

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



DIPLOMOVÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Joura Jméno: Leoš Osobní číslo: 477071
Fakulta/ústav: Fakulta stavební
Zadávající katedra/ústav: Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Stavební management

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Možnosti využití celkové náhrady recyklovaného kameniva v cementových potěrech a jejich ekonomické posouzení

Název diplomové práce anglicky:

Possibilities of using total replacement of recycled aggregate in cement screeds and their economic assessment

Pokyny pro vypracování:

Zpracování rešerše na téma recyklace stavebně demoličního odpadu a možnosti využití drobné frakce v cementových potěrech.
Návrh směsí s použitím 3 recyklátů (betonový, směsný a cihelný) a různým zastoupením portlandského cementu ve směsi. Výroba zkušebních těles a experimentální ověření základních materiálových vlastností vyrobených vzorků (objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku, moduly pružnosti). Porovnání vlivu recyklátu na materiálové vlastnosti s ohledem na ekonomické aspekty výsledného produktu. Ekonomické posouzení.

Seznam doporučené literatury:

NEVILLE, Adam M. Properties of concrete. 5th ed. New York: Pearson, 2011. ISBN 0273755803.
NEVILLE, Adam M. a J. J. BROOKS. Concrete technology. New York: J. Wiley, 1987. ISBN 0582988594.
SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta, Lucie BROŽOVÁ a Stanislav VITÁSEK. Ekonomika výstavbových projektů. Praha: Powerprint, 2018. ISBN 978-80-7568-130-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Lucie Brožová, Ph.D. katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Zdeněk Prošek, Ph.D. katedra mechaniky FSV

Datum zadání diplomové práce: 18.09.2023 Termín odevzdání diplomové práce: 08.01.2024

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Lucie Brožová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucí diplomové práce Ing. Lucie Brožové, Ph.D. a konzultanta Ing. Zdeňka Proška, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal(a), jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Datum: 6.1.2024

Jméno: Leoš Joura

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Lucii Brožové, Ph.D. a konzultantovi Ing. Zdeňku Proškovi, Ph.D. za jejich čas, ochotu a poskytnuté rady během vypracování této práce. Současně bych chtěl věnovat poděkování všem, kteří mi poskytli cenné informace v oblasti fungování a provozu betonáren včetně procesu získávání recyklovaného kameniva. V poslední řadě své poděkování věnuji rodině a přátelům, kteří mi byli v průběhu celého studia oporou.

**Možnosti využití celkové náhrady recyklovaného kameniva
v cementových potěrech a jejich ekonomické posouzení**

**Possibilities of using total replacement of recycled aggregate
in cement screeds and their economic assessment**

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vlivem 100% objemového nahrazení přírodního kameniva za recyklované kamenivo a současně vliv hmotnostního zastoupení cementu na sledované vlastnosti cementových potěrů. Pro tyto účely je využit portlandský cement CEM I 42,5R, který tvoří 10, 15, 20 a 25% hmotnostní zastoupení v referenční směsi. V případě recyklovaných plniv dochází k použití betonového, cihelného a směsného recyklátu v kombinaci se stejným množstvím cementu z referenčních směsí. Ke zjištění vlastností cementových potěrů jsou stanoveny zkušební intervaly 3, 7 a 28 dní, během kterých jsou sledovány změny v objemové hmotnosti, která při používání recyklátů klesá. Dále jsou měřeny dynamické moduly pružnosti, které mají obdobný trend. Jsou provedeny také destruktivní zkoušky na zkušebních trámcích o velikosti 4 × 4 × 16 cm. Výsledky ukázaly, že použití recyklované drobné frakce umožňuje výrobu lehčích cementových potěrů například pro rekonstrukce. U recyklátu znečištěného jemnou frakcí dochází v určitých případech ke zlepšení ohybové pevnosti. Toto zlepšení se však neprojevuje zvýšením pevnosti v tlaku a samotné aplikace recyklátů pevnosti snižují. Jako potencionálně použitelné směsi se jeví ty, které obsahují 15 % (315 kg) hmotnostního zastoupení cementu. Právě tyto směsi jsou vybrány pro vykalkulování výrobních nákladů a současně vytvoření vlastních položek pro provedení cementového potěru v tloušťce 40 – 50 mm v softwaru KROS 4. Výsledné rozborů cen ukazují ekonomickou úsporu od 4,28 do 5,78 %, přičemž s přihlédnutím k vlastnostem jsou nejperspektivnější směsi s použitím betonového a cihelného recyklátu.

Klíčová slova:

recyklované kamenivo, cementový potěr, betonový recyklát, směsný recyklát, cihelný recyklát, portlandský cement

Summary

This diploma thesis deals with the effect of 100% volume replacement of natural aggregate with recycled aggregate and at the same time with the effect of the cement mass fraction on the observed properties of cement screeds. For these purposes, Portland cement CEM I 42.5R is used, which constitutes 10, 15, 20 and 25% by weight in the reference mix. In the case of recycled aggregates, concrete, brick and mixed recycle are used in combination with the same amount of cement from the reference mixes. To determine the properties of the cement screeds, test intervals of 3, 7 and 28 days are established during which changes in the bulk density, which decreases with the use of recyclates, are monitored. In addition, the dynamic elastic moduli are measured, which show a similar trend. Destructive tests are also carried out on 4 × 4 × 16 cm test beams. The results showed that the use of recycled fines allows the production of lighter cement screeds, e.g. for reconstruction. For the recycle contaminated with the fine fraction, the flexural strength is improved in certain cases. However, this improvement does not translate into an increase in compressive strength and the application of recyclates themselves reduces the strength. Potentially usable mixtures appear to be those containing 15 % (315 kg) by weight of cement. It is these mixes that are selected to calculate the production costs and at the same time to create custom items for the execution of the cement screed in thicknesses of 40 - 50 mm in KROS 4 software. The resulting price analyses show economic savings ranging from 4.28 to 5.78%, with the mixes using concrete and brick recycle being the most viable taking into account the properties.

Key words:

recycled aggregate, cement screed, concrete recycle, mixed recycle, brick recycle, Portland cement

Obsah

Úvod	1
Cíle práce	2
Metodika práce	3
1 Stavební a demoliční odpady	4
1.1 Základní třídění SDO	4
1.2 Situace s odpady v ČR.....	5
1.3 Legislativa pro odpady v ČR	8
2 Získávání SDO	10
2.1 Stavební činnost a rekonstrukce	11
2.2 Demolice	11
3 Hospodaření s SDO	13
3.1 Aplikace	13
3.2 Sklárky	13
3.3 Recyklace	14
4 Oběhové hospodářství a recyklace SDO	14
4.1 Postup recyklace SDO	17
4.2 Zkoušky recyklovaného kameniva.....	19
4.3 Druhy recyklovaných kameniv.....	21
5 Možnosti využití recyklovaného kameniva	23
5.1 Betony.....	24
5.2 Zásypy a podklady	25
5.3 Cementové potěry a malty	26
6 Cementové potěry	27
6.1 Složky pro výrobu.....	30
6.2 Druhy potěrů podle zpracování	31
6.3 Druhy cementových potěrů podle aplikace	34
6.4 Konkurence cementových potěrů	37
6.5 Testování potěrů	38
7 Odborné články a výzkumy na cementové potěry	40
7.1 S betonovým recyklátem	40
7.2 S cihelným recyklátem	41
7.3 Se směsným recyklátem	42
Praktická část	43

Laboratorní část	43
8 Experimentální metody	43
8.1 Zkouška konzistence	44
8.2 Objemová hmotnost	45
8.3 Dynamické moduly pružnosti.....	46
8.4 Pevnost v tahu za ohybu	50
8.5 Pevnost v tlaku	51
9 Vstupní materiály a vzorky.....	52
9.1 Popis materiálu	52
9.2 Popis směsí.....	57
9.3 Výroba a skladování.....	58
10 Výsledky a diskuze experimentální části	59
10.1 Objemová hmotnost	59
10.2 Moduly pružnosti	60
10.3 Pevnost v tahu za ohybu	62
10.4 Pevnost v tlaku	63
11 Závěr laboratorní části	65
Ekonomická část	66
12 Výběr oceňovaných směsí a postup výpočtu.....	66
13 Specifikace betonárny	71
14 Kalkulace cementového potěru – písek	73
15 Kalkulace cementového potěru – recykláty	80
16 Rozbor ceny z KROS 4	84
17 Závěr ekonomické části	85
18 Závěr	86
Bibliografie.....	87
Seznam obrázků	94
Seznam tabulek	95
Seznam příloh.....	96

Úvod

V úvodu mé diplomové práce bych se rád zaměřil na důvody, které jsou z mého pohledu důležité v oblasti produkování a hospodaření se stavebními a demoličními odpady. Právě tyto odpady jsou totiž nedílnou součástí lidského života a jejich vznik je podmíněn lidskou činností a možnostmi neustále přetvářet okolí za účelem udržitelného zlepšování kvality života na naší planetě. Právě zmínka o udržitelnosti je důležitá, neboť vzhledem k množství produkovaného odpadu bylo do nedávné doby nejsnazší variantou ukládání na skládkách, tím pádem tento odpad ztrácel svůj potenciál. V současné době se objevuje celá řada možností, jak s těmito odpady nakládat. Mohou se recyklovat, a tím pádem dále využívat například v betonových směsích a pro zasypávání inženýrské infrastruktury, včetně využití u dopravních staveb. I přes tyto úspěchy je však nutné hledání dalších možností, jak tento druh odpadu efektivně využívat.

Právě poslední zmíněná věta v sobě skrývá určitou výzvu, kterou bych chtěl pomocí této diplomové práce alespoň částečně vyřešit a najít možnosti dalšího uplatnění materiálů, na které je dosud pohlíženo jako na odpad. Takto se pohlížím například na recyklovaná kameniva s velikostí zrna od 0 do 4 mm. Na základě znalosti řešené frakce se nabízí využití například v maltách a v cementových potěrech, přičemž obě zmíněné aplikace využívají v současné době nejčastěji přírodní písek, který je definován právě velikostí zrn do 4 mm. Vzhledem k potřebným základním složkám nutným pro výrobu cementových potěrů, jimiž jsou: cement, písek a voda, jsem se rozhodl právě pro řešení této problematiky. V rámci diplomové práce bych rád našel řešení, která by v budoucích letech pomohla v oblasti využívání produktů recyklace a která by podpořila udržitelné využití materiálů v oblasti stavebnictví.

Cíle práce

Cílem této práce je zjištění vlivu drobných recyklovaných kameniv (betonové, cihelné a směsné) na fyzikální a mechanické vlastnosti cementových potěrů s přihlédnutím na různé hmotnostní zastoupení množství cementu (10, 15, 20 a 25 %). Dále provedení kalkulace výrobních nákladů vybraných směsí a jejich ekonomické vyhodnocení zahrnující výslednou jednotkovou cenu na základě existující položky ze softwaru KROS 4.

Metodika práce

V teoretické části je potřeba zpracovat rešeršní část, která se zabývá problematikou stavebně demoličního odpadu z hlediska produkce na území České republiky se zaměřením na možnosti využití recyklovaných kameniv, a především se zaměřením na jejich drobnou frakci, která je v současnosti považována za odpad. Rešeršní část je následně doplněna o články, technologii, označování, míchání a zpracování cementových potěrů. Právě představení cementových potěrů má za cíl seznámit čtenáře s problematikou řešenou v následujících částech diplomové práce.

Praktická část této diplomové práce je rozdělena do dvou částí. První je tvořena laboratorní částí, která v sobě zahrnuje návrh směsí cementových potěrů s využitím přírodního a recyklovaných drobných kameniv (betonové, cihelné a směsné) a současně hmotnostní zastoupení 10, 15, 20 a 25 % cementu u referenčních směsí. U směsí s recykláty je využito stejného hmotnostního zastoupení cementu jako v případě referenčních. Množství vody je stanoveno na základě zajištění obdobné konzistence směsí. Na základě připravených směsí je následně provedena výroba a zkušební trémová tělesa jsou otestována pomocí laboratorních zkoušek pro zjištění fyzikálních a mechanických vlastností (objemová hmotnost, dynamické moduly pružnosti, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku) k nalezení nejpodobnějších vlastností mezi jednotlivými směsí. Podle toho budou vybrány směsi do druhé části této práce.

Ta je tvořena ekonomickou částí, ve které je představen software KROS 4. V tomto programu je nalezena položka, která se svým složením a vlastnostmi podobá referenční směsi z laboratorní části. Samotná referenční směs je na základě konzultace s betonáři kalkulována na základě kalkulačního vzorce pro dosažení výrobních nákladů a výpočtu zisku pohledem betonáři. Na základě této kalkulace je následně provedena kalkulace vstupujícího recyklovaného drobného kameniva a dalších položek v oddílu hmoty s tím, že předpokládaný zisk je uvažován shodný jako u referenční směsi. Složení jednotlivých směsí odpovídá těm vybraným z laboratorní části. Po zjištění úplného kalkulačního vzorce pro všechny směsi je provedeno dosazení do rozboru cen a výsledné porovnání ekonomické výhodnosti s ohledem na fyzikální a mechanické vlastnosti.

1 Stavební a demoliční odpady

Pod pojmem stavební a demoliční odpady, jež jsou označovány jako SDO, se skrývají všechny odpady, které jsou produkovány nějakou stavební nebo demoliční činností a nemohou sloužit svému původnímu účelu [1]. Často bývá v souvislosti s tímto druhem odpadů používáno také označení inertní odpady [2]. Mezi způsoby vzniku SDO se řadí výstavba nových stavebních objektů z oblasti občanské, průmyslové a dopravní vybavenosti. Současně je tento odpad produkován i během rekonstrukcí a stavebních úprav těchto objektů. Avšak nejvíce se termín SDO spojuje se samotnou fází ukončení využívání objektu neboli jeho částečnou nebo úplnou demolicí. Tato fáze totiž prokazatelně produkuje největší množství demoličního odpadu [1]. Zpravidla by se mělo usilovat o to, aby těchto odpadů vznikalo co nejméně, ale to je vzhledem k množství starých staveb nereálné [3].

Při zvolení správného přístupu k SDO je možné, aby se tyto druhy odpadů v současné době, ale především v budoucnu stávaly významným zdrojem druhotných surovin a materiálů [4]. K tomu je potřeba určitých postupů a charakteristik odpadů, které by umožnily efektivní roztřídění SDO podle druhu odpadů, ze kterých se skládá.

1.1 Základní třídění SDO

Pro zjednodušení se v ČR využívá systém pro zařizování všech odpadů zahrnující i SDO do skupin, které jsou popsány ve Vyhlášce č. 8/2021 Sb., konkrétně v příloze 1. Vyhláška rozděluje odpady do základních skupin, pomocí dvojciferného kódového označení. Tyto skupiny jsou dále děleny do podskupin, které blíže specifikují daný druh odpadu. V našem případě se budeme zabývat skupinou 17, která nese název Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst). Kompletní rozdělení této skupiny je popsáno v Tab. 1 [5].

Tab. 1 – Rozdělení skupiny odpadů č. 17, tvorba vlastní podle [5]

Kód	Název
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 slitin)
17 05	Zemina, kamení, vytěžená jalová hornina a hlušina
17 06	Izolační materiály a stavební materiály s obsahem azbestu
17 08	Stavební materiály na bázi sádry
17 09	Jiné stavební a demoliční odpady

1.2 Situace s odpady v ČR

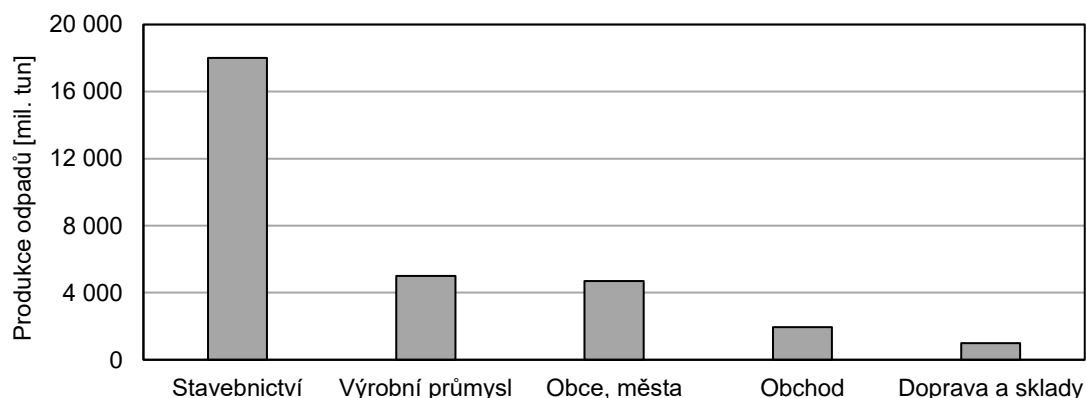
V rámci ČR se oblastí produkce a následným využíváním odpadů zabývá Český statistický úřad, který vychází z dat od CENIA plným názvem Česká informační agentura životního prostředí [6]. Ta je financována z rozpočtu Ministerstva životního prostředí a má za úkol sběr dat v oblasti životního prostředí a výstupy z této činnosti poskytovat veřejnosti a státní správě. K tomuto účelu vznikl ohlašovací systém ISPOP, který umožňuje jednodušší nahlašování těchto dat [7].

Z dohledatelných dat od agentury CENIA je možné v Tab. 2 vidět všechny odpady vyprodukované mezi lety 2015–2021 na území ČR, které jsou dále rozděleny na podíl SDO a nebezpečného SDO. Dlouhodobě tyto skupiny odpadů tvoří více než polovinu celkové produkce odpadů na území ČR [4; 6; 8; 9]. Z tohoto obrovského množství tvoří zeminy, hlušiny a výkopky roční zastoupení 70 až 75 % [10]. Například v roce 2021 bylo z celkové produkce SDO tvořeno 15,8 mil. tun zeminou, hlušinou a výkopky a zbytek, tudíž 10,14 mil. tun, připadal na odpady spojené se zbývající stavební činností [6].

Tab. 2 – Produkce vybraných odpadů z let 2015–2021, tvorba vlastní podle [8]

[mil. t]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Všechny odpady	37,34	34,24	34,51	37,78	37,36	38,50	39,89
Z toho SDO	24,29	20,67	20,74	23,70	23,53	25,05	25,94
Z toho nebezpečné	0,41	0,30	0,26	0,45	0,54	0,59	0,44

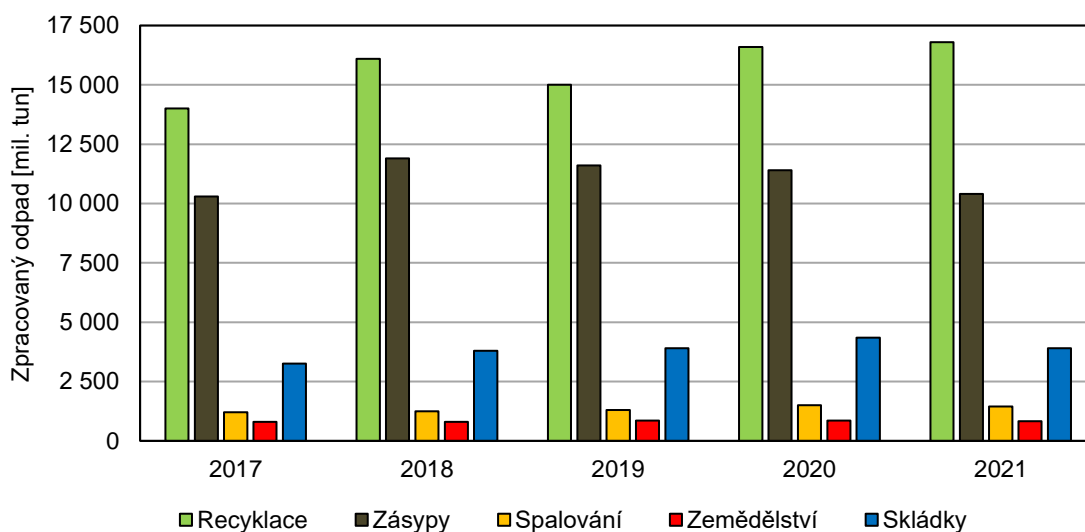
Při pohledu na původce odpadů byla v roce 2021 vytvořena statistika [6], která v sobě zahrnovala základní průmyslová odvětví, dopravu a chod obcí. Množství odpadu vyprodukované vybranými producenty zobrazuje Obr. 1, a to potvrzuje čísla, která byla zmíněna výše v této kapitole ohledně majoritního producenta odpadů, kterým je stavebnictví. V případě nebezpečných odpadů vzniklo v tomto roce také 1,63 mil. tun nebezpečných odpadů [8], kterých až třetinu vytvořil výrobní průmysl [6].



