/pdf/cementarna.pdf>.
9. **HEIDELBERGHCEMENT, GROUP.** Výroba cementu. [Online] 2019. [Citace: 09. 12. 2019.] Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/vyroba>.
10. **Chi-Liang, Y., Dyi-Hwa, T., Tung-Tsan, L.** Chemosphere. *Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges.* [Online] 2011. [Citace: 27. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511004553>.
11. **HEIDELBERGHCEMENT, GROUP.** Těžené kamenivo. [Online] 2019. [Citace: 26. 12. 2019.] Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/kamenivo/tezene-kamenivo>.
12. **L., Svoboda.** Stavební hmoty. [Online] 2018. [Citace: 26. 12. 2019.] Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH4v1.pdf>.
13. **Praha, Kare.** Ceník pro rok 2020. [Online] 2020. [Citace: 22. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.karepraha.cz/>.

14. **Drizoro.** Ceník výrobků stavební chemie. [Online] 2020. [Citace: 22. 02. 2020.] Dostupné z: http://drizoro-cz.cz/vyroby/prisady_spojovaci_mustky.html.
15. **Stachema.** Základní ceník. [Online] 2020. [Citace: 22. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.stachema.cz/produkty/prisady-do-betonu-a-malt:c52/>.
16. **Babor, D., Plian, D., Judele, L.** Environmental impact of concrete. [Online] 2009. [Citace: 05. 03. 2020.] Dostupné z: <http://www.bipcons.ce.tuiasi.ro/Content/ArticleInformation.php?ArticleID=161>.
17. **ČSÚ.** Produkce vybraných průmyslových výrobků. [Online] ©2018. [Citace: 04. 03. 2020.] Dostupné z: [https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=PRU07&z=T&f=TABULKA&katalog=30835&c=v3~8__RP2018#w=.](https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=PRU07&z=T&f=TABULKA&katalog=30835&c=v3~8__RP2018#w=)
18. **ČSÚ.** Energetická náročnost vybraných výrobků. [Online] ©2017. [Citace: 04. 03. 2020.] Dostupné z: [https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ENE06&z=T&f=TABULKA&katalog=30835&c=v3~8__RP2017#w=.](https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ENE06&z=T&f=TABULKA&katalog=30835&c=v3~8__RP2017#w=)
19. **CENIA.** Statistická ročenka Životního prostředí ČR 2018. [Online] ©2018. [Citace: 05. 03. 2020.] Dostupné z: https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2020/01/Statisticka_Rocenka_ZP_CR-2018.pdf.
20. **WANG, J.** Cement types, composition, uses and advantages of nanocement, environmental impact on cement production and possible solution. [Online] 2018. [Citace: 05. 03. 2020.] Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2018/4158682/>.
21. **Canaya, S., Pekey, B.** Journal of Environmental management. *A comparative LCA for sustainable cement production in Turkey.* [Online] 2019. [Citace: 21. 03. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719310710>.
22. **D., Gavriletea M.** Environmental impact of sand exploitation, analysis of sand market. [Online] 2017. [Citace: 08. 03. 2020.] Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1118/htm>.
23. **Flower, D., Sanjayan, J.** The international journal of LCA. *Green house gas emissions due to concrete manufacture.* [Online] 2007. [Citace: 22. 03. 2020.] Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1065/lca2007.05.327>.
24. **Langer, H. W., Arbogast, F. B.** Deposit and geoenvironmental models for resource exploitation and environmental security. *Environmental impact of mining natural aggregate.* [Online] 2002. [Citace: 09. 03. 2020.] Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-0303-2_8.
25. **EFCA.** Environmentální prohlášení - Superplastifikatory a Provozduňují chemické přísady. [Online] ©2006, ©2005. [Citace: 13. 03. 2020.] Dostupné z: <http://www.efca.info/>.
26. **Transportbeton.** Kvalita a technologie, jak vyrábíme beton. [Online] 2019. [Citace: 19. 02. 2020.] Dostupné z: <http://www.transportbeton.cz/kvalita-a-technologie/jak-vyrabime-beton.html>.
27. **Skanska.** Ceník betonů. [Online] 2019. [Citace: 22. 02. 2020.] Dostupné z: [56](https://www.skanska.cz/49c8b2/siteassets/co-delame/specialni-cinnosti/vyroba-</div><div data-bbox=)

dodavka-a-cerpani-betonu/vyroba-dodavka-a-cerpani-betonovych-smesi-cechy/skal-lity-beton-cenik-cechy.pdf.