Obr. 1 – Producenti a množství odpadů v ČR v roce 2021, tvorba vlastní podle [6]

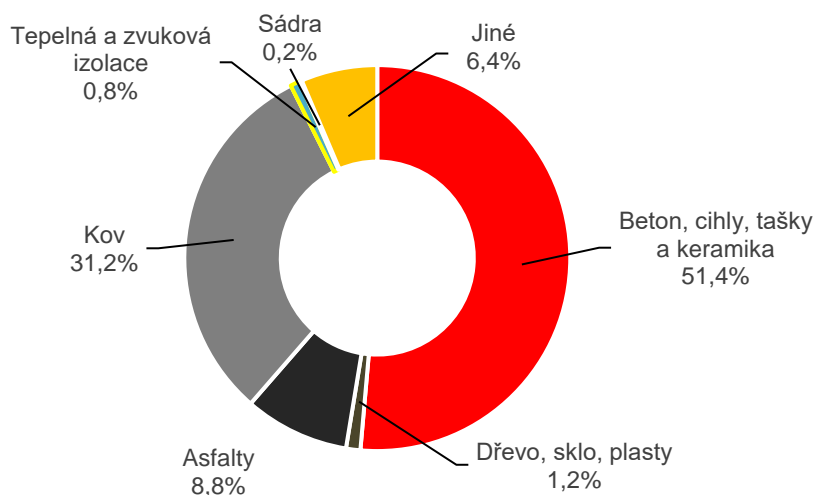
I přes statistiky, které se zveřejňují na oficiálních webech zabývajících se problematikou produkce SDO, je velice komplikované zjistit přesné množství produkovaného odpadu, což je problém nejen ČR, ale i zbytku světa [11].

Obecně platí, že při zacházení s produkovanými odpady se velké množství těchto odpadů recykluje nebo je v krátkém čase použito. Až 98 % vzniklého SDO je podrobena procesu recyklace, případně je aplikováno například při výstavbě, terénních úpravách a výrobě [9], což se týká především zeminy a výkopku. V roce 2021 byla zveřejněna statistika, která poukazovala na zacházení se všemi odpady v ČR, což je znázorněno na Obr. 2. Z grafu vyplývá, že podíl recyklace každým rokem stoupá.



Obr. 2 – Zacházení s vyprodukovanými odpady, tvorba vlastní podle [6]

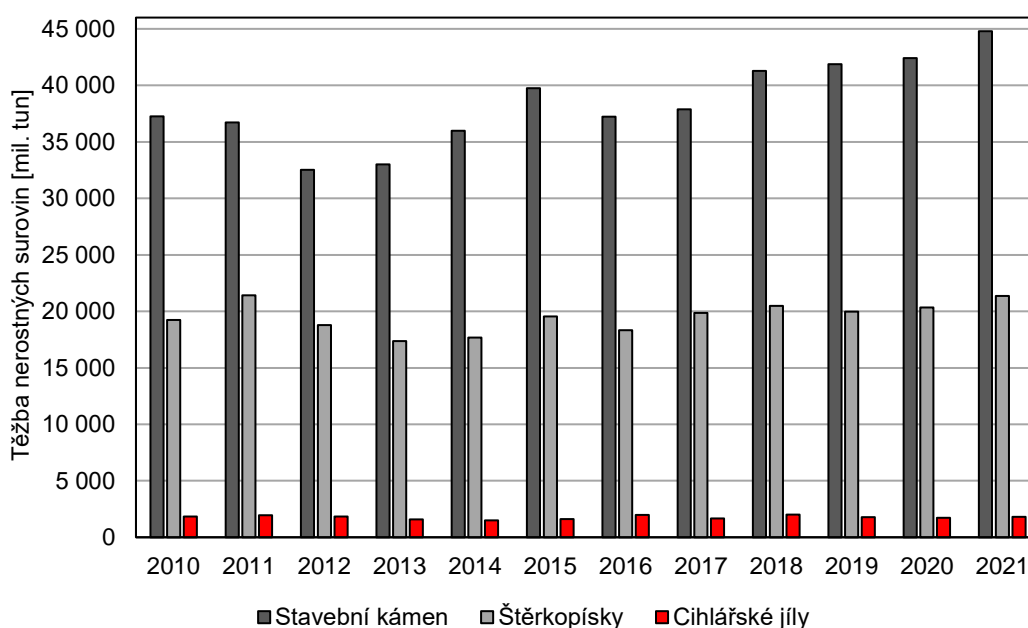
Jak bylo popsáno výše, zemina má v produkci SDO nadpoloviční zastoupení. Z toho důvodu je na Obr. 3 znázorněno pouze zastoupení ostatních SDO, které bylo popsáno v Tab. 1.



Obr. 3 – Složení SDO (bez zeminy, hlušiny a výkopku), tvorba vlastní podle [12]

1.2.1 Přírodní zdroje a SDO

Vlivem toho, jakých objemů SDO dosahují ve stavebnictví, je nutné vstupní materiál pro budoucí výstavbu někde získávat [12]. Právě z toho důvodu můžeme pozorovat signály, které poukazují na začínající nedostatek neobnovitelných surovin, které jsou nutné pro výrobu betonu, malt, tvorbu dopravní infrastruktury a jiných staveb. To může mít za následek zvyšování cen těchto surovin v blízké budoucnosti [10]. Zároveň má tento stav za následek nutnost zvyšování těžby nerostných surovin, přičemž odhady poukazují na to, že za současných podmínek by mohlo dojít k vyčerpání dosavadních zdrojů do roku 2060 [12]. Celkový nárůst produkce přírodních kameniv je znázorněn na Obr. 4, který popisuje stav v ČR mezi lety 2010 a 2021.

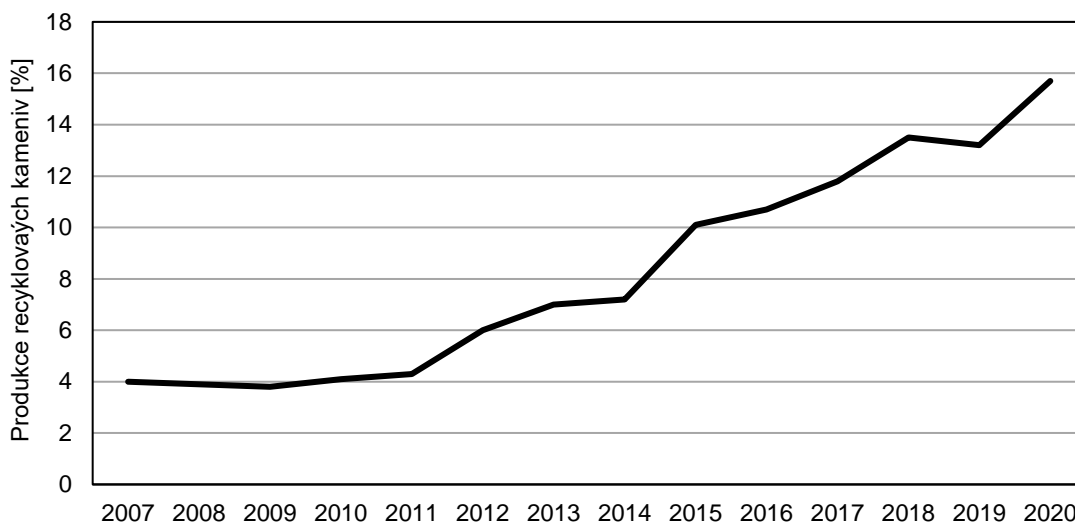


Obr. 4 – Těžba nerostných surovin pro stavebnictví v ČR mezi lety 2010–2021, tvorba vlastní podle [8]

K roku 2021 se uvádí v ČR přibližně 317 ložisek přírodního kamene. Více než polovinu těchto ložisek mají pod správnou soukromí vlastníci. V případě otevírání nových je u nás velký odpor veřejnosti a dá se očekávat, že tento odpor ani v následujících letech nepoleví [13]. Tento fakt je podpořen také tím, že za posledních 30 let nebyl na našem území otevřen žádný nový významnější kamenolom [10; 13] a prozatím ani nebyly uděleny souhlasy, které by umožnily rozšíření již fungujících kamenolomů. Z tohoto důvodu je otázka nahrazování přírodních zdrojů právě SDO a recykláty z nich vzniklých aktuálnější než kdy dříve. Do budoucna bude tlak na zastoupení recyklovaných materiálů ve stavbách sílit [10].

Z toho důvodu je nutné hledat potenciál právě v samotném SDO, který může poskytovat zdroj surovin a omezí nutnost těžby neobnovitelných zdrojů, což působí pozitivně na životní prostředí, krajinu, živočichy a také lidi [11].

Během několika let došlo k výraznému růstu vyprodukovaných recyklovaných kameniv v porovnání s přírodními zdroji, což je patrné z Obr. 5. Výrazný nárůst je přisuzován především postupnému upravování legislativy a zákonů, které umožňují snazší aplikaci. Zároveň se pro některé aplikace stavebním firmám ekonomicky vyplácí právě nahrazení přírodního kameniva například recyklovaným kamenivem [14]. Některé zdroje uvádějí, že dochází až k 20% úspoře přírodních zdrojů kameniv, kterými jsou písky, štěrky a drcený kámen, neboť se současně využívají kameniva z recyklovaného SDO [12]. V produkci recyklovaných kameniv je za hranici úspěchu považován poměr 25 až 30 % ku přírodním [13].



Obr. 5 – Produkce recyklovaného kameniva v porovnání s přírodním, tvorba vlastní podle [14]

1.3 Legislativa pro odpady v ČR

Jeden z hlavních zákonů, který se zabývá specifikací odpadů, je zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech [4; 15] a vstoupil v platnost 1.1.2021. Jedná se o legislativní dokument, na kterém spolupracovala spousta odborníků a firem, které se problematikou odpadů dlouhodobě zabývají [10]. Tento zákon konkrétně ukládá původcům odpadu dodržování povinností při odstraňování, úpravě a provádění staveb, které se týkají předepsaných postupů pro nakládání s vybouranými stavebními materiály určenými pro opětovné použití. To se týká také vedlejších produktů, tak aby byla zajištěna nejvyšší možná míra jejich opětovného použití a recyklace [4].

Současně i výše zmíněný zákon č. 541/2020 Sb. popisuje termín vedlejší produkt. V zákoně je popsáno, že pod toto označení spadají specifické odpady, které vznikají v souvislosti s výrobní činností. Může se jednat například o zeminu, šterky, stavební kámen. Tudíž do této kategorie nespádají odpady z demolic stavebních objektů. V případě asfaltových odpadů Ministerstvo životního prostředí stanovuje podmínky v již zrušené vyhlášce 130/2019 Sb., avšak podle platné metodiky Ministerstva životního prostředí ji lze i nadále využívat. Samotná vyhláška popisuje, za jakých okolností a splněných požadavků se jedná o vedlejší produkt. V případě zemin a výkopků jsou podmínky definovány v prováděcích předpisech, avšak podobná zákonná vyhláška, jako v případě asfaltových odpadů, zatím chybí [15].

V ČR je platná legislativa, která zakazuje ukládání SDO do popelnic na komunální odpad. Samotným obcím žádný zákon neukládá povinnost zřizovat odběrná místa na tento druh odpadu. Avšak v některých obcích a městech jsou provozována sběrná zařízení, které od veřejnosti přebírají jejich SDO. Přičemž si obce za tuto přímku často účtují poplatky [9].

Během července roku 2021 byla schválena vyhláška 273/2021 Sb., která blíže definuje podmínky hospodaření s odpady, a tím značně zjednodušuje celou legislativu zacházení s odpady, neboť nahradila předchozích 7 vyhlášek. Tato vyhláška dále uvádí, že recyklovaný materiál není až do konce roku 2024 považován za odpad. To je možné za předpokladu, že došlo k úpravě jeho zrnitosti a byl roztříděn na jednotlivé frakce [10]. Dále ukládá povinnost stavební firmě, která provádí demolici objektu, třídít veškeré materiály a SDO přímo na místě, kde vznikají. V případě nedodržení této povinnosti hrozí pokuta v řádech několika milionů [16].

V roce 2018 byl vydán metodický návod, který zpracovalo Ministerstvo životního prostředí (MŽP), který popisuje, jak postupovat při přípravě, provádění a demolici různých druhů staveb v souvislosti se vznikem SDO. Samotný metodický návod vychází z nařízení vlády č 352/2014 Sb., které představuje plán ČR v rámci hospodaření s odpadem na roky 2015 – 2024 [17].

MŽP vytváří ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu novou vyhlášku, která by zásadně upravila a zjednodušila právní prostředí pro nakládání a využívání SDO a následně také oblasti jeho použití po recyklaci [10].

V případě odstranění stavby je stavebník povinen dle platné legislativy oznámit tuto skutečnost příslušnému stavebnímu úřadu. K tomuto se přikládají informace o objektu, kterými jsou základní rozměry, umístění, datum předpokládaného zahájení

a ukončení demolice. U staveb, které podléhaly stavebnímu povolení nebo ohlášení, se příkládají k samotnému oznámení o demolici také stanoviska dotčených orgánů státní správy a souhlasy vlastníků případně správců komunikací a sítí. U těchto staveb je dále povinnost zajistit, aby demoliční práce zajišťovala osoba nebo firma, která má pro tento druh prací má oprávnění. V případě, že se jedná o objekt, který nevyžadoval stavební povolení nebo ohlášení, mohou být demoliční práce prováděny svépomocí, avšak musí zde být dodržena podmínka zajištění stavebního dozoru nad prováděním těchto prací [17].

Legislativa schválená Evropským parlamentem

Ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech byl definován cíl zvýšení na nejméně 70 % hmotnostní míru přípravy odpadů, což zahrnuje opětovné použití, recyklaci a vhodnost materiálu pro zásypy. Cíl byl definován s platností do konce roku 2020 [4]. Z dohledatelných zdrojů však nebylo možné nalézt, zda byl tento cíl splněn.

V rámci EU dále platí nařízení schválené Evropským parlamentem a Evropskou radou 305/2011, které ukládá za povinnost recyklovat SDO. Dále popisuje podmínky ve skupinách, které jsou podstatné pro efektivní recyklaci těchto odpadů. Podmínky jsou rozděleny na: Opětovné použití odpadů ze staveb, Recyklovatelnost odpadů ze staveb, Požadavky na životnost staveb a Implementace materiálů šetrných k životnímu prostředí [10].

2 Získávání SDO

Z pohledu stavební firmy je získávání SDO komplikované, neboť záleží na definování konstrukcí, s čímž se pojí postup odstraňování a následného využití tohoto odpadu. Ve výše zmíněných kapitolách bylo řečeno, že u SDO musí být zajištěna maximální využitelnost, přičemž tuto povinnost předepisují normy a zákony a dá se předpokládat, že předpisy budou stále striktnější. Obecně platí, že některé odpady jsou pro využití vhodnější a jiné nemohou bez dalších úprav plnit funkci okamžitě použitelného materiálu [1]. V Tab. 3 jsou tyto odpady rozděleny podle problematičnosti jejich aplikace.

Tab. 3 – Rozdělení SDO podle aplikace, tvorba vlastní podle [1]

Aplikace bez úprav	Aplikace s úpravami
Zemina	Cihly
Štěrky	Cihelná drť
Neznečištěné betony	Štěrky z železničních staveb

Při získávání SDO je velice důležité dbát na kvalitu získaného odpadu, neboť při správném postupu získávání se značně snižují náklady na budoucí recyklovaný materiál. Z hlediska kontroly a dosažení kvality SDO rozlišujeme 3 fáze, ve kterých lze tyto úkony provádět: fáze demolice, fáze přepravy a fáze recyklace [17].

2.1 Stavební činnost a rekonstrukce

Stavební činnost se týká především zemních prací, při kterých vzniká nejčastěji zemina, neboť dochází k odtěžení původního terénu za účelem změny, aby byla možná budoucí výstavba nebo jiné využívání prostoru [3].

Druhým způsobem je rekonstrukce, během které také vzniká SDO, neboť dochází k odstraňování původních konstrukcí a jejich částí. Následně je možné využít pro další stavební činnost. Může se jednat například o cihly. Zbylé odpady, které již nemají další využití, jsou ze stavby odvezeny pro následující úpravu a případně uloženy na skládky [18].

2.2 Demolice

Způsob, kterým je dosahováno odstraňování různých objektů, je nazýván demolice. Samotnou demolici lze provádět řadou způsobů, přičemž ty nejzákladnější jsou popsány v následujících podkapitolách. Přičemž i v případě demolice je nutné přistupovat ke vznikajícímu SDO s určitou obezřetností, neboť zákony předepisují, jak se získaným odpadem zacházet. Například při demolici legislativa definuje, že je nutné brát zřetel na separaci různých druhů odpadů, aby byla zajištěna požadovaná kvalita [3].

2.2.1 Ruční demolice

Jedná se o nejzákladnější druh demolice, při které je využíváno lidských zdrojů, které při práci využívají ručního a elektrického nářadí [19], nejčastěji kladiva, krumpáče, ale také elektrické sbíječky a hydraulická zařízení. Tento způsob se využívá především u nízkopodlažních staveb a objektů s malou podlahovou plochou. Současně se využívá i při demolici částí objektů, případně během jejich rekonstrukcí, kde je nutné vybourat určité konstrukce pro umožnění následující stavební činnosti [18]. Vždy se při tomto druhu demolice postupuje v opačném pořadí, než se objekt stavěl, aby byla dodržena bezpečnost pro osoby, které se na demolici podílejí. Současně platí, že tímto druhem demolice je možné zajistit nejvyšší roztřídění odpadu, který na stavbě vzniká, a tím zlepšit proces následné recyklace SDO, což je spojeno s vysokými náklady.

Významná část vybouraného materiálu u zděných objektů je vlivem postupného vybourávání ve stavu, který umožňuje další zabudování do konstrukce. Materiál, který je porušen, je již jako odpad odvezen na skládky, případně využit pro jiné účely. Udává se, že až 80 % odpadů a materiálu při tomto přístupu k demolici je možné znovu využít [18].

2.2.2 Strojní demolice

Tento druh demolice se nejčastěji používá u vysokých, rozsáhlých a dopravních staveb. K tomuto účelu se využívají například bourací koule, hydraulické nůžky a pneumatická kladiva a jiné těžké stroje [19]. Využívá se postup bouracích prací shora dolů. Práce většinou zahrnují porušení konstrukce a její volný pád k zemi. Z toho důvodu je nutné mít zkušené pracovníky, kteří mají s tímto druhem demolice zkušenosti. Jedná se o velice rychlou metodu demolice, ovšem v závislosti na správně zvoleném stroji. Tento druh demolice také vyžaduje dokument, který se nazývá technologický postup, v němž jsou popsány postupy, vhodné stroje a plány BOZP při demolici [18].

2.2.3 Selektivní demolice

Selektivní demolice je jednou z mnoha cest, jak dosáhnout vyššího zastoupení kvalitně připraveného SDO k dalším úpravám [13]. Velká výhoda tohoto druhu demolice je v následném usnadnění recyklačního procesu, který je díky tomu levnější a poskytuje kvalitnější recyklovaná kameniva. Nevýhodou je velice náročná proveditelnost spojená s vyššími ekonomickými náklady na demolici [20].

Samotný proces začíná nahlédnutím do projektové dokumentace s následným průchodem demolované budovy. Tento krok má za účel vytipování konstrukcí a prvků, které by mohly způsobit kontaminaci vznikajícího odpadu (např.: azbest), a také zvolení vhodného postupu demolice [20].

Po ukončení předchozí etapy se vstupuje do fáze přípravných prací, do kterých spadá kompletní vyklizení demolovaného objektu. Může se jednat o stoly, skříně, koberce, WC, rozvody vzduchu a tepla. Přípravné práce obsahují také rozebrání výplní otvorů, sundání střešních krytin včetně laťování, bednění, konstrukcí krovů a kovových prvků. V případě fasády a podstřeší je nutná demontáž kontaktního zateplovacího systému a všech dalších tepelných izolací v objektu. Poté následuje proces samotné demolice, který je ve většině případů prováděn od posledního nadzemního podlaží směrem dolů. K tomuto účelu se málokdy používá ruční nářadí, neboť většinu prací

zastávají těžké bourací stroje, které proces demolice značně urychlí [20]. Po správně provedených postupech principy selektivní demolice by mělo být zajištěno téměř dokonalé rozdělení různých druhů materiálů. Případné dotřídění může být provedeno v rámci území staveniště. To s sebou nese požadavky na další potřebný prostor kolem bouraného stavebního objektu [12]. Povinnost provádět demolice tímto způsobem by mělo být v budoucnu vyžadováno právními předpisy [13].

3 Hospodaření s SDO

Při otázce hospodaření se SDO se často dostáváme do situace, kdy vstupují do problematiky využití 2 rozdílné aspekty – ekonomický a environmentální [11]. Oba však musí být vnímány souběžně, aby bylo možné dosáhnout řešení, které bude vyhovující a v souladu s udržitelným rozvojem v této problematice.

3.1 Aplikace

Jak bylo již v předchozích kapitolách zmíněno, tak některé SDO může být již v okamžiku vybourání, případně vytěžení nazýváno vedlejším produktem, který lze bez další úpravy použít na stejné nebo jiné stavbě. Jedná se o neznečištěné zeminy, výkopky a často i o kamení [10].

Během úprav a demolic objektů je možné také využívat stavební materiály pro další zabudování do stavby. Konkrétně se může jednat o cihly, betonové dílce, překlady a mnohé další. Avšak je zde podmínka, že se musí jednat o nezměněnou podobu těchto materiálů, přičemž očištění těchto prvků je umožněno [21] a dílce nesmí být napadeny jakýmkoliv škůdci [3].

3.2 Skládky

Tento způsob nakládání se SDO se dlouhodobě jeví jako neefektivní [21; 22], avšak bývá pořád často využíván. Mnohdy se totiž stavebním firmám vyplácí SDO ukládat na skládky, jelikož je to v současnosti jeden z nejlevnějších způsobů, jak s tímto odpadem hospodařit [12]. Rozlišujeme 2 typy pro ukládání SDO, kterými jsou S – OO (pro ostatní odpady) a S – IO (pro inertní odpady) [21], přičemž místa na těchto skládkách ubývá. V současné době se pro odrazování ke skládkování využívají finanční nástroje, kterými jsou například daně a poplatky [23]. To může být vidět na výši skládkovacího poplatku, která je u SDO pro rok 2023 přibližně 900 Kč/t a v následujících letech by měl být až 1500 Kč/t. Navíc po roce 2030 již nebude možné tento druh odpadu na skládky vůbec ukládat [16].

V případě dovezení na skládku nemusí být SDO uloženy přímo pod zem, ale mohou sloužit i pro zasypávání jednotlivých vrstev na jejich území. Případně je jejich uplatnění umožněno pro terénní úpravy, avšak pouze na skládkách [21]. Nejčastěji se takto využívají SDO směsné [3].

3.3 Recyklace

Toto využití v sobě skrývá přetvoření SDO co nejjednodušším způsobem, během kterého dojde ke změně a zlepšení jeho fyzikálních a chemických vlastností [24]. Cílem těchto úprav by mělo být co největší přiblížení vlastností k původnímu materiálu [25]. V případě SDO se může jednat například o zbavení se nežádoucích příměsí a nevhodných frakcí kameniva, znečištění kovy a jinými závadnými materiály [24]. Technologie a postupy, které jsou určeny pro recyklaci jsou velice náročné na zdroje. Jedná se především o elektrickou energii, vodu a pohonné hmoty [25]. Z hlediska šetření neobnovitelných zdrojů je to jediná varianta, jak umožnit další využití SDO. V současnosti je středisek, které by se recyklací zabývaly, nedostatek. Z toho důvodu je potřeba podniky pro tento druh činnosti motivovat, a to především po ekonomické stránce [25].

4 Oběhové hospodářství a recyklace SDO

V rámci oběhového hospodářství je dbáno na to, aby se odpady, a tím pádem potenciální zdroj surovin, vyskytoval v oběhu co nejdéle [12]. V současné době se termín oběhové hospodářství stává prioritním úkolem hlavně pro obor stavebnictví. V blízké budoucnosti se dá předpokládat stále zvyšování tlaku na nalezení efektivnějších metod pro znovupoužití SDO [10] v rámci principů oběhového hospodářství. Aby bylo možné SDO úspěšně recyklovat a nadále využívat, je nutné, aby byl odpad jasně popsán, a to místem, kde byl získán, a dále podmínkami jeho minulého používání. Při procesu správné recyklace by mělo být dbáno na uchování, případně zvýšení hodnoty recyklovaného materiálu [12]. Podle dosavadních informací je možnost využití SDO až u hranice 90 % [24].

Oběhové hospodářství mohou podpořit i samotná města a státy, vytvořením zadávacích podmínek pro nově vznikající projekty podle těchto principů. Už i v ČR je možné narazit na stavby, které byly tímto přístupem postaveny. Mezi hlavní se řadí Kampus Hybernská, který se nachází v Praze a slouží především pro vzdělávací účely [26].

I z hlediska výstavby nových staveb je nutné nahlížet na samotnou výstavbu pohledem oběhového hospodářství. Jedním z těchto pohledů mohou být možnosti stavebních materiálů, jejich kombinace a případná konstrukční řešení. V každém případě musí být brát zřetel i na využití tohoto materiálu po konci životnosti stavby. Základní a zároveň nejjednodušší variantou je okamžitý návrat „odpadu“ do konstrukce. Druhou variantou je samotná recyklace, která je po tomto procesu zdrojem nových surovin [26].

Pojem recyklace byl vysvětlen v předešlých kapitolách. Ačkoliv má samotná recyklace svá pozitiva, je nutné zmínit i to, že existuje řada negativ, se kterými je nutné počítat. V Tab. 4 jsou vidět hlavní kategorie, ve kterých se stává recyklace přínosnou, a případy, které nám recyklace nepomáhá řešit.

Tab. 4 – Výhody a nevýhody recyklace, tvorba vlastní podle [16; 22; 25]

Výhody	Nevýhody
Ochrana přírody	Vlastnosti recyklovaného materiálu
Šetření neobnovitelných zdrojů	Vyšší náklady u některých odpadů
Úsporu nákladů na těžbu	Složitost samotného procesu
Nižší náklady na vstupní materiál	Hlučnost a prašnost

V oblasti motivace podniků a všech dotčených právnických a fyzických osob je řada možností, kterými by bylo možné dosáhnout většího zájmu o recyklaci SDO. Například se jako nejjednodušší jeví prosazení snížené sazby DPH pro subjekty, které se podílejí na procesu recyklace a zacházení s odpady pro další využití. Dále je zde varianta, která poukazuje na snížení daní z příjmů pro pracovníky a jejich zaměstnavatele, a s tím spojené odpočty z daní. V případě státních zakázek by bylo možné vyžadovat určité zastoupení recyklovaných materiálů a případně poskytovat dotace pro vznik recyklačních středisek. Poslední variantou je možné dodatečné zdanění nově těžných neobnovitelných zdrojů [25].

Problematické SDO

Pro účely recyklace se většina SDO jeví jako vhodná, avšak i zde platí určitá pravidla, která za určitých podmínek vylučují určité druhy odpadů z okamžité recyklace. Primárně se jedná o takové odpady, které obsahují nebezpečné látky, ale v případě odstranění těchto látek může být i tento druh odpadu recyklován [17]. V Tab. 5 je vypsáno několik odpadů, které do této kategorie spadají.

Tab. 5 – Odpady vyžadující úpravu před recyklací, tvorba vlastní podle [17]

Kód	Název
17 01 06	Směsi betonu, cihel, tašek s obsahem nebezpečných látek
17 03 01	Směsi z asfaltu s obsahem dehtu
17 05 03	Vytěžená zemina a štěrky s obsahem nebezpečných látek
17 05 05	Hlušina s obsahem nebezpečných látek
17 05 07	Štěrký ze železničních staveb s obsahem nebezpečných látek
17 09 01	SDO obsahující rtuť
17 09 03	Ostatní SDO s obsahem nebezpečných látek

Vyloučené SDO

Do této skupiny spadají odpady, které nelze ani po úpravě recyklovat, neboť obsahují nebezpečné látky, které ohrožují život. Jedná se především o azbestová vlákna, která se vyskytují v různých stavebních materiálech [17], která se vlivem mechanických úprav uvolňují a prokazatelně způsobují při dlouhodobém vdechování vážné zdravotní potíže [27]. Pro přehlednost jsou popsány včetně jejich kódového označení v Tab. 6.

Tab. 6 – Odpady vyřazené z recyklace, tvorba vlastní podle [17]

Kód	Název
17 06 01	Izolační prvky obsahující azbestová vlákna
17 06 05	Stavební hmoty obsahující azbestová vlákna

I v případě vyprodukovaného SDO je nutné, aby byl následně nějak zpracován nebo uložen, jak bylo popsáno v předchozích kapitolách. Avšak pro budoucí využití se budeme zabývat jeho recyklací a poplatky spojenými s uložením odpadu na zařízeních, které se zabývají recyklací SDO. Ceny se v těchto případech účtují za tunu a záleží především na druhu ukládaného odpadu (podle kódového označení), který chceme uložit [14]. V Tab. 7 jsou zobrazeny poplatky recyklačních středisek za rok 2022 spojené s převzetím SDO od stavebních firem.

Tab. 7 – Poplatky za převzetí SDO recykl. středisky za rok 2022, tvorba vlastní podle [14]

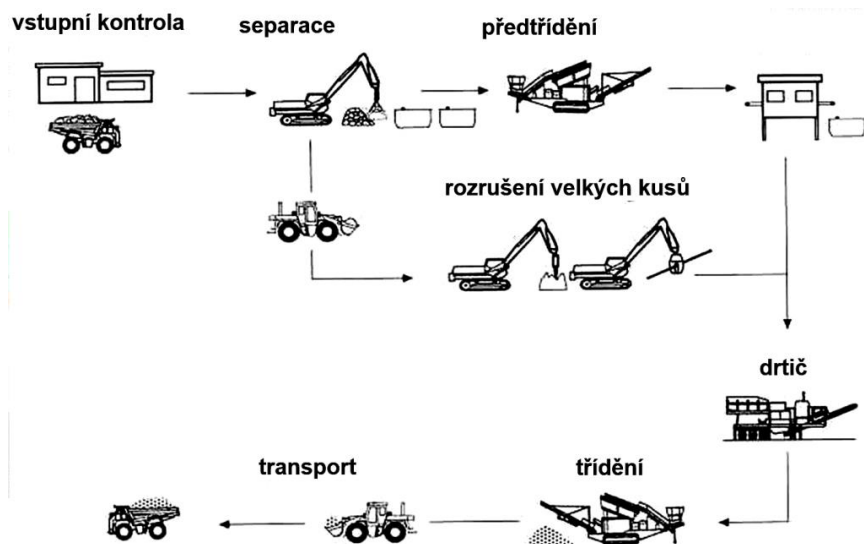
Kód	Název	Cena bez DPH [Kč/t]
17 01 01	Betony s velikostí 500 × 500 mm	90 – 200
17 01 01	Betony slabě vyztužené	150 – 650
17 01 01	Betony silně vyztužené	250 – 650
17 01 02	Cihelný odpad s příměsí betonu a omítkou	250 – 500
17 01 03	Keramické tašky a výrobky	150 – 340
17 01 07	Směs betonu a keramických výrobků	270 – 390
17 03 02	Asfaltové odpady	150 – 600
17 05 04	Zeminy s kamením	150 – 690

Pokud se jedná o SDO, které jsou velmi znečištěné a obsahují nežádoucí příměsi (dřevěný odpad a plasty), bývají ceny i mnohem vyšší, neboť je nutné odpad těchto látek zbavit. To s sebou nese vyšší náklady recyklačního střediska na použitou technologii a mzdy zaměstnanců, kteří se na recyklaci podílejí [14].

4.1 Postup recyklace SDO

Samotný postup recyklace je velice náročný, neboť do procesu vstupuje celá řada technologií a pracovníků. Při nedodržování předepsaných postupů může z celého procesu recyklace vzniknout materiál, který nebude splňovat požadovanou kvalitu. Aby byla zajištěna co nejlepší příprava SDO, je nutné již při samotné demolici postupovat metodami selektivní demolice objektů [22].

Postup recyklace v recyklačním středisku začíná vstupní kontrolou [2]. Dalším krokem je oddělení znečišťujících materiálů z SDO, kterými jsou plasty, kovy, dřevo a zbytky rozvodů tepla a vzduchu. K tomuto kroku se nejčastěji využívají separátory, případně se oddělují ručně. Následuje proces drcení. Ten je limitován velikostí odpadu, který je možné do drtiče dostat. V případě větších rozměrů je nutné tento odpad zmenšit například pomocí hydraulických kladiv. Existují drtiče s pohyblivými čelistmi, které jsou schopny drtit odpad na požadované frakce, avšak vyskytují se i drtiče bez možnosti nastavení. Nadrcený odpad je následně zbaven zbylého kovového odpadu, ke kterému se používají magnetické separátory. Posledním krokem je vstup odpadu do třídící linky. Ta je opatřena sadami sít, která spolehlivě rozdělí jednotlivé frakce. Ty je možné, při dodržení všech postupů, odvážet ke skladování a případnému použití [22]. Výstupem procesu recyklace by měla být recyklovaná kameniva, která obsahují minimální zastoupení znečišťujících materiálů [2]. Zjednodušený proces samotné recyklace je graficky znázorněn na Obr. 6.



Obr. 6 – Postup recyklace SDO, převzato z [2]

Strojní sestavy znázorněny výše v dnešní době využívají mobilních drtičů a tříděčů, jejich výkony dosahují 80 t/hod a více. V současné době se na našem území využívá přibližně 130 zařízení pro drcení. Většina z nich je tvořena odrazovými a čelistovými drtiči. Malý podíl zastupují drtiče kuželové, které nacházejí uplatnění u železničních staveb [2].

Každá recyklační soustava a postup recyklace by měly být schváleny a certifikovány. Na základě certifikátu, který je vydán Technickým a zkušebním ústavem, je možné vydat podnikovou normu pro výrobu recyklovaného kameniva s požadovanými vlastnostmi [21]. V souvislosti s vydáváním povolení pro výrobu je nutné zmínit i náročnost otevření nového recyklačního střediska, přičemž základní kritické body jsou popsány níže.

Omezení pro vznik nového recyklačního zařízení [21]

- Posuzování vlivu na životní prostředí (EIA)
- Hluková studie a rozptylová studie
- Povolení dle stavebního zákona
- Požadavky na ochranu ovzduší
- Legislativa spojená s hospodařením s odpady
- Požadavky na výsledný produkt recyklace

4.2 Zkoušky recyklovaného kameniva

Aby bylo možné recyklovaná kameniva používat, je nutné definovat jejich vlastnosti po samotné recyklaci. Díky tomu je možné jejich efektivní, a hlavně bezpečné použití do budoucích konstrukcí [12].

Získané recyklované kamenivo musí také splňovat technické požadavky podle účelu jeho dalšího využití. Dále jsou stanoveny limity na obsah škodlivin v tomto druhu kameniva, které jsou popsány ve vyhlášce č. 294/2005 Sb. [21]. Ta je však od roku 2021 nahrazena zákonem 541/2020 Sb. [28]. Předchozí, zrušená, vyhláška se však až do konce roku 2023 využívá pro recyklovaná kameniva určená pro zásypy [16]. Při specifických požadavcích projektanta nebo stavebníka na vlastnosti recyklovaného kameniva je nutné, aby recyklační středisko provádělo potřebné zkoušky opakovaně pro každou vyprodukovanou šarži s ohledem na zrnitost a druh kameniva [21].

U zkoušek recyklovaného kameniva se často postupuje stejně jako v případě přírodního kameniva. Postupy zkoušení jsou popsány v ČSN EN 12 620. Současně se provádí zkoušky na obsah rozpustitelných síranů a vliv na dobu tuhnutí cementu [29].

Ale v některých případech, konkrétně velikosti zrn (0 – 4 mm) recyklovaných kameniv, dosud nejsou schváleny a vypracovány normové postupy. Z toho důvodu se postupuje při zkouškách podle norem, které jsou platné pro přírodní kamenivo. Tyto zkoušky však často neposkytují skutečné údaje o vlastnostech recyklovaných kameniv. Rozporuplné výsledky pro frakci 0 – 4 mm se vyskytují u objemové hmotnosti a nasákavosti. V případě zkoušky zrnitosti a obsahu odplavitelných částic v kamenivu se postupy uváděné v normách dají používat se získáním přesných dat [30].

V následujících bodech jsou popsány tři hlavní skupiny vlastností, které se u recyklovaných kameniv zjišťují. Dále jsou v nich popsány konkrétní zkoušky s označením norem, které je podrobněji popisují.

4.2.1 Fyzikální vlastnosti

U recyklovaných kameniv se posuzují jejich fyzikální vlastnosti. Nejčastěji se jedná o objemovou hmotnost a nasákavost. Obě se určují podle ČSN EN 1097–6. V případě, že nasákavost vychází < 1 %, považuje se kamenivo za odolné vůči zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům. Hodnota nasákavosti bývá často vyšší. Z toho důvodu se mrazuvzdornost posuzuje podle ČSN EN 1367–1. Další variantou je zkouška síranem horečnatým, která se však nehodí pro recyklovaná kameniva, která obsahují cement [31].