28. **Českomoravský., beton.** Ceník betonu. [Online] 2020. [Citace: 22. 02. 2020.] Dostupné z: <http://www.transportbeton.cz/stahnout-soubor?id=10681>.

29. **Pavlitová Letková, Z.** Ekotoxikologické hodnocení vybraných průmyslových odpadních materiálů a anorganických kompozitů s jejich obsahem. *Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. (Disertační práce). "publikováno"*. [Online] 2011. [Citace: 12. 03. 2020.] Dostupné z: <https://docplayer.cz/24330651-Ing-zuzana-pavlitova-letkova.html>.

30. **Aqua., BVS.** Šroubový odvodňovací lis kalových vod . [Online] ©2019. [Citace: 12. 03. 2020.] Dostupné z: <http://www.bvsaqua.cz/>.

31. **Kutil, J., Dohányos, M.** Zkušenosti a poznatky z pokusného spalování suchého čistírenského kalu v cementárenské peci. [Online] 2003. [Citace: 24. 02. 2020.] Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>.

32. **Zhang J., Fujiwara T.** Concrete sludge powder for soil stabilization. [Online] 2007. [Citace: 24. 02. 2020.] Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2026-07>.

33. **Chatveera, B., Lertwattanak, P.** Journal of environmental management. *Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture.* [Online] 2009. [Citace: 27. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709000085>.

34. **Miller, A. S., Horvath, A., Monteiro, M. J. P.** Environmental research letters. *Readily implementable techniques can cut annual CO2 emissions from the production of concrete by over 20%.* [Online] 2016. [Citace: 29. 02. 2020.] Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/7/074029>.

35. **Gursel, P. A., Masanet, E., Hovath, A., Stadel A.** Cement and concrete composites,. *Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review.* [Online] 2014. [Citace: 15. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946514000511>.

36. **Skanska.** Recyklovaný beton. [Online] 2019. [Citace: 15. 02. 2020.] Dostupné z: <https://reality.skanska.cz/blog/skanska-zacala-pouzivat-recyklovany-beton>.

37. **Malešev, M., Radonjanin, V., Marinkovič, S.** Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. [Online] 2010. [Citace: 18. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/2/5/1204/htm>.

38. **Marinkovic, S., Radonjanin, V., Malešev, M., Ignjatovič, I.** Waste management. *Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete.* [Online] 2010. [Citace: 28. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10002217>.

39. **Dufonev.** Ceník. [Online] 2020. [Citace: 20. 02. 2020.] Dostupné z: <http://dufonev.cz/cenik.php>.

40. *Moderní recyklace betonu v konceptu delvo system*. In: Šrůma, V., Šrůmová, H. (eds.): 11. konference *Technologie betonu S. 49-52*. Trefil, V. Jihlava. : ČBS Servis, s.r.o., 2013. [Citace: 13. 02. 2020].
41. **Tichý, J.** *Možnosti využití odpadu z výroby stavebních dílců*. VUT FAST, Katedra technologie a stavebních dílců, 67 s. (Odborná kandidátská zkouška). "nepublikováno". Praha : autor neznámý, 1984. [Citace: 31. 12. 2019].
42. **JAF, HOLZ.** Konstrukční materiály, fóliované a betonářské překližky. [Online] 2020. [Citace: 08. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.jafholz.cz/>.
43. **Liebherr.** Concrete technology, Recycling plants. [Online] 2020. [Citace: 2. 1 2020.] Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/cze/products/construction-machines/concrete-technology/recycling-plants/recycling-plants.html>.
44. **Kohoutková, A., Procházka, J.** Přednáška - recyklace betonu, ČVUT, Katedra betonových konstrukcí a mostů. [Online] 2015. [Citace: 2. 1 2020.] Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/prochja2/YTBK/Prednaska_10_2015.pdf.
45. **Ekodepon.** Dílčí ceník za uložení stavebních odpadů na skládkách Černošín a Kladruba. [Online] 2020. [Citace: 26. 03. 2020.] Dostupné z: http://www.ekodepon.cz/showpage.php?name=CENSTAV_PR.
46. **Tusch.** Drtiče polystyrenu. [Online] 2020. [Citace: 26. 03. 2020.] Dostupné z: <http://www.tusch.cz/produkt/17-latyn-pg-70>.
47. **Brusseau L. M., Pepper L. I., Gerba P. Ch.** Environmental and pollution Science. [Online] 2019. [Citace: 23. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128147191/environmental-and-pollution-science>.
48. **Serres, N., Braymand, S., Feugeas, F.** Journal of building engineering. *Environmental evaluation of concrete made from recycled concrete aggregate implementing life cycle assessment*. [Online] 2016. [Citace: 28. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710215300462>.
49. **BASF, Stavební hmoty.** Skladovací nádrž. [Online] 2019. [Citace: 31. 12 2019.] Dostupné z: <https://www.master-builders-solutions.basf.cz>.
50. **ScienceDirect.** Topic: Life cycle assesment. [Online] 2017. [Citace: 23. 02. 2020.] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-assessment>.
51. **ISSAR.** Průmysl a energetika. *Těžba surovin*. [Online] ©2018. [Citace: 09. 03. 2020.] Dostupné z: <https://issar.cenia.cz/prehled-klicovych-indikatoru-podle-hlavnich-temat/07-prumysl-a-energetika/00-tezba-surovin/>.

12. Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1: Klasifikace druhů vod	15
Tabulka 2: Tržní srovnání cen cementu	19
Tabulka 3: Tržní srovnání cen kameniva	22
Tabulka 4: Tržní srovnání cen chemických přísad	25
Tabulka 5: Cement v číslech.....	26
Tabulka 6: Množství emitovaných znečišťujících látek	27
Tabulka 7: Dopady na ŽP	30
Graf 8: Těžba stavebních surovin	32
Tabulka 9: Tržní srovnání cen výroby betonu	35
Tabulka 10: Globální spotřeba betonu a složek pro jeho výrobu	40
Graf 11: Globální spotřeba betonu a složek pro jeho výrobu.....	41
Tabulka 12: Tržní srovnání cen přírodního kameniva a recyklátu	45

13. Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma výroby cementu	17
Obrázek 2: Frakce písku (TK).....	20
Obrázek 3: Skladování písku TK 0/4 v areálu firmy KŠ Prefa Štětí s.r.o.	20
Obrázek 4: Frakce kameniva TK.....	21
Obrázek 5: Skladování kameniva TK 4/8 v areálu firmy KŠ Prefa Štětí s.r.o.....	21
Obrázek 6. Skladování kameniva TK 8/16 v areálu firmy KŠ Prefa Štětí s.r.o.....	22
Obrázek 7: Umělé kamenivo RUGEN	23
Obrázek 8: Skladovací nádrž chemických přísad Masterglenium od firmy BASF	25
Obrázek 9: Graf států jako předních producentů písku	29
Obrázek 10: Krychle 150x150x150 mm	34
Obrázek 11: Věžová betonárna	35
Obrázek 12: Schéma kalolisu	37
Obrázek 13: Odvodněný kal	37
Obrázek 14: Šroubovice kalolisu.....	37
Obrázek 15: Graf emisí skleníkových plynů z výroby betonu (m3)	42
Obrázek 16: Životní materiálový cyklus.....	43
Obrázek 17: Životní materiálový cyklus.....	43
Obrázek 19: Cihelný recyklát	44

Obrázek 20: Sendvičový panel	49
Obrázek 21: Šnekový recyklační systém LRS.....	51
Obrázek 22: Bubnový recyklační systém LRT.....	51

14. Přehled použitých zkratk

MŽP	Ministerstvo životního prostředí
ŽP	Životní prostředí
CEM	Cement
TK	Těžené přírodní kamenivo
XPS	Extrudovaný polystyren
EPS	Fasádní polystyren
JAOM	Jemný anorganický odpadní materiál
ρ	(ró) – značka objemové hmotnosti kg/m^3
BS	Betonová směs
EU	Evropská unie
VD	Výrobní dokumentace
LCA	Posouzení životního cyklu (Life cycle assessment)
CIS	Společenství nezávislých států
ISSaR	Informační systém statistiky a reportingu