4.2.2 Chemické vlastnosti

Velmi často nás zajímají u recyklovaných kameniv také jejich chemická složení a látky, které obsahují. Nejčastěji se zjišťuje obsah rozpustitelných síranů ve vodě. Pro tuto zkoušku se vychází z ČSN EN 1744–1. Při vysokém obsahu mohou způsobovat nadměrné objemové změny [31].

Další zkouškou je obsah chloridů v kamenivu, avšak zastoupení bývá u recyklátů velmi malé a postupuje se podle ČSN EN 1744–5. Zároveň se ještě zjišťuje přítomnost látek, které mají nepříznivý vliv na tuhnutí a tvrdnutí směsi. Mezi nejčastější se řadí jílové materiály společně s cukry. Z toho důvodu se pro zjištění přítomnosti těchto látek v recyklovaných kamenivech vychází z ČSN EN 1744–6 [31].

4.2.3 Geometrické vlastnosti

Nejsnáze se zjišťují vlastnosti poslední skupiny, neboť je možné kamenivo změřit a tím zjistit tvar zrn. Nejčastěji se jedná o index plochosti. Postup je popsán v ČSN EN 933–3. Dále se zjišťuje obsah a poměr složek (beton, cihla, sklo a znečištění) v recyklovaném kamenivu, avšak norma ČSN EN 933–11 se týká hrubého kameniva [31]. Ve většině případů se udává také křivka zrnitosti pro zjištění zastoupení jednotlivých zrn v recyklovaném kamenivu. Další z provedených zkoušek může být zjištění procentuálního podílu ostrohranných a oblých zrn [32].

4.3 Druhy recyklovaných kameniv

Při zpracování SDO záleží primárně na druhu odpadu, který prochází procesem recyklace. Na základě vstupní suroviny závisí to, o jaký druh recyklovaného kameniva se bude po samotném vyčištění a roztřídění jednat. Samotné recyklované kamenivo bývá také často označováno jako recyklát [10]. Mezi nejběžnější recykláty, se kterými se můžeme setkat, je betonový, cihelný a směsný. V případě odpadu získaného při pracích na pozemních komunikacích se jedná o recyklát asfaltový, ten však nebude v této práci řešen.



Obr. 7 – Základní druhy recyklovaných kameniv, převzato z [33]

Každý druh recyklovaného kameniva se odlišuje podle hmotnostního zastoupení různých složek, které obsahuje. V normě ČSN EN 12620+A1 jsou popsána označení, která se přisuzují různým složkám, a tím umožňují identifikaci recyklátu. Například složka, která je tvořena betonem, případně maltou, se označuje Rc. Pro stmelená a nestmelená kameniva, u kterých jsou využita hydraulická pojiva je to Ru. U cihelné složky, která je tvořena ze zdících keramických prvků, případně vápenocementových složek, se využívá Rb. Dále se rozlišují složky na bázi skla (Rg), plovoucí složky s označením FL a ostatní jako X [34].

4.3.1 Betonový recyklát

Jedná se o recyklát, který se řadí mezi jeden z nejvíce využívaných. To je způsobeno velkým množstvím odpadního betonu a železobetonového odpadu [30]. Při správné recyklaci se jedná o nejkvalitnější recyklát, který je díky tomu možné využívat v širokém spektru aplikací [2]. Při jeho drcení vzniká téměř polovina betonového recyklátu s frakcí 0/8 mm. Právě u této frakce je největší zastoupení cementového tmelu spojeného s drobným kamenivem, díky čemuž je tento druh recyklátu pórovitý a nasákavý [32]. Složení recyklátu musí odpovídat limitům pro tento druh. Konkrétně jsou hodnoty definovány v Tab. 8.

Tab. 8 – Obsah složek v betonovém recyklátu, tvorba vlastní podle [31]

Složky	Rc	Ru + Rb	Rg	FL + X	FL
Obsah částic	≥ 90 % z celkové hm.	≤ 6 % z celkové hm.	≤ 1 % z celkové hm.	max. 3 % z celkové hm.	max. 1 % z celkové hm.

4.3.2 Cihelný recyklát

Cihelný recyklát se z hlediska použitelnosti jeví jako problematický. To je dáno některými jeho vlastnostmi [13]. Vzniká drcením odpadu z kusových zdících prvků, které mohou být pálené i nepálené včetně malt [31; 35]. Dále může být znečištěn keramickými prvky, a to především v případě, kdy se demolice neprovádějí selektivní metodou. Vzhledem k jeho složení se tento druh recyklátu vyznačuje vysokou nasákavostí a mnohdy i vysokým zastoupením drobných zrn [2]. Celkové složení recyklátu by mělo odpovídat povoleným hodnotám v Tab. 9.

Tab. 9 – Obsah složek v cihelném recyklátu, tvorba vlastní podle [31]

Složky	Rc	Ru + Rc + Rb	Rg	FL + X	FL
Obsah částic	Není definováno	≥ 90 % z celkové hm.	≤ 1 % z celkové hm.	max. 10% celkové hm.	Není definováno

4.3.3 Směsný recyklát

Jedná se o recyklát, který vzniká rozdrčením SDO. Odpad se vyznačuje tím, že nebyl během získávání rozříděn, a proto obsahuje různé druhy stavebních materiálů [31]. Směsný recyklát je problematický z hlediska poptávky [13]. Podle norem se nepovažuje za kamenivo, které je definováno ČSN EN 12620+A1. Je to z důvodu, že není specifikováno zastoupení hlavních složek a může obsahovat vyšší množství znečišťujících látek [31], které je zobrazeno v Tab. 10.

Tab. 10 – Obsah složek ve směsném recyklátu, tvorba vlastní podle [31]

Složky	Rc	Ru + Rb	Rg	FL + X	FL
Obsah částic	Není definováno	Není definováno	Není definováno	max. 10 % z celkové hm.	Není definováno

5 Možnosti využití recyklovaného kameniva

Při využívání recyklovaného kameniva se často poukazuje na výraznou úsporu nákladů na jeho získání, přičemž se úspora pohybuje často až okolo 50 %. Dále je v současné době velice snadné tento druh kameniva zajistit, protože prodejní místa jsou téměř v každém větším městě. Při použití se navíc snižuje negativní dopad těžby přírodních zdrojů [36] a již jednou použitý materiál nachází uplatnění například jako zásypový materiál při horší kvalitě recyklátu. Avšak při kvalitně provedeném třídění a recyklaci je možnost využití vyšší a může sloužit i jako důležitá součást v dalším vývoji této problematiky [37]. Podrobně jsou možnosti popsány v následujících kapitolách.

Recyklovaná kameniva se při využití v oblasti stavebnictví rozdělují na základě velikosti zrn. Nejčastěji se jedná o skupiny 0 – 4 mm a 4 – 16 mm [29]. První skupina se označuje jako kamenivo drobné [38] a jeví se jako problematická pro využití, proto se na ni pohlíží jako na odpad. Současně pro tuto frakci doposud nebyla nalezena nejvhodnější možnost aplikace. Přesto se jedná o materiál s velkým potenciálem po vhodné úpravě [29]. Frakce 4 – 16 mm neboli hrubé recyklované kamenivo [38] nachází uplatnění již v současné době, a to především pro betony [29].

Aby však byla možná aplikace recyklovaných kameniv, je nutné, aby i legislativa pro provádění staveb a současně zákony a normy, které v současnosti platí doznaly určitých změn, které by aplikaci více usnadnily. Samotné recykláty lze používat s určitou obezřetností při stavbě nových budov, dopravních staveb a výrobě nových stavebních materiálů [12].

V případě dopravních staveb a staveb určených pro bydlení a výrobu jsou definovány varianty použití recyklovaného kameniva například v ČSN EN 13242+A1, ČSN EN 12620+A1 a ČSN 13139. Dále je oblast použití definována také v Technických podmínkách, které vydává Ministerstvo dopravy [10].

5.1 Betony

Při použití recyklovaného kameniva do betonů je stanoveno povolené složení v ČSN EN 933-11. Požadované vlastnosti kameniva popisuje ČSN EN 12620+A1. Legislativa přitom umožňuje pouze použití hrubé frakce. Zastoupení recyklovaného kameniva je definováno v ČSN EN 206+1 a na použité množství má vliv druh recyklátu a stupeň vlivu prostředí, kterému bude beton vystaven [31].

Betonový recyklát

Tento druh recyklátu nachází uplatnění při výrobě nových betonů [35]. Konkrétně se využívá jako náhrada hrubého kameniva [38], avšak tyto betony vykazují nižší pevnosti [35]. Z toho důvodu není možná jejich aplikace pro konstrukční betony vyžadující vysoké pevnosti v tlaku, a případně v tahu [22; 36].

Aplikace betonového recyklátu je možná i do betonů, které vyžadují nižší objemovou hmotnost, a tím menší zatížení konstrukcí [23; 38]. Tyto betony ale vykazují vyšší pórovitost a s tím spojenou nasákavost [38]. Vlivem vyšších hodnot dochází i k výraznějšímu ovlivnění konzistence betonové směsi. Z toho důvodu je nutné přidání většího množství vody, avšak za cenu snížení modulu pružnosti. Naopak se zvyšuje dotvarování až o 50 % a smrštění tohoto betonu je o 20 až 40 % vyšší [35].

Objevují se i výzkumy, které zkoumají vliv frakce 0 – 4 mm pro použití v betonech místo písku, avšak tato aplikace podstatně snižuje pevnost nového betonu [39]. Na základě jednoho z nich nedojde při 33% hmotnostním nahrazení písku v betonové směsi k výraznému zhoršení mechanických a fyzikálních vlastností [40].

Také se v současné době provádí výzkumy, které poukazují na možnost namletí drobné frakce betonu za účelem získání materiálu, který by plnil úlohu pojiva,

neboť mletí by umožnilo hydrataci cementu, který v minulé aplikaci nezhydratoval. Tímto by se dalo docílit snížení množství potřebného cementu v betonu [29].

Cihelný recyklát

V současné době se již objevují aplikace v betonech s použitím cihelného recyklátu. Takto vyrobený beton nazývá cihlobeton. Ten bývá aplikován jako betonová nenosná monolitická konstrukce [35]. Dále je možné použití tohoto druhu betonu při výrobě prefabrikátů v podobě malých lisovaných prvků nebo velkých stěnových panelů [37].

Výzkumy zaměřené na aplikace cihelného recyklátu s cílem nahrazovat drobné kamenivo řeší otázky, do jakého množství se náhrada jeví jako přiměřená, aby nebyly výrazně ovlivněny vlastnosti betonu. Z hlediska nasákavosti dochází ke zvyšování vlivem vyšších zastoupení recyklovaného cihelného kameniva [40]. U pevnosti v tlaku naopak dochází ke snižování, a to až o 70 % [34]. Při porovnání s běžným betonem vychází jako nevhodnější směsi, v nichž je ze 33 % hmotnostně nahrazen písek [40]. Z toho lze usuzovat, že betony, které obsahují nižší desítky procent náhrad přírodního drobného kameniva, se jeví jako jedna z možných běžných budoucích aplikací.

Směsný recyklát

Problematické je využití většího zastoupení tohoto recyklátu v betonech. Je to primárně z důvodu jeho složení, které bývá tvořeno řadou různých materiálů. Jeho použití pro tyto účely je proto do značné míry zkoumáno výzkumy [40].

Objevují se i použití, ve kterých se tento recyklát objevuje jako náhrada přírodního plniva v betonech s nízkou pevností, tudíž se jedná spíše o nenosné a výplňové betony [36], což může být jedno z dalších využití tohoto recyklátu.

Při dalších experimentálních aplikacích bylo zjištěno, že náhrady hrubou recyklovanou frakcí směsného recyklátu v betonech mají vliv až na 78% snížení pevnosti betonu v závislosti na jeho zastoupení. Avšak při správně zvolené náhradě je možné docílit pevností shodných s využitím betonového recyklátu [34]. Z toho důvodu se zdá, že směsný recyklát v sobě skrývá určitý potenciál.

5.2 Zásypy a podklady

Pro tyto druhy aplikací jsou kladeny požadavky primárně na obsah nebezpečných látek, které jsou popsány ve vyhlášce č. 294/2005 Sb.. Konkrétně se jedná o tabulky 10.1 a 10.2 obsažené v této vyhlášce [31].

Betonový recyklát

Vyšší frakce se mohou používat ve stavitelství pro nahrazení přírodních štěrků. V případě frakcí 32/63 mm může sloužit jako drenážní vrstva. Je ale nutné počítat s jeho vyšší nasákavostí. Drobná frakce se využívá jako obsyp pro všechny druhy sítí nebo jako podkladní vrstva pod různé dopravní komunikace [36]. U dopravních staveb je umožněno použití betonového recyklátu do podkladních a ochranných vrstev. Své využití nacházejí i na železničních stavbách jako podklad, který je pod železničním svrškem [35].

Cihelný recyklát

U dopravních staveb se tento recyklát využívá pro stabilizované podklady a případně pro vrstvy vozovek, které nejsou stmeleny [35]. Je možné použití také pro zásypy inženýrských sítí. Jemná frakce se používá jako antukový povrch na tenisových hřištích [22; 31].

Směsný recyklát

Směsný recyklát nachází uplatnění jako zásypový materiál inženýrských sítí a je také vhodný pro úpravy terénu. Při vhodně zvolené zrnitosti je možné jej použít jako drenážní vrstvy u staveb, kde hrozí riziko vzniku rozmočení terénu. U polních a lesních cest s malou frekvencí dopravy se využívá pro vysypání výtluků a výmolů [36].

5.3 Cementové potěry a malty

Pro cementové potěry a malty je nutné splňovat požadavky na recyklované kamenivo, které jsou popsány v ČSN EN 13139 [31]. Aplikace recyklovaných kameniv u cementových potěrů zatím není příliš častá a mnohdy bývá řešena pouze experimentálně. Z toho důvodu mohou tyto dvě skupiny představovat velký potenciál pro využití drobné recyklované frakce v budoucnu.

V současné době je platná norma ČSN EN 13 055, která popisuje zkoušky pro použití pórovitých přírodních a recyklovaných kameniv v aplikacích do maltových směsí, přičemž musí být splněna podmínka maximální objemové hmotnosti kameniva, a to 2 000 kg/m³ [41].

Betonový recyklát

Drobná frakce nachází uplatnění v cementových maltách, kde je aplikace možná s použitím cementu, případně může dojít k úpravě betonového recyklátu procesem mletí. Takto upravený recyklát totiž vykazuje pojivové vlastnosti ve směsi, a díky tomu může dojít i k částečné náhradě cementu [39].

Vzhledem k množství vzniklé frakce 0/8 mm se objevují také aplikace do potěrových směsí [29; 32], ovšem nejčastěji se u nich využívají zrna do 4 mm. V případě samozhutnitelných cementových potěrů je kladen důraz také na obsah jemných částic, které mají za následek zlepšení tekutosti během ukládání [32].

Využívá se také u maltových směsí. Především se jedná o použití jako omítkoviny nebo zdící malty [29; 42].

Cihelný recyklát

Také u malt nachází tento druh recyklátu využití, a to jako plnivo s používanou zrnitostí do 4 mm [29; 35]. Jedná se o malty pro zdění a mají tu výhodu, že mají lepší tepelně-technické vlastnosti v porovnání s běžným pískem [35]. U těchto malt také záleží na zvoleném druhu pojiva, které může být vápno, případně cement. Samotné malty poté dosahují pevností v rozmezí 1 – 10 MPa [37].

Drobná frakce je současné době využívána jako plnivo také pro lepidla a stěrky, u kterých je především poukazováno na zlepšení součinitele prostupu tepla [32].

Směsný recyklát

V současné době se frakce 0/4 mm směsného recyklátu využívá při výrobě malt pro zdění. Hlavní výhodou je zlepšení tepelných vlastností v porovnání s přírodním drobným kamenivem [36].

Využívání směsného recyklátu bývá velmi často součástí výzkumů, které jsou zaměřeny primárně na vliv čistoty použitého kameniva, neboť velmi často obsahují velké zastoupení jemných částic. Jsou zkoumány jejich vlivy na mechanické a fyzikální vlastnosti čerstvých a tuhých potěrových směsí [43; 44].

6 Cementové potěry

Jedná se o jednu z konstrukčních vrstev podlah u bytových a průmyslových objektů. Vyniká především svou odolností vůči obrusu a vysokou pevností. Je tvořena betonem s využitím kameniva do 4 mm, avšak je možné využití zrn o velikosti až 16 mm v závislosti na zvolené tloušťce konstrukce [45]. Zde je nutné rozpoznat, zda se nejedná o betonovou mazaninu, o kterou se jedná při vyšší tloušťce vrstvy [46]. Cementové potěry zastávají funkci vyrovnávací, podkladní a při správné povrchové úpravě mohou tvořit i nášlapnou vrstvu. Norma ČSN EN 13318 popisuje definice pro potěrové hmoty a využití pro podlahy. Současně je platná ČSN EN 13813, ve které jsou popsány vlastnosti a požadavky na samotné cementové potěry [47]. Ve stejné normě je předepsáno také správné označování potěrů, které může být například: CT – C50 – F6 [45],

ve kterém:

CT – cementový potěr,

C50 – pevnost v tlaku [MPa],

F6 – pevnost v tahu za ohybu [MPa].

Cementové potěry dosahují maximální tloušťky 50 mm. Při tloušťkách větších než 50 mm se už jedná o betonovou mazaninu [46], která se vyznačuje především možnostmi využití větších zrn plniva, a to až do velikosti 16 mm [47].

I u cementových potěrů se provádějí zkoušky, na základě kterých jsou potěry rozdělovány do tříd, které vycházejí z již dříve zmíněné ČSN EN 13813. Nejčastěji probíhají zkoušky na pevnost v tahu za ohybu, u kterých jsou pevnostní třídy definovány od F1 až po F50. Konkrétně je toto rozdělení vidět v Tab. 11. Další prováděnou zkouškou je pevnost v prostém tlaku. Přičemž třídy bývají označovány písmenem C společně s hodnotou pevnosti po 28 dnech. Norma dále rozděluje pevnosti od C5 do C80. Pro přehlednost jsou popsány v Tab. 12. Dále se mohou provádět zkoušky na odolnost vůči obrusu, odolnost vůči opotřebením vlivem valivého zatížení a v neposlední řadě zkoušky na modul pružnosti, jehož třídy jsou definovány v Tab. 13 [47].

Tab. 11 – Pevnost v tahu za ohybu cementových potěrů, tvorba vlastní podle [47]

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1	2	3	4	5	6	7

Pro použití cementových potěrů u bytové výstavby při zatíženích do 2 kN/m² se pevnost v tahu za ohybu bere jako klíčová charakteristika, podle které se posuzuje odolnost konstrukce vůči zatížení. Udává se, že pro tuto aplikaci jsou minimální pevnosti v tahu za ohybu 2 až 3,5 MPa a bezpečná tloušťka konstrukce je doporučována 35 až 45 mm. Pro použití v průmyslových budovách je naopak brán zřetel na pevnost v tlaku, která je určována stejně jako u betonu, a to dosažením pevnosti cementového potěru alespoň ve třídě C20/25, případně vyšší v závislosti na statickém výpočtu [47]. Pro běžnou výstavbu rodinných a bytových domů je minimální požadovaná pevnost cementového potěru po 28 dnech stanovena na 20 MPa [32].

Tab. 12 – Pevnost v tlaku cementových potěrů, tvorba vlastní podle [47]

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30
Pevnost v tlaku [MPa]	5	7	12	16	20	25	30

Tab. 13 – Modul pružnosti cementových potěrů, tvorba vlastní podle [47]

Třída	E1	E2	E5	E10	E15	E20	E25
Modul pružnosti [GPa]	1	2	5	10	15	20	25

Možnost využití cementových potěrů je vzhledem k jejich vlastnostem určena do vnitřních a zároveň i do vnějších prostor, což představuje výhodu oproti anhydritovým podlahám [48], které jsou pro vlhké prostory nevhodné. Požadavky na cementové potěry pro oblast použití musí vycházet z uvažované aplikace, přičemž základní požadavky jsou definovány v ČSN 74 4505 [47]. Může se jednat o podobu povrchové úpravy, postupy zkoušení vlastností a mechanickou odolnost.

Cementové potěry jsou stejně jako všechny jiné konstrukce vystavovány objemovým změnám vlivem vysychání a teplotních změn. Z toho důvodu je nutné před pokládkou provést opatření přilehlých obvodových konstrukcí pěnovými páskami, které zároveň slouží k omezení akustických mostů. Dále je u velkých a členitých ploch žádoucí vytvoření smršťovacích spár, které se provádějí po 24 hodinách od uložení směsi pomocí řezu do 2/3 tloušťky potěru. U podlahového vytápění musí být smršťovací spáry realizovány častěji s ohledem na vyšší rozdíly teplot. Aplikace jsou možné i pro průmyslové a halové objekty [47].

Cementové potěry se využívají v kombinaci se všemi typy podlahovin. Také je možné jejich využití pro podlahové vytápění a ve vlhkých prostorech. Pevnost samotného potěru je ovlivněna především správným návrhem směsi a odborným zpracováním [49].

Povrchové úpravy cementových potěrů mohou tvořit finální nášlapnou vrstvu. Té je možné docílit zbrúšením povrchu a následným ošetřením povrchu krystalizační impregnací, kterou dojde k uzavření pórů potěru. Tím se sníží i jeho nasákavost. Posledním krokem je finální přešetření povrchu [47].

6.1 Složky pro výrobu

Při výrobě cementových potěrů se využívá obdobných složek jako při výrobě betonů [47]. V následujících bodech jsou podrobněji popsány základní požadavky, které musí vstupní materiály splňovat, aby byly vhodné pro výrobu tohoto druhu potěru.

Kamenivo

Velikost kameniva se stanovuje podle tloušťky potěru, přičemž nejčastěji se používají tloušťky potěru do 40 mm, kde je maximální povolené zrno kameniva 8 mm [47]. Vhodnější jsou vzhledem k malé tloušťce potěru kameniva o velikosti zrn do 4 mm [48]. V prostorech, kde hrozí velké riziko obrusu je vhodné využití kameniv, které nejsou náchylné vůči tomuto poškození [47]. Kamenivo je možné pro dosažení nižší hmotnosti částečně nahrazovat lehčími materiály, například polystyrenem a perlitem [49].

Cement

Jako pojivo je nejčastěji využíván cement s označením CEM II 32,5 (Portlandský směsný). Pro aplikace, kde je nutný prudší nárůst pevnosti během prvních dní a současně vyšší pevnosti po 28 dnech, je využíván cement CEM I 42,5 (Portlandský). Samotné dávkování záleží podle zamýšlené výsledné pevnosti, avšak maximální množství cementu na 1 m³ je 450 kg [47].

Voda

Obecně platí, že zastoupení vody ve směsi by mělo být nízké, aby nebyla snižována výsledná pevnost cementového potěru. Při běžných pokládkách (zavlhle směsi) má směs po provedení zkoušky rozlitím dosahovat konzistence F2 [47].

Přísady

V případech, ve kterých je nutné docílit konzistence vhodné pro čerpání směsi a pro vytvoření litého cementového potěru, je nutné využití plastifikačních a superplastifikačních přísad. Při výskytu vody a možném vystavení potěru mrazu, je vhodné využívání provzdušňujících přísad. Dále je možné použití zpomalovačů a urychlovačů tuhnutí, hydrofobizačních a stabilizačních přísad [47].

Příměsi

Příměsi zlepšují některé vlastnosti cementových potěrů jak během pokládky, tak i v případě zrání a vizuálních požadavků na povrch. Nejčastěji mohou být použity popílký a křemičité úlety pro zlepšení pevnostních a ukládacích nároků. Pro dosažení požadované barevnosti je možné použití práškových pigmentů, případně barevné moučky [47].

6.2 Druhy potěrů podle zpracování

V současné době se využívá řada technologických variant, které vycházejí především z umístění stavby, potřebného množství, a především záleží na prioritách investora. Dále se mezi výhody řadí široké spektrum možností výroby, přičemž cementové potěry je možné vyrábět na stavbě v míchačce z potřebných materiálů, z pytlovaných směsí nebo dovezení již hotové směsi přímo na stavbu [48]. V následujících kapitolách jsou tyto varianty popsány. Každá je vhodná pro jiné účely a požadavky investora.

6.2.1 Zavlhlá směs

Nejrozšířenější je cementový potěr ze zavlhých směsí [45]. Tuto směs připravují betonárky a pomocí autodopravy je směs převezena na staveniště k jejímu finálnímu zpracování. Tento způsob s sebou však nese rizika spojená s dobou dopravy a nutností chránit směs před deštěm a mrazem. Dále je nutné uložení směsi do 90 minut od namíchání, aby bylo docíleno co nejlepších vlastností výsledného potěru [48].

Tento druh směsi je možné připravit přímo na stavbě pomocí stavební míchačky a suchých složek s vodou, přičemž zavhlá směs je dopravována na své místo pomocí mísících čerpadel [49]. V případě míchání směsi na místě odpadá nutnost využívání autodopravy, čímž se prodlužuje čas pro zpracování.

V obou případech je u zavlhých směsí nutno dohlížet na správný způsob ukládání a zhutňování, neboť tyto fáze mají největší vliv na výsledné pevnosti cementových potěrů [50]. Průběh samotného ukládání a rovnání cementového potěru ze zavhlé směsi je vidět na Obr. 8.



Obr. 8 – Pokládka cementového potěru ze zavhlé směsi, převzato z [49]

Míchání a aplikace

Jak bylo dříve řečeno, cementové potěry je možné namíchat na stavbě. Je nutné dodržet základní podmínky pro zajištění správné přípravy. V tomto případě je nutná míchačka s přístupem k elektrické energii a pitné vodě, dále písek a cement. Samotné ukládání zavhlé směsi je časově náročné a vyžaduje zkušené pracovníky. Směs může být dopravována na místo pomocí koleček [48], případně pomocí mísícího čerpadla [49] a ukládána, přičemž se pomocí stahovací latě a hladítka docílí požadované výšky. Následně je možné povrch zagletovat a vytvořit pochozí vrstvu. Po pokládce by měla být v následujících 4 týdnech dodržena teplota vyšší než 5 °C a současně by měl být povrch ochráněn před slunečním zářením a povětrnostními vlivy. Samotný potěr je pochozí již po 24 hodinách [48]. Dále je nutné během prvních 7 dní povrch kropit vodou.

Suchá pytlovaná směs

Jedná se v současné době o trend, který umožňuje časovou úsporu vzhledem k tomu, že je směs ze suchých složek pro cementový potěr již připravena a pouhým přidáváním vody se docílí požadované konzistence [48]. I v tomto případě je nutná míchačka s přístupem k elektrické energii, a především zdroj pitné vody. Postup aplikace je shodný jako v předchozím odstavci.

Tloušťky vrstev

Pro zavhlé směsi je možné použití i menší tloušťky v závislosti na jejich budoucím účelu. Pro základní představu jsou varianty a jejich mocnosti popsány v Tab. 14. Jednotlivé pojmy jsou vysvětleny dále v této práci.

Tab. 14 – Minimální tloušťky cementových zavhlých potěrů, tvorba vlastní podle [45]

[mm]	Min. tloušťka vrstvy
Spojený potěr	10
Oddělený potěr	20
Plovoucí potěr	40

6.2.2 Litá směs

Jedná se o speciální cementový potěr, který je v posledních letech často využíván a vyniká především svou tekutostí a samonivelačním efektem, kterého je docíleno pomocí superplastifikátorů ve spojení s výše zmíněnými základními složkami. Jsou vyráběny přímo na betonárnách, ze kterých jsou pomocí autodomíchávačů dopravovány na stavby [48]. Tento druh cementového potěru má výborné vlastnosti přilnavosti pro aplikaci lepidel na dlažby [45] a objemová hmotnost čerstvého cementového litého potěru se pohybuje od 2200 do 2300 kg/m³ a u zatvrdlé směsi od 2100 do 2200 kg/m³ [51]. Mezi jeho výhody patří například možnost pochůznosti již po 24 hodinách. Po 3 dnech je již možné lehké stavební zatížení [52].

Pevnosti výsledného litého cementového potěru jsou dány správným odzdušněním při pokládce a zastoupením drobnějších zrn kameniva [50]. Vzhledem k jeho výsledné pevnosti je možné nevyztužovat vrstvu tohoto potěru [48], což se může projevit na finanční úspoře, neboť odpadá nákup výztuže.

Jejich nevýhodou je především významné smrštění během vysychání. V současnosti se však objevují aplikace, ve kterých smrštění probíhá v krátkém časovém horizontu a dlouhodobě potěr zůstával rozměrově stálý. Toho je docíleno speciálním nástřikem ihned po nivelaci potěru, díky kterému je omezeno vznikání trhlin, nadměrné vysychání a objemové změny v prvních 24 hodinách. Díky této úpravě je možné provádět plochy až do 40 m² bez nutnosti smršťovacích spár. Dále je možné tento druh potěru využívat jako finální nášlapnou vrstvu, které je docíleno zbroušením povrchu potěru a následným uzavřením otevřeným pórů konstrukce. Posledním krokem je přešetření povrchu a nanesení krystalizační látky [50].

Podle třídy litého cementového potěru a způsobu aplikace je možné vidět doporučené minimální tloušťky potěru v Tab. 15. Samotné způsoby použití jsou vysvětleny v následující kapitole.

Tab. 15 – Minimální tloušťky cementového litého potěru tvorba vlastní podle [53]

[mm]	CT-C20-F4	CT-C25-F5	CT-C30-F6
Spojený potěr	40	40	40
Oddělený potěr	45	45	45
Plovoucí potěr	45 – 65	45 – 60	45 – 55

Aplikace

Po příjezdu autodomíchávače na stavbu se směs dopravuje pomocí čerpadel na místo pokládky. Tento druh pokládky s sebou nese nižší požadavky na pracovníky, a také samotná práce je časově méně náročná [48]. Dopravovaná směs je rozlévána do připraveného prostoru (po obvodu pěnové pásky a v ploše PE separační folie) a do požadované výšky. Následně probíhá odvzdušnění potěru pomocí vlnového pohybu latě. Postup odvzdušňování se provádí ve dvou na sebe kolmých směrech, aby byla dosažena požadovaná rovinatost povrchu. Poté je nutné provést ošetřující nástřik, který omezuje smršťování a chrání potěr před vznikem trhlin [52]. Také platí, že je potěr nutné ochránit před slunečním zářením a povětrnostními vlivy [48]. Dále je nutné během prvních 3 až 7 dní po uložení udržovat cementový potěr vlhký, aby nedošlo k jeho příliš rychlému vyschnutí. Současně se nesmí zapomenout na dodržení smršťovacích spár [45]. Samotný příklad zpracování cementového litého potěru je vidět na Obr. 9.



Obr. 9 – Ukládání cementového litého potěru, převzato z [52]

6.3 Druhy cementových potěrů podle aplikace

Cementové potěry se rozlišují především podle způsobu použití v souvislosti s tím, jak jsou umístěny na podkladních konstrukcích. Tyto varianty jsou dále probrány v této kapitole včetně grafického znázornění skladeb materiálů.

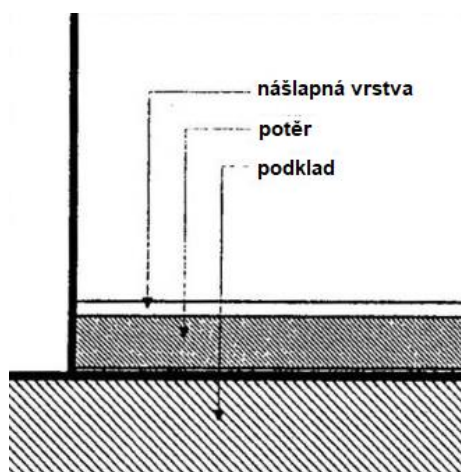
6.3.1 Spojený potěr

Jedná se o druh aplikace, při které je potěr umístěn přímo na nerovný podklad, tudíž slouží jako vyrovnávací vrstva, která bude tvořit podkladní vrstvu pro budoucí nášlapnou vrstvu. Příklad potěru aplikovaného přímo na podklad je vidět na Obr. 10. Bývá nejčastěji prováděn v tloušťkách od 10 do 30 mm. Nevýhodou tohoto druhu aplikace je jeho náchylnost ke vzniku trhlin. Vzhledem k malé tloušťce se jejich aplikace řadí mezi náročnější, a to především z důvodu problematického spojení s podkladem [45].

Z toho důvodu jsou nutná určitá opatření, aby se riziko budoucí poruchy cementového potěru co nejvíce eliminovalo. Jedná se o tato řešení: zdrsnění podkladu, očištění podkladu od nečistot, navlhčení podkladu (alespoň 48 hodin před pokládkou) a aplikace penetračního nátěru [47].

U této konstrukční varianty platí pravidlo, které stanovuje omezení na výslednou tloušťku cementového potěru, která by měla být minimálně trojnásobek největšího použitého zrna kameniva [47].

Vyskytují se i aplikace, u kterých je použití cementového potěru spojeného s podkladem tvořeno za účelem vytvoření finální povrchové úpravy [46]. Často se ale jedná spíše o řešení v objektech, které vyžadují vytvoření rovného povrchu bez ohledu na estetické požadavky.



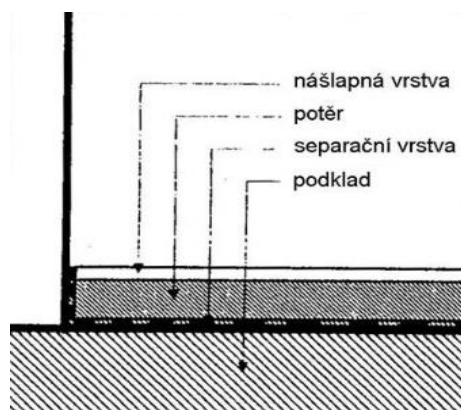
Obr. 10 – Potěr spojený s podkladem, převzato z [45]

6.3.2 Oddělený potěr

Tento druh aplikace se využívá především u podkladních konstrukcí, u kterých nelze dosáhnout požadovaného spojení. Tento problém může nastat u nátěrů. Současně je tento typ vhodný k zamezení vzniku trhlin, neboť konstrukce nejsou navzájem propojeny. Jedna z výhod tohoto provedení je umožnění objemových změn vlivem teploty nezávisle na obou vrstvách. Toho lze docílit použitím pěnového pásku po obvodu místnosti a dále separační vrstvou na styku podkladní vrstvy a potěru [45].

Samotná separační vrstva může být tvořena například hydroizolací či parozábranou. Nejčastěji se ovšem používá PE fólie [47]. Předepsaná tloušťka potěru při nutnosti oddělení vrstev bývá od 20 do 40 mm [45]. Samotné schéma konstrukce je vidět na Obr. 11.

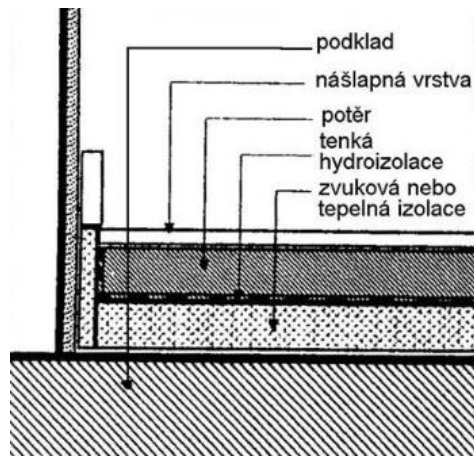
S tímto druhem aplikace se lze setkat i při nutnosti ochrany podkladních vrstev. Nejčastěji při ochraně již provedené hydroizolaci, kde je nutné ochránit hydroizolaci před mechanickým poškozením a kde současně tvoří rovný podklad pro další vrstvy podlahové konstrukce [46].



Obr. 11 – Potěr oddělený od podkladu, převzato z [45]

6.3.3 Plovoucí potěr

Tento druh konstrukčního řešení (viz. Obr. 12) se objevuje nejčastěji v bytové výstavbě s ohledem na zamezení šíření hluku [45]. Na podkladní konstrukci je provedena vrstva z tepelné nebo kročejové izolace. Nejčastěji se jedná o polystyren, ale je možné použít i jiné materiály. Z důvodu nízké pevnosti a modulu pružnosti tyto druhy izolací špatně zvládají zatížení. Z toho důvodu je nad nimi provedena vrstva z cementového potěru, který plní funkci roznášecí vrstvy [50] a jeho tloušťky se volí minimálně 40 mm [45]. Vzhledem ke stlačitelnosti izolace je nutné brát jako hlavní charakteristiku pevnost v tahu za ohybu [50]. Samotný potěr je vlivem separační vrstvy na podkladu a pěnového pásku po obvodu místnosti zcela nezávislý a mohou probíhat objemové změny v konstrukcích [45].



Obr. 12 – Plovoucí potěr, převzato z [45]

Podlahové vytápění

Tento druh je možné kombinovat také v případě navrženého podlahového vytápění. Ovšem pro tyto případy je nutné dodržení minimální tloušťky roznášecí vrstvy, a to alespoň 70 mm [54]. Jak bylo popsáno výše, při této tloušťce se jedná už podle terminologie o mazaninu, která se vyznačuje použitím větších zrn kameniva. To ovšem není řešeno v rámci této práce s ohledem na laboratorní část, která se zabývá kamenivem o velikosti 4 mm.

Především při kombinaci s podlahovým vytápěním je nutné správné navržení směsi z důvodu výrazných teplotních změn v konstrukci [47]. Především s ohledem na vytvoření soudržné a bezporuchové vrstvy.

6.4 Konkurence cementových potěrů

Anhydritová litá směs

Přímým konkurentem cementových potěrů jsou materiály, kterými jsou anhydrit a další stavební hmoty založené na síranu vápenatém. Jejich výhodou je především kratší doba ošetřování po uložení. Současně jsou nutná opatření podobná jako u cementových litých potěrů. Především se jedná o zamezení průvanu v objektu a o ochranu povrchu potěru před přímým slunečním zářením, přičemž nejrizikovější jsou první dva dny od uložení směsi. Mezi výhody řadíme především minimální smrštění. Díky tomu je možné tvořit velké podlahové plochy bez nutnosti smršťovacích spár. Nevýhodou anhydritových směsí je nízká odolnost vůči vlhkosti, která má za následek snižování pevnosti. Další nevýhodou je nízká teplotní stabilita konstrukce [45]. Jeho objemová hmotnost je kolem 2150 kg/m³ [55].

Anhydritová litá směs se využívá jako konstrukční vrstva podlahy. Je vhodná pro vysoká zatížení. Namíchaná směs bývá dopravována na stavbu pomocí autodomíchávačů a pro dopravování přímo na místo pokládky se využívá čerpadel. Při pokládce a po ní musí být zakryty a uzavřeny otvory, aby nedocházelo k průniku slunečního záření a průvanu. Teplota v interiéru by se měla pohybovat od 5 °C do 30 °C. Samotný potěr vyniká svou výraznou tekutostí, tudíž práce s ním je velice snadná. Pro ukládání bývá čerpán až do požadované výšky a následně je pomocí střešovací latě od vzdušněn. Až do plochy 800 m² není potřeba vytvářet smršťovací spáry, což je velká výhoda. Jedinou nevýhodou je nutnost zbavení prašné vrstvy vyschlého povrchu, který vzniká vysycháním konstrukce při horním straně potěru. Tento krok probíhá většinou do 7 týdnů od uložení [55].

Tab. 16 – Minimální tloušťky anhydritového litého potěru, tvorba vlastní podle [55]

[mm]	Min. tloušťka vrstvy
Spojený potěr	4
Oddělený potěr	20
Plovoucí potěr	25 – 40

Podlahové vytápění

Vzhledem ke své tekutosti a samonivelačním vlastnostem je vhodný pro aplikace s použitím podlahového vytápění [54]. To je dáno malou teplotní roztažností a malým smrštěním [45]. Ukládá se v tloušťkách minimálně 35 mm, přičemž doba zrání je obdobná jako u cementových potěrů a betonových mazanin [54]. Vlivem své konzistence směs zcela vyplní prostor mezi podlahovým potrubím, tudíž nevznikají místa nevyplněna materiálem.

6.5 Testování potěrů

Aby bylo potěry možné správně využívat a aby byla umožněna jejich nejdelší životnost, je nutné stanovit především jejich mechanické vlastnosti. Pro účely využívání ve výše zmíněných aplikacích (viz kapitola 6.3) je především u plovoucího potěru nutné stanovit pevnost v tahu za ohybu. Ta je popsána v ČSN EN 13892–2. Pro tuto zkoušku je možné odebrání vzorků směsi během pokládky do forem o velikosti 160 × 40 × 40 mm nebo vyjmutí již ztvrdlého směsi přímo z konstrukce. U těchto těles je výhodou možnost otestovat také pevnost v tlaku po přelomení tělesa ze zkoušky v tahu za ohybu. Případně je možná alternativa, a to využití odtrhové zkoušky, čímž se testuje pevnost v prostém tahu [45].

Po položení cementového potěru je nutné sledovat vlhkost této vrstvy s ohledem na dokončovací práce u podlah. Z toho důvodu se provádí tzv. gravimetrická metoda, která je popsána v ČSN EN ISO 12570. Jedná se ovšem o metodu velice zdlouhavou [45]. Principem této zkoušky je odebrání vzorku materiálu a současně jeho zvážení v okamžiku odběru. Následně je vzorek vysušen při 105 °C (Betonové potěry) a 40 °C (Anhydrity). Poté je vzorek zvážen a zjištěna vlhkost v okamžiku odběru [56]. Může být použita také metoda CM, která se vyznačuje rychlostí zjištění výsledné vlhkosti potěru [45]. Pro účely této zkoušky je nutné odebrání vzorků z celé tloušťky konstrukce. Odběr se provádí nejčastěji ručně. Následně je odebraný materiál podrcen a vložen do přístroje společně s kapslemi karbidu vápenatého a ocelovými kuličkami, které při protřepání kapsle rozbijí. Poté probíhá reakce obsažené vody ve vzorku společně s obsahem kapslí, vlivem které vzniká acetylen, který je měřený pomocí tlakoměru. Výsledkem je uváděný v procentech CM. Za bezpečnou hodnotu pro pokládku nášlapné vrstvy podlahy je považována hodnota 2,5 [56].

V Tab. 17 jsou popsány doporučené maximální hodnoty vlhkosti podkladu pro pokládku různých finálních nášlapných vrstev, aby nedošlo k jejich poškození vlivem špatných vlhkostních podmínek. U potěrů s podlahovým vytápěním je nutné tuto hodnotu snížit o dalších 0,5 % [57].

Tab. 17 – Maximální hodnoty vlhkosti pro různé druhy podlahovin, tvorba vlastní podle [57]

Nášlapná vrstva	Gravimetrická metoda	Metoda CM
Dlažba	5,0 %	3,2 %
Koberec a jiné textilie	5,0 %	3,2 %
Linoleum a PVC	3,5 %	2,0 %
Dřevěné podlahy	2,5 %	1,2 %

7 Odborné články a výzkumy na cementové potěry

7.1 S betonovým recyklátem

Při používání betonového recyklátu literatura uvádí snížení objemové hmotnosti směsi. Bohužel tento pozitivní jev je spojován s vyšší nasákavostí, která je dána strukturou tohoto recyklátu. To má za následek zvýšení množství záměsové vody pro dodržení potřebné zpracovatelnosti. Tato voda navíc způsobuje vyšší smršťování během vysychání a zároveň dochází ke zhoršování modulu pružnosti [38].

Nováková [32] se ve své bakalářské práci zabývala využitím recyklovaného betonového recyklátu v samozhutnitelných cementových potěrech. Při výrobě uvažovala 323 kg cementu a hmotnostně nahrazovala ve svých recepturách písek od 10 do 50 %, včetně použití superplastifikátoru pro snížení množství záměsové vody. Z výsledků bylo zjištěno, že využívání betonového recyklátu nemá vliv na vyplavování a segregaci recyklovaného kameniva. V případě pevnosti v tahu za ohybu bylo zjištěno, že s rostoucí náhradou roste i samotná pevnost vlivem zastoupení jemných částic, které lépe vyplňují mezery ve směsi. Dále má na zlepšení pevností vliv i tvar betonového recyklátu, který má ostrohranná zrna. Všechny směsi dosahovaly přibližně podobných pevností v tlaku jako referenční směs. Dále autorka popisuje pozitivní vliv jemných částic na zlepšení odolnosti vůči působení tlaku. Všechny zmíněné směsi splňovaly po 28 dnech minimální požadovanou pevnost v tlaku, a to alespoň 20 MPa.

Katz [58] se ve svém výzkumu zaměřil na testování vlivu 30 a 100% hmotnostní náhrady za písek. Zkušební tělesa byla testována po 3, 7 a 28 dnech s použitými vodními součiniteli 0,4 a 0,6. Čerstvé směsi, které jsou označovány jako čerstvá malta, vykazovaly nižší objemové hmotnosti vlivem vyššího zastoupení recyklovaného betonu. U vytvrzených směsí byla měřena pevnost v tahu za ohybu, na základě které je horší pevnost způsobena vyšším množstvím vody ve směsi a dále se pevnost snižuje s rostoucími náhradami. Stejně závěry autor vyvodil i pro pevnost v tlaku.

Neno [59] prováděl výzkum, ve kterém využíval betonový drobný recyklát z čelistového drtiče a portlandský cement CEM II 32,5 N. Konzistence byla zkoušena pomocí normy EN 1015-3 pro dosažení rozlivu 175 mm. Při 20% objemovém zastoupení recyklátu bylo nutné přidání většího množství vody vzhledem k nasákavosti kameniva, avšak u vyšších náhrad již bylo množství vody stejné nebo dokonce nižší. Dále byl zjištěn vliv rostoucích náhrad na objemovou hmotnost zatvrdlé směsi, která se vlivem vyššího zastoupení recyklátu snižovala. V případě pevnosti v tahu za ohybu a tlaku dochází k lepším výsledkům u plné náhrady v porovnání s referenční směsí, což může být dle autora způsobeno obsahem nezhydratovaného cementu, který po

smíchání s vodou dokončí svou úplnou hydrataci. V rámci tohoto výzkumu bylo také provedeno měření modulu pružnosti. Směs s použitím 20% objemové náhrady vykazovala vyšší hodnoty než referenční, což dle autora zvyšuje pravděpodobnost praskání vlivem vznikajícího pnutí v materiálu. Opačných výsledků však dosáhli výzkumníci Silva [60] a Topcu [61], u kterých se při použití recyklátů moduly pružnosti v porovnání s referenční směsí snižovaly.

7.2 S cihelným recyklátem

Mora-Ortiz [62] využíval frakci cihelného recyklátu 0/4 mm, kterou aplikoval v hmotnostních náhradách od 10–100 %. Nahrazovaným plnivem byl písek. Vzhledem k nasákavosti recyklátu bylo přistoupeno k namočení, aby byly otevřené póry recyklátu zaplněny vodou. To mělo za následek snížení samotného množství záměsové vody při míchání. Při zkoušce zatvrdlé směsi bylo zjištěno, že s vyššími náhradami roste také nasákavost vzorku, což je způsobeno především druhem použitého recyklátu, který je již ze své podstaty nasákavý. S rostoucí podílem náhrady docházelo ke snižování objemové hmotnosti suchých těles. V případě pevnosti v tlaku bylo zjištěno, že 50% hmotnostní náhradou dochází k 15% snížení pevnosti oproti referenční směsi, avšak v případě 100% náhrady se pokles blíží 50 %. Dále bylo zjištěno že 100% nahrazením dochází ke vzniku viditelných trhlin na povrchu materiálu, naopak u nižších náhrad trhliny pozorovány nebyly. Na základě provedených výzkumů se použití jeví jako efektivní při 30% hmotnostní náhradě. Vhodné je použití ve vnitřních prostorech, které jsou chráněny proti povětrnostním vlivům.

Silva a kolektiv [60] se ve svém výzkumu zaměřili na využití cihelného odpadu pro malty, ačkoliv je složení stejné jako u cementových potěrů. Zkoumané objemové náhrady byly 20, 50 a 100 % s termíny zkoušek 3, 7 a 28 dní. Na základě použitého lehčího plniva oproti písku je výsledkem nižší objemová hmotnost, a to až o 325 kg/m³ mezi referenční směsí a 100% náhradou. U zkoušení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku bylo po 28 dnech dosaženo nárůstu obou zmíněných pevností u směsí s objemovými náhradami, a to při použití 20 a 50 % recyklátu, což mohou být ideální náhrady v případě zlepšení vlastností cementových potěrů. V případě 100% náhrady byla změřena nižší pevnost v tlaku o 1,05 MPa (tzn. 6,85 MPa) oproti referenční směsi (8,9 MPa) a u druhé zmíněné zkoušky se pevnosti rovnaly 2,0 MPa. Autor se v této práci odkazoval také na řadu výzkumníků, kteří jeho závěry tlakových zkoušek v případě 100% náhrady potvrzují. Z hlediska nasákavosti vyrobených směsí s objemovým zastoupením 20 % recyklátu došlo ke snížení nasákavosti, která je podle Silvy dána pórovitostí cihelného recyklátu. Díky tomu cementová pasta vyplní póry tohoto kameniva a uzavře otevřené póry. U plné náhrady dochází k výraznému

zhoršení, neboť cementová pasta není schopna již zcela uzavřít velké množství otevřených pórů v kamenivu. V případě zjišťování modulu pružnosti byla využita rezonanční metoda, která po vyhodnocení poukázala na nižší hodnoty právě při používání cihelného recyklátu oproti referenčním směsem. To může mít kladný dopad na odolnost vůči praskání.

Dalším výzkumníkem, který se zabýval využitím tohoto druhu recyklátu, je Jiménez [63]. Ten se věnoval především využití v maltách, u kterých objemově nahrazoval od 5 do 40 % přírodní plnivo. U čerstvé a zatvrdlé směsi došel k závěru, že s rostoucím zastoupením recyklátu klesá objemová hmotnost lineárně v závislosti na použitém množství, což je způsobeno právě nižší hmotností cihelného recyklátu vztaženému na 1 m³. Při měření pevnosti v tahu za ohybu bylo dosaženo lepších nebo obdobných vlastností v porovnání s referenční směsí, což je vysvětleno vyšším zastoupením jemných částic v recyklovaném kamenivu. V případě pevnosti v tlaku se dá považovat 40% objemová náhrada za zcela vhodnou, neboť jejím použitím dokonce dochází k nárůstu pevnosti směsi.

7.3 Se směsným recyklátem

Castaño-Cardoza [43] prováděl výzkum zaměřený na použití směsného drobného recyklátu pro použití v maltových směsích, které odpovídají složení cementových potěrů. Samotný směsný recyklát obsahoval výrazný podíl jemných částic, vlivem kterého bylo nutné větší zastoupení vody. To může mít negativní vliv na mechanické vlastnosti nebo množství použitého plastifikátoru. Avšak vlivem jemných částic bylo docíleno nižší nasákavosti tvrdého materiálu, neboť částice vyplnily mezery mezi většími zrny. Z výsledků pevnosti v tlaku bylo zjištěno, že směsný recyklát obsahující jemné částice má za následek snížení pevnosti v tlaku, což je vyvoláno také větším množstvím použité vody pro záměs. Naopak pokud byl směsný recyklát zbaven jemných částic, tak dosahoval až o 40 % vyšších pevnost v tlaku než směs s jemnými částicemi.

Heidari [44], který využíval směsné recyklované kamenivo, před začátkem experimentů vytřídil kamenivo na drobnou a hrubou frakci, jenž nebyla předmětem tohoto výzkumu. Hmotnostní náhrada písku ve směsích byla navržena od 0 do 100 %. Pro snížení množství vody byl ve směsích použit superplastifikátor. V rámci výzkumu byl hmotnostní poměr kameniva ku cementu 3:1. Pevnost v tahu za ohybu dosahuje nejlepších hodnot při 50% hmotnostním zastoupení recyklátu. Při 100% náhradě je pevnost o několik procent vyšší než v případě referenční směsi. U pevnosti v tlaku 100% náhrada dokonce překonává referenční směs po 7 a 28 dnech. Nejhorších pevností dosahuje směs s hmotnostní náhradou 30 % recyklátu.

Praktická část

Samotná praktická část práce je rozdělena na 2 základní části. Jedna je zaměřena na laboratorní zjišťování vlivu nahrazení přírodního drobného kameniva za kameniva recyklovaná (betonové, cihelné a směsné) pro použití v cementových potěrech. Současně je zkoumán vliv různého zastoupení cementu ve směsi s ohledem na využití srovnatelného objemového zastoupení všech použitých materiálů. Laboratorní část je zakončena celkovým zhodnocením získaných výsledků z prováděných laboratorních experimentů s výzkumníky, kteří se touto problematikou zabývají.

Druhá část je zaměřena především na ekonomické posouzení výroby cementových potěrů s využitím recyklovaných kameniv. Na základě výsledků získaných z laboratorní části je vybrána 1 nejvhodnější směs od každého recyklátu, u které je kladen důraz na zjištění nákladů na získání samotného kameniva a projevení využití recyklátů na míchání a zpracování výsledného potěru v nejběžnějších aplikacích. Toto posouzení je zakončeno výsledným ekonomickým vyhodnocením na základě rozboru ceny v rámci vytvoření vlastní položky v softwaru KROS 4.

Výsledky získané v této práci jsou především v laboratorní části vyhodnocovány z průměru ze získaných hodnot. Současně bylo nutné definovat také směrodatnou odchylku výsledných hodnot, která byla použita v grafickém znázornění výsledků.

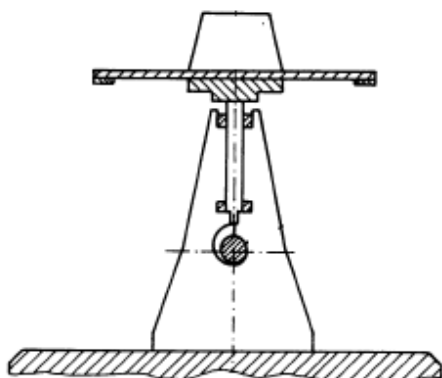
Laboratorní část

8 Experimentální metody

Ve výzkumné části jsou popsány experimentální metody. Pro čerstvý potěr je rozebrána zkouška konzistence. V případě zatvrdlé směsi je řešena objemová hmotnost, dynamický modul pružnosti, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Zjištěné výsledky posloužily jako podklad využití recyklovaných drobných kameniv do cementových potěrů a zároveň pro zjištění, jak velké procentuální zastoupení cementu je výhodné. Dále se zde nachází informace, které popisují zjištěné výsledky na základě provedených výzkumů od dalších výzkumníků.

8.1 Zkouška konzistence

V okamžiku namíchání směsi bylo nutné zjistit samotnou konzistenci směsi, u které byl před zkouškou definován požadovaný rozliv v rozmezí od 150 do 170 mm. K tomuto účelu byla použita norma ČSN EN 1015–3 [64]. Samotná norma detailně popisuje zkušební zařízení, kterým je stříšací stolek společně s kovovou kuželovitou formou (viz Obr. 13), a postup nutný ke správnému provedení zkoušky.



Obr. 13 – Stříšací stolek pro zkoušku konzistence, upraveno na základě [64]

Prvním úkonem, který bylo nutné provést, byla příprava samotného zkušebního zařízení, u kterého se skleněná deska a kuželovitá forma navlhčila pomocí vlhké tkaniny. Následně byla forma umístěna do středu desky a čerstvá směs byla ve dvou vrstvách vložena do formy tak, aby byla zcela vyplněna. Každá z vrstev byla pomocí 10 pádů dřevěného dusadla o průměru 40 mm zhutněna. Případné znečištění skleněné desky z procesu plnění bylo nutné odstranit. Následně byla forma zvednuta a pomocí kliky na stříšacím zařízení provedeno 15 pootočení v intervalech 1 sekundy. Samotná konzistence směsi byla zjištěna změřením dvou na sebe kolmých směrů a zprůměrováním těchto hodnot. Podobu směsi v rámci provádění zkoušky konzistence je možné vidět na Obr. 14.



Obr. 14 – Vzorek čerstvé směsi a rozliv čerstvé směsi, tvorba vlastní

8.2 Objemová hmotnost

V průběhu testování bylo nutné zjistit objemovou hmotnost vyrobených zkušebních těles. Ta byla vyrobena do tvaru trámečků o rozměrech 160 × 40 × 40 mm. Samotné měření bylo prováděno při zkoušce dynamického modulu pružnosti, pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku, tudíž po 3, 7 a 28 dnech od výroby.

Při uložení vzorků ve vodě, což se týkalo 3 a 7 dní starých vzorků, bylo nutné zkušební trámečky osušit, aby byly zbaveny vody na jejich povrchu a následně zváženy pomocí digitální váhy. V případě provádění zkoušek po 28 dnech již byly vzorky uskladňovány na vzduchu, tudíž proces osušení neprobíhal. Dále bylo nutné změřit všech rozměrů trámců, ke kterému bylo použito elektronické posuvné měřidlo. Ze získaných rozměrů se následně vypočítal objem samotných vzorků (délka × šířka × výška). Na základě znalosti těchto veličin byla vypočítána objemová hmotnost podle vzorce, který je znázorněn níže s označením (1). Pro názornost jsou zkušební vzorky znázorněny na Obr. 15, na kterém je vidět i zvolený druh popisu vzorků v závislosti na použitém plnivu, zastoupení cementu a jedinečném číslu jednotlivých vzorků.

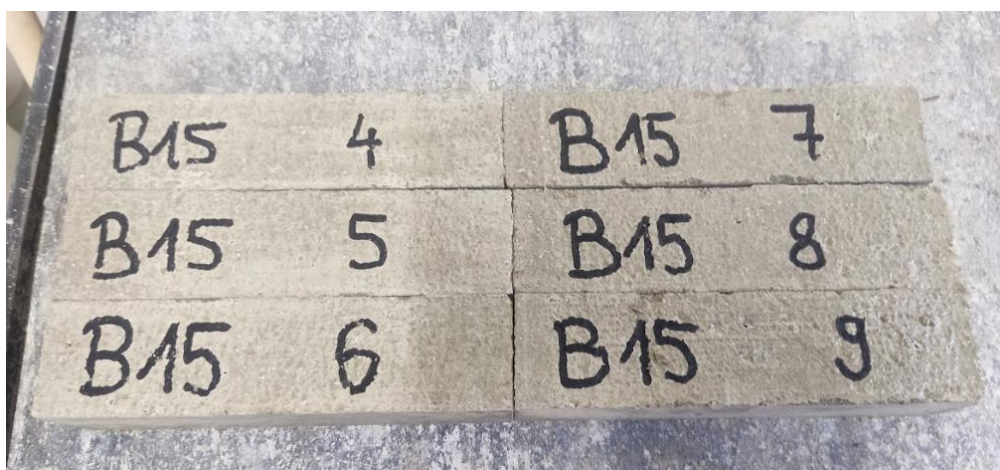
$$\rho_v = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

ve kterém je:

ρ_v objemová hmotnost zkušebního trámce [kg/m^3],

m hmotnost zkušebního trámce [kg],

V objem zkušebního trámce [m^3].

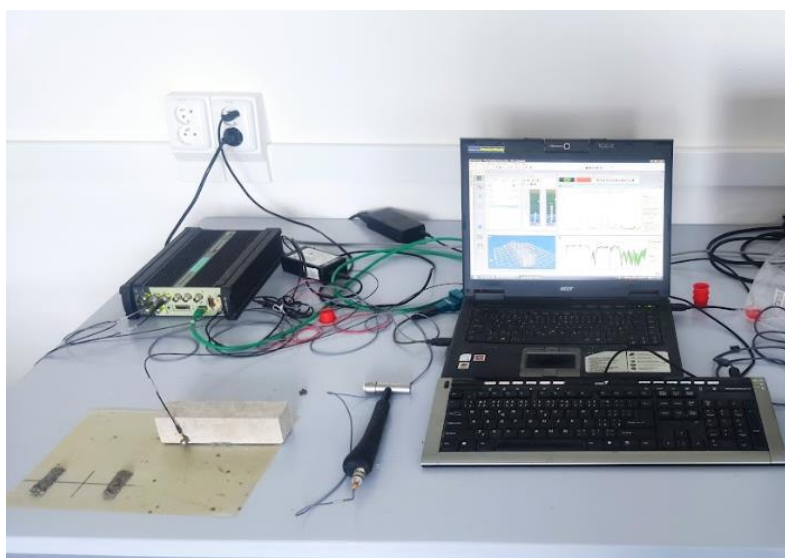


Obr. 15 – Osušené zkušební vzorky připravené pro změření rozměrů, tvorba vlastní

8.3 Dynamické moduly pružnosti

Před provedením destruktivních zkoušek bylo nutné provést měření dynamického modulu zkušebních trámčů o rozměrech 160 × 40 × 40 mm. K tomuto účelu byla zvolena rezonanční metoda, která vychází z ČSN 73 1372, předpisu ASTM E 1876-01 [65] a ze shrnutí postupu provádění [66]. K tomuto měření bylo přistoupeno především z důvodu nepoškození vzorků, neboť by byly ovlivněny pevnosti v následujících destruktivních zkouškách. Vzhledem k termínům testování bylo měření provedeno po 3, 7 a 28 dnech od výroby.

Pro samotné měření byla využita měřicí soustava, které zahrnovala přenosný počítač s požadovaným softwarem, konkrétně se jednalo o PULSE LabShop verze 14.0.1. Dále měřicí zařízení s označením 3560–B–120, ke kterému byl připojen přijímací senzor. Ten zaznamenával frekvenci kmitání vzorku, která byla vyvolána pomocí speciálního kladívka. Veškeré měřicí příslušenství je možné vidět na Obr. 16.



Obr. 16 – Měřicí soustava pro zjištění dynamického modulu pružnosti, tvorba vlastní

Před provedením samotného měření bylo nutné zkušební vzorky zbavit povrchové vlhkosti, což se týkalo pouze vzorků ve stáří 3 a 7 dní, které byly uloženy ve vodě. U vzorků ve stáří 28 dní již k osušení nedošlo, neboť byly uskladněny na vzduchu při teplotě vzduchu 21 °C a vzdušené vlhkosti 65 %. Následně byly vzorky změřeny a zváženy stejným postupem, který byl uveden v kapitole 8.2, neboť zjišťování objemové hmotnosti probíhalo současně s touto zkouškou. Takto připravené vzorky již byly pokládány na podložku s vyznačenou polohou vzorku. Ta vycházela ze znalosti polohy jednotlivých uzlů, které mají v případě nesprávného uložení vliv na přesnost a správnost měření. Samotné uložení je popsáno níže u jednotlivých druhů měření. Následovalo přilepení snímače pomocí včelího vosku ke vzorku,

příčemž z každého měření se snímač nacházel na jiném místě. Pro takto nachystaný vzorek bylo spuštěno měření na přenosném počítači a speciálním kladívkem provedeno 5 jemných úderů s intervalem 2 sekund na požadované místo. Pomocí měřicí soustavy bylo na základě úderů provedeno grafické znázornění vlastních frekvencí na obrazovce počítače a zapsány frekvence v místech maximálních hodnot. Poté následovalo zanesení všech údajů do Excelovské tabulky a výpočet dynamického a smykového modulu pružnosti. Požadovanými vstupními údaji byly: rozměry vzorku (délka × šířka × výška), hmotnost vzorku a frekvence při jednotlivých měřeních.

V této práci probíhaly 3 způsoby měření. Jednalo o měření podélného kmitání (f_l), příčného (f_p) a kroutivého (f_t). U každého docházelo ke změně uložení vzorku na podložce, polohy snímače a místa úderu kladívkem.

Dynamický modul pružnosti z podélného kmitání

Podepření vzorku při tomto měření bylo v polovině jeho délky na pěnové podpoře. Přijímací senzor byl umístěn na středu čela vzorku a na středu protějšího čela (viz Obr. 17) byly prováděny úderý speciálním kladívkem. Výsledný dynamický modul pružnosti pro podélné kmitání byl vypočten pomocí vzorce (2), který je popsán níže.



Obr. 17 – Vzorec pro měření podélného kmitání, tvorba vlastní

$$E_{d,l} = \frac{4 \times l \times m \times f_l^2}{b \times t}, \quad (2)$$

ve kterém je:

$E_{d,l}$ dynamický modul pružnosti z podélného kmitání [Pa],

l délka vzorku [m],

m hmotnost vzorku [kg],

f_l frekvence podélného kmitání [Hz],

b šířka vzorku [m],

t výška vzorku [m],

Dynamický modul pružnosti z příčného kmitání

Vzorek byl v tomto případě umístěn na 2 pěnové podpory, které se nacházely ve vzdálenosti 3,5 cm od čel. Přijímací senzor byl umístěn na levém středu horní strany vzorku a klepání kladívkem bylo provedeno na druhém konci vzorku, jak je vidět na Obr. 18. Příčné kmitání zjištěné během této zkoušky bylo přepočteno na dynamický modul pružnosti pro příčné kmitání podle vzorce (3).



Obr. 18 – Vzorec pro měření příčného kmitání, tvorba vlastní

$$E_{d,p} = \frac{0,9465 \times l^3 \times m \times f_p^2 \times T_1}{b \times t^3}, \quad (3)$$

ve kterém je:

- $E_{d,p}$ dynamický modul pružnosti z příčného kmitání [Pa],
- l délka vzorku [m],
- m hmotnost vzorku [kg],
- f_p frekvence příčného kmitání [Hz],
- T_1 korekční součinitel určen podle ASTM 1876–01 [65],
- b šířka vzorku [m],
- t výška vzorku [m],

Dynamický smykový modul pružnosti z kroutivého kmitání

Pro poslední provedené měření byla stejně jako při prvním měření použita samostatná pěnová podpora, tudíž vzorek byl podepřen v jeho polovině. Senzor byl umístěn při spodním okraji v místě podpory z měření příčného kmitání a kladívkem bylo klepáno naopak u horního okraje nad druhou podporou. Pro názornost jsou tato místa zobrazena na Obr. 19. Zjištěná frekvence byla následně využita pro výpočet dynamického smykového modulu pružnosti podle vzorce (4).



Obr. 19 – Vzorek pro měření kroutivého kmitání, tvorba vlastní

$$G_d = \frac{4 \times l \times m \times f_t^2}{b \times t} \times \frac{B}{1+A}, \quad (4)$$

ve kterém je:

- G_d dynamický smykový modul pružnosti z kroutivého kmitání [Pa],
- l délka vzorku [m],
- m hmotnost vzorku [kg],
- f_t frekvence kroutivého kmitání [Hz],
- b šířka vzorku [m],
- t výška vzorku [m],
- B korekční součinitel vzorku [-],
- A empirický korekční součinitel poměru šířky a výšky zkušební vzorku [-].

Korekční součinitel B je definován v předpisu ASTM 1876–01. Je v něm uvedeno, že velikost součinitele je dána poměry šířky a výšky zkušební vzorku s přihlédnutím k řadě koeficientů [65], které jsou v předpisu také popsány.

Empirický korekční součinitel A je definován vzorcem v samotném předpisu pro tento druh měření, a to v ASTM 1876–01. Vstupují do něj údaje, které se týkají vzájemných poměrů výšky a šířky zkušební vzorku. V případech, kdy není nutná přesnost lepší než 2 %, jej lze vynechat [65].

8.4 Pevnost v tahu za ohybu

Jak bylo popsáno výše, tak pevnost v tahu za ohybu je jedna z nejdůležitějších charakteristik cementových potěrů. Z toho důvodu byla provedena zkouška, která vycházela z normy ČSN EN 196–1, jež se průběhem a vyhodnocením této zkoušky zabývá. Použité zkušební trémkové vzorky měly rozměry 160 × 40 × 40 mm. Samotná zkouška následovala ihned po naměření dynamických modulů pružnosti. Potřebné rozměry byly přejaty z již provedeného měření objemové hmotnosti.

Pro provedení této zkoušky byl zapotřebí hydraulický lis, který se nachází v silniční laboratoři ČVUT na Fakultě stavební. Do tohoto lisu byla vložena příslušná vložka, která měla 2 podpory s jejich vzájemnou vzdáleností 100 mm při spodním okraji a 1 zatěžovacím segmentem umístěným v polovině horního okraje tzv. tříbodové nastavení zkoušky. Na podpory se následně umístil zkušební vzorek (viz Obr. 20) s tím, že bylo nutné dodržení stejných přesahů za oběma podporami. Následně bylo pomocí připojeného počítače spuštěno zatěžování rychlostí 3 mm/min, až do finálního porušení vzorku. Samotný počítač zaznamenával sílu zatěžování v průběhu zkoušky. Nejvyšší dosažená síla v momentu porušení trémce byla zapsána. Poté byla dopočítána pevnost pomocí vzorce (5), který je uveden níže.

$$f_t = \frac{3 \cdot F_{b,max} \cdot L_s}{2 \cdot a \cdot b^2}, \quad (5)$$

ve kterém je:

f_t vypočtená pevnost v tahu za ohybu zkušebního trémce [MPa],

$F_{b,max}$ maximální síla při okamžiku porušení [N],

L_s vzdálenost podpor vložky [mm],

a šířka zkušebního trémce [mm],

b výška zkušebního trémce [mm].



Obr. 20 – Zkušební zařízení k měření pevnosti v tahu za ohybu, tvorba vlastní

8.5 Pevnost v tlaku

Neméně důležitou charakteristikou je pevnost v tlaku, které je nutná pro zařazení cementového potěru do tříd. Po provedení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu vznikly z každého zkušebního trámce 2 poloviny, které byly použity pro zkoušku pevnosti v tlaku. Ta vycházela také z ČSN EN 196–1.

Pro provedení této zkoušky byl nutný zkušební lis, který se nacházel v prostorech silniční laboratoře ČVUT na Fakultě stavební. Dále vložka určená pro tyto účely s 2 vymezenými čtvercovými dosedacími plochami o velikosti 40 × 40 mm. Přelomený vzorek se vložil hladkými stranami na očištěné plochy vložky a pomocí regulační páky na zařízení lisu bylo spuštěno zatěžování. To probíhalo velmi pomalu, aby bylo docíleno co nejpřesnějších výsledků. Samotné zaznamenávání síly probíhalo vizuálně přímo na zkušebním zařízení. V okamžiku porušení vzorku (viz. Obr. 21) byla výsledná síla ukázána rafičkou na stupnici a hodnota zapsána. Po rozdrcení všech zkušebních vzorků byla na základě všech vstupních údajů, kterými byly rozměry vzorků, velikost dosedacích ploch a výsledné síly, dopočítána pevnost v tlaku podle vzorce (6).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (6)$$

ve kterém je:

f_c pevnost v tlaku zkušebního trámce [MPa],

F síla v momentě porušení trámce [N],

A_c zatěžovaná plocha lisu [mm²].



Obr. 21 – Zkušební lis s vloženým vzorkem, tvorba vlastní

9 Vstupní materiály a vzorky

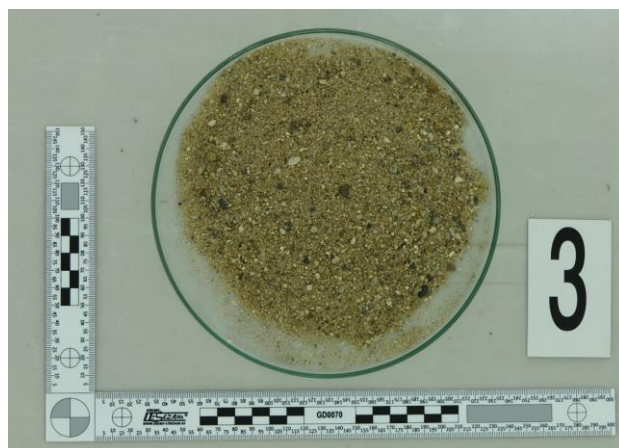
Tato kapitola je vyčleněna pro popis samotných materiálů, které jsou popsány v podkapitole 9.1. Tyto materiály jsou dále rozčleněny na použitá drobná kameniva a cement. Dále jsou v této kapitole popsány výrobní směsi (podkapitola 9.2), které byly navrženy v rámci této diplomové práce, postup výroby a způsob skladování vyrobených vzorků (podkapitola 9.3) po celou dobu experimentů.

9.1 Popis materiálu

V rámci této diplomové práce byla využita řada materiálů, které jsou nutné pro výrobu cementových potěrů. Základním materiálem, který je v současnosti využíván jako plnivo, je přírodní písek a jako pojivo slouží cement. Jak bylo již dříve řešeno, tato práce se zabývá recyklovanými kamenivy a z toho důvodu jsou v této kapitole popsány recykláty betonové, cihelné a směsné. V závěru představení plniv je doplněno několik obrázků o jejich zjištěné křivce zrnitosti a obsahu odplavitelných částic, které byly předmětem mé bakalářské práce, případně jiných výzkumů prováděných v rámci Fakulty stavební. Tyto charakteristické vlastnosti budou použity v části výsledků a diskuze.

9.1.1 Přírodní drobné kamenivo

Pro směsi s označením REF, byl použit přírodní písek, který byl definován úzkou frakcí s velikostí zrn od 0 do 4 mm. V rámci této diplomové práce byl písek odebrán ze zásobníků na sypký stavební materiál v betonářské laboratoři na Fakultě stavební ČVUT. Písek dodala společnost Cemex z její štěrkovny Dobříň, která se nachází u Roudnice nad Labem. Pro samotný písek byl proveden přibližný snímek z mikroskopu a současně fotografie samotného materiálu v Petriho misce (viz Obr. 22).



Obr. 22 – Přírodní drobné kamenivo, tvorba vlastní

9.1.2 Betonový recyklát

Betonový recyklát (viz Obr. 23) pocházel z recyklačního střediska ve vlastnictví Moravostav Brno, které přijímalo betonový stavební odpad. Při vstupu do střediska byl odpad důkladně kontrolován, aby byla zajištěna jeho čistota a neznečištění jiným druhem odpadu. V případě příměsí cihel a větších kusů betonu byly tyto části odstraněny a uskladněny separátně. Předčištěný betonový odpad byl následně podrcen na čelistovém drtiči a pomocí magnetických separátorů byl zbaven kovového odpadu. Pro účely této diplomové práce byla dodána frakce 0/4 mm.



Obr. 23 – Betonový recyklát, tvorba vlastní

9.1.3 Cihelný recyklát

Tento druh recyklovaného kameniva poskytla společnost Moravostav. Přijímaný odpad byla čistá cihelná suť, která pocházela z ruční demolice. U té bylo dbáno na čistotu získané cihelné suti. Limitní znečištění bylo stanoveno na maximálně 10 %, a to omítkovými směsmi. Takto připravený recyklát byl podrcen čelistovým drtičem a roztříděn na několik frakcí, přičemž v rámci této práce byla použita zrna od 0 do 4 mm (viz Obr. 24).



Obr. 24 – Cihelný recyklát, tvorba vlastní

9.1.4 Směsný recyklát

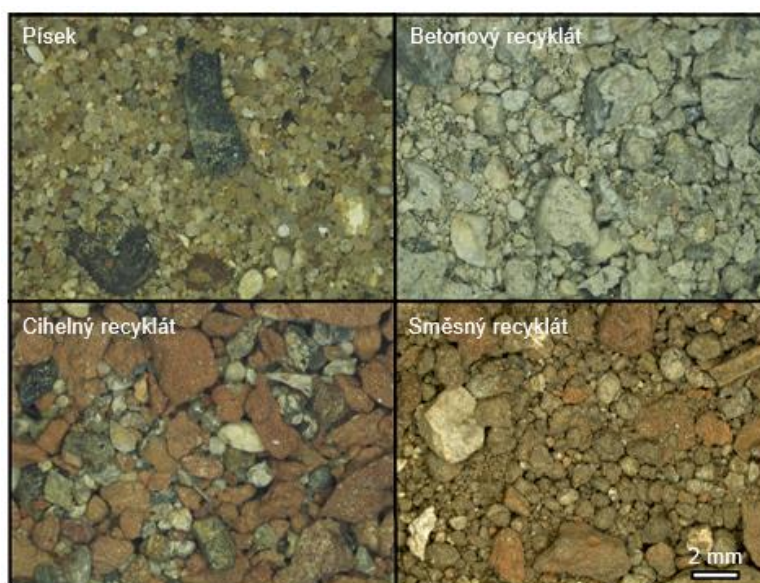
Jedná se o poslední dodaný recyklát, který dodala taktéž společnost Moravostav Brno. Jeho původ je z Moravy, konkrétně se jedná o oblast, ve které probíhala živelná katastrofa v podobě tornáda z roku 2021. Samotný recyklát vznikl z velice znečištěného SDO. Nacházelo se v něm velké množství znečištění (dřevo, plasty, potrubí). Toto znečištění bylo následně ručně separováno a takto předčištěný odpad pokračoval k nadcení pomocí čelistového drtiče a vytřídění na několik frakcí. Pro účely diplomové práce byla použita pouze frakce 0/4 mm (viz Obr. 25).



Obr. 25 – Směsný recyklát, tvorba vlastní

Snímky z mikroskopu

Pro zjištění tvaru jednotlivých zrn použitých kameniv bylo nutné přiblížení pomocí mikroskopu (viz Obr. 26), který umožňoval podrobnější prostudování struktury a zastoupení jednotlivých zrn včetně možného znečištění jinými látkami.

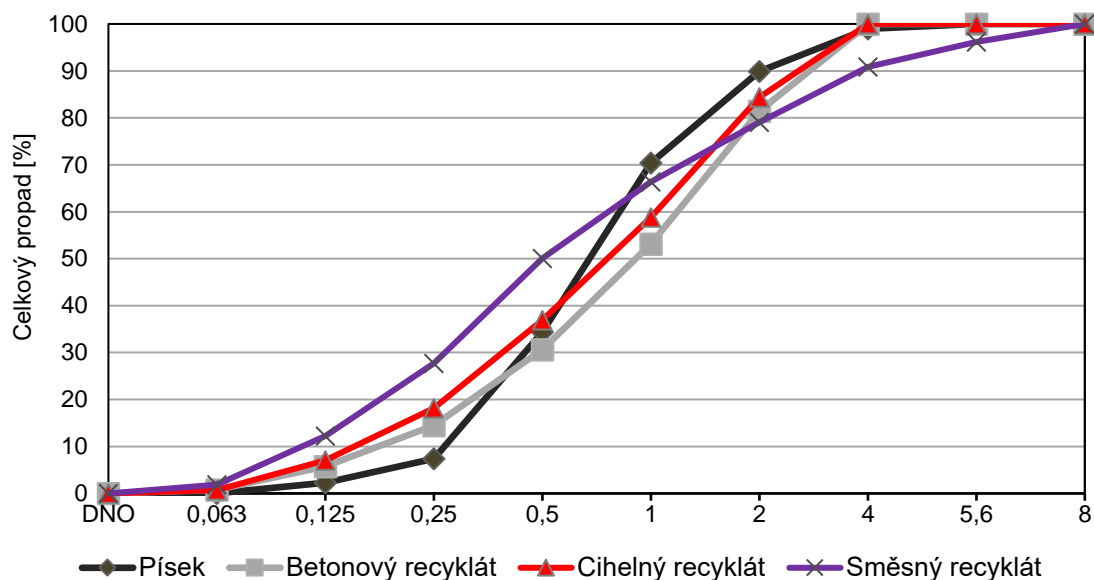


Obr. 26 – Snímky použitých kameniv z mikroskopu, tvorba vlastní

9.1.5 Vlastnosti použitých kameniv

Křivka zrnitosti

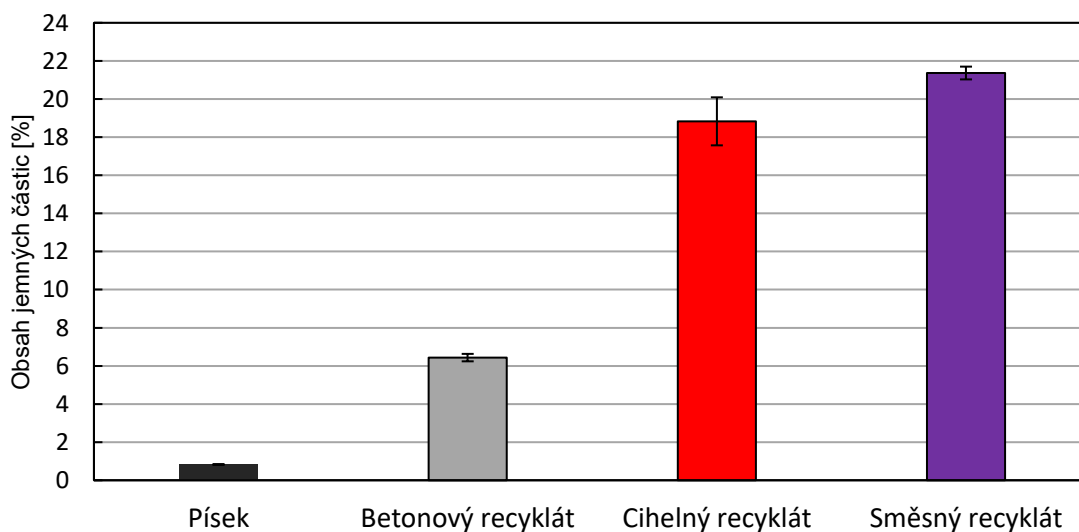
Zkoušky, které byly dříve na kamenivech provedeny, popisují křivky zrnitosti pro jednotlivá použitá kameniva. Na jejich základě lze odvozovat souvislosti a vliv zastoupení jednotlivých frakcí na vlastnosti cementových potěrů.



Obr. 27 – Křivka zrnitosti použitých kameniv, tvorba vlastní

Odplavitelné částice

Na základě provedených zkoušek, které nebyly náplní této práce, je známo zastoupení odplavitelných částic u použitých kameniv. Za zmínku stojí především vysoké zastoupení velmi jemných částic, které mohou mít vliv na některé vlastnosti vyráběných směsí.



Obr. 28 – Obsah jemných částic použitých kameniv, tvorba vlastní

9.1.6 Cement

Jako pojivo do směsí byl při výběru zvolen cement Portlandský s označením CEM I 42,5 R, který pochází od společnosti Českomoravský cement, konkrétně z výrobního závodu Radotín. Z webových stránek společnosti je možné stáhnout bližší specifikaci samotného cementu, která je vidět na Obr. 29. Na tomto obrázku jsou popsány jeho fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti.

Fyzikální a mechanické vlastnosti				Chemické vlastnosti		
Parametr		Průměrné dosahované hodnoty	Metoda / poznámka	Parametr	Průměrné dosahované hodnoty	Metoda / poznámka
Pevnost v tlaku [MPa]	1 den	15,6	EN 196-1	Obsah SO ₃ [%]	3,05*	EN 196-2
	2 dny	30,3*	EN 196-1	Obsah Cl ⁻ [%]	0,082*	EN 196-2
	7 dní	49,4	EN 196-1	Na ₂ O ekvivalent [%]	0,55*	EN 196-2
	28 dní	60,3*	EN 196-1	Nerozpuštěný zbytek [%]	0,99*	EN 196-2
	56 dní	63,9	EN 196-1	Ztráta žíháním [%]	3,27*	EN 196-2
	90 dní	65,9	EN 196-1			
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1 den	3,4	EN 196-1	*Průměrné hodnoty získané z měsíčních statistických dat za rok 2022		
	2 dny	5,7*	EN 196-1			
	7 dní	8,1	EN 196-1			
	28 dní	9,2*	EN 196-1			
	56 dní	9,4	EN 196-1			
	90 dní	9,4	EN 196-1			
Normální konzistence [%]		28,4*	EN 196-3			
Počátek tuhnutí [min]		205*	EN 196-3			
Konec tuhnutí [min]		287*	EN 196-3			
Objemová stálost [mm]		1,5*	EN 196-3, Le Chatelier			
Měrný povrch [m ² ·kg ⁻¹]		363*	EN 196-6, Blaine			
Měrná hmotnost [kg·m ⁻³]		3150	EN 196-6			
Sypná hmotnost [kg·m ⁻³] - v autocisterně		970	Přibližná hodnota při uložení cementu do cisterny.			
Sypná hmotnost [kg·m ⁻³] - v síle		1200–1600	Odhad při uskladnění v síle. Mění se v závislosti na míře setřesení cementu, době uskladnění nebo velikosti a zaplnění síla.			
Hydratační teplo [J·g ⁻¹]	7 dní	338	EN 196-11			

Obr. 29 – Vlastnosti cementu CEM I 42,5 R z Radotína, převzato z [67]

Výrobce cementu ke svému produktu přikládá také tabulku (viz Obr. 30), ve které je popsána vhodnost cementu pro použití v různých prostředích. Z obrázku je patrné, že cement s označením CEM I 42,5 R je vhodný pro všechny aplikace a splňuje legislativní požadavky, které jsou na něj ukládány.

Použití cementu dle stupňů vlivu prostředí podle ČSN P 73 2404																	
Bez rizika	Koroze způsobená karbonátací				Působení chloridů (ne z mořské vody)			Střídavé působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí			Obrus		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ ^{a)}	✓ ^{a)}	✓	✓	✓

Obr. 30 – Použití cementu podle druhu prostředí, převzato z [67]

9.2 Popis směsí

Při navrhování složení jednotlivých směsí se vycházelo z cíle, kterým bylo zjištění, jaký vliv mají recyklovaná drobná kameniva a různé zastoupení cementu na základní charakteristiky čerstvé a současně na již zatvrdlé směsi.

Pro účely této práce byly dodány 3 druhy recyklátů s frakcí 0/4 mm. Tato kameniva byla podrobně popsána již v předchozí kapitole, ale pro připomenutí se jedná o betonový, cihelný a směsný recyklát. Samotné směsi vycházejí ze znalosti objemové hmotnosti vyschnutých cementových potěrů, která je průměrně 2100 kg/m³. Na základě toho bylo určeno pro referenční cementové potěry (REF xx) 10, 15, 20 a 25% hmotnostní zastoupení cementu a zbytek připadal na přírodní písek. A základě znalosti objemové hmotnosti písku a recyklátů došlo k přepočtu hmotnosti pro zbývající směsi, avšak s ponecháním původního množství cementu.

Množství použité vody vycházelo vždy z několika zkušebních rozlivů směsi za účelem dosažení průměrného rozlivu od 150 do 170 mm. Následně bylo zjištěné množství vody použito pro samotnou výrobu originálních zkušebních těles. Finální podoba jednotlivých směsí použitých v této práci je vidět níže v Tab. 18.

Tab. 18 – Směsi pro výrobu vzorků, tvorba vlastní

[kg/m³]	Cement	0/4 Přírodní	0/4 Betonový	0/4 Cihelný	0/4 Směsný	Voda
REF 10	210	1890				331
REF 15	315	1785				307
REF 20	420	1680				284
REF 25	525	1575				272
B 10	210		1524			290
B 15	315		1438			277
B 20	420		1354			300
B 25	525		1270			319
C 10	210			1524		402
C 15	315			1438		396
C 20	420			1354		407
C 25	525			1270		399
S 10	210				1524	408
S 15	315				1438	399
S 20	420				1354	411
S 25	525				1270	414

9.3 Výroba a skladování

V první řadě bylo nutné navážení správného množství všech potřebných složek, které bylo pro každou směs popsáno v předchozí kapitole. K tomu byla použita laboratorní digitální váha s přesností $\pm 0,1$ g a pro samotné míchání byla využito laboratorního stolního mísícího zařízení.

Postup výroby vychází z normy ČSN EN 13892–1. Výroba byla zahájena vysypáním cementu do nádoby mísícího zařízení. Na stroji byla nastavena rychlost míchání 1 (nejpomalejší). Poté bylo zařízení zapnuto a během prvních 10 sekund byla přidána všechna voda. Míchání pokračovalo ještě dalších 20 sekund. Poté byla na zařízení nastavena rychlost 2 (střední) a za chodu přidáváno kamenivo, na které je vyhrazeno dalších 30 sekund. Po 60 sekundách od zahájení prvního míchání byl pomocí gumové stěrky oškrábán nanesený materiál na stěnách nádoby. Na tento úkon bylo vyhrazeno 90 sekund. Následovalo finální promíchání směsi, které bylo znovu provedeno, na rychlost 2 po dobu 60 vteřin.

U namíchané směsi byla otestována konzistence směsi, jejíž postup byl popsán v metodice pro laboratorní část. Při splnění požadovaného rozlivu směsi se směs vkládala do připravených ocelových trojforem o vnitřních rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm, které byly předem opatřeny vrstvou odformovacího oleje pro usnadnění budoucího odformování vzorků. Samotné plnění bylo provedeno ve dvou vrstvách, přičemž každá z vrstev byla zhutněna 20 rázy. Přebytečný materiál byl z vrchu formy odstraněn a povrch uhlazen pomocí široké špachtle. Takto připravené a naplněné formy byly následně obaleny do fólie, aby nedošlo k výraznému odparu vody ze vzorku, a po dobu 24 hodin ponechány při teplotě vzduchu 21°C .

Po 24 hodinách byly formy rozebrány, vzorky popsány a vloženy do nádoby s vodou o teplotě 20°C , ve které byly ponechány po dobu 7 dní. Po této době byly vzorky z nádoby vyjmuty a uskladněny v laboratoři při teplotě vzduchu 21°C a vzdušné vlhkosti 65 %. Takto se postupovalo především z důvodu přiblížení se povětrnostním podmínkám na stavbě.



Obr. 31 – Uložení zkušebních vzorků v průběhu experimentů, tvorba vlastní

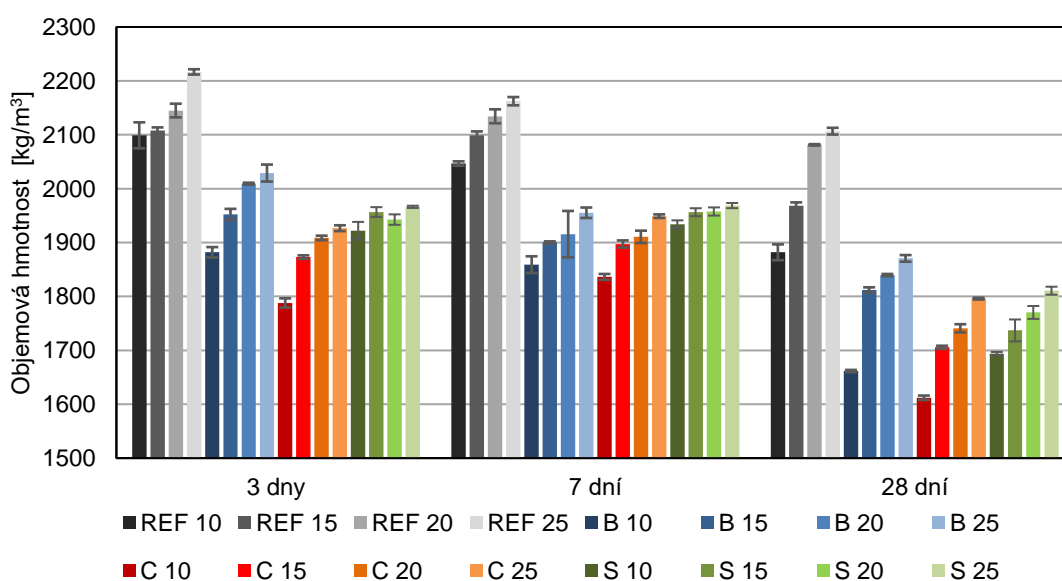
10 Výsledky a diskuze experimentální části

V této kapitole diplomové práce jsou popsány výsledky zjištěné na zkušebních trámcích o velikosti 160 × 40 × 40 mm nebo jejich částí na základě zkoušek popsanych v kapitole 8. Po představení výsledků každé ze zkoušek následuje porovnání mých závěrů s dalšími výzkumníky, kteří se podobným tématem zabývali.

10.1 Objemová hmotnost

Obr. 32 shrnuje výsledky z měření, které probíhalo po 3, 7 a 28 dnech. V prvních dvou termínech se jedná o zkušební trámce, které byly uskladněny pod vodou. To vysvětluje vysoké hodnoty oproti měření po 28 dnech, neboť vzorky byly vysušeny, jelikož byly po dobu 3 týdnů uskladněny na vzduchu.

Při pohledu na množství použitého cementu u jednotlivých směsí je vidět, že se objemová hmotnost vzhledem k vyššímu zastoupení pojiva ve směsi lineárně zvyšuje o 20 – 50 kg/m³ s každým 5% hmotnostním navýšením množství pojiva. To je způsobeno vyšší objemovou hmotností cementu oproti použitým plnivům. Pokud porovnáme veškeré směsi s použitím recyklovaných kameniv, je možné říci, že dosahují ve všech případech nižších hodnot než směsi s pískem, a to až o 300 kg/m³. Nejnižších hodnot dosahuje cihelný a směsný recyklát. Důvodem je nízká objemová hmotnost samotných recyklátů, což může mít negativní vliv na další vlastnosti. Naopak při použití betonového recyklátu jsou hodnoty vyšší. Z hlediska porovnání krátkodobých (3 dny) a dlouhodobých (28 dní) objemových hmotností dochází vlivem vysychání a zrání cementové malty ke snižování hodnot této charakteristiky o 150 – 250 kg/m³ v průběhu času.



Obr. 32 – Objemová hmotnost, tvorba vlastní

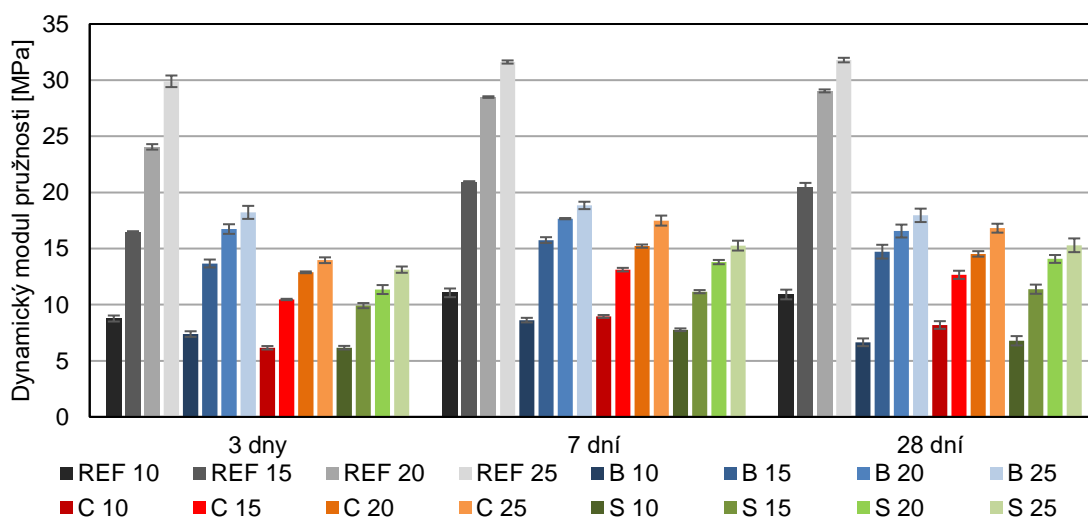
Objemovou hmotností se zabývali také další výzkumníci, kteří se shodují na tom, že využívaná recyklovaná kameniva mají vzhledem ke své nižší objemové hmotnosti, které jsou dány především pórovitostí těchto kameniv, vliv na nižší hodnoty této veličiny. To potvrzují v případě betonového recyklátu například výzkumníci Katz [58] a Neno [59], kteří jsou doplněni o závěry z literatury [38]. V případě cihelného recyklátu se na tom shodují Ortiz [62], Silva s kolektivem [60] a Jiménez [63]. Pro směsný recyklát nebylo možné dohledat výzkumy, které by dříve popsané závěry potvrzovaly, ale vzhledem k obdobným objemovým hmotnostem kameniv se dají logicky potvrdit.

Shrnutí: Směsi s použitím recyklovaných kameniv dosahují výrazně nižších objemových hmotností, jak několik dní od namíchání, tak i po 28 dnech. Toho je prakticky možné využít například u rekonstrukcí starých objektů, u kterých jsou kladeny požadavky na nižší zatížení.

10.2 Moduly pružnosti

Dynamický modul pružnosti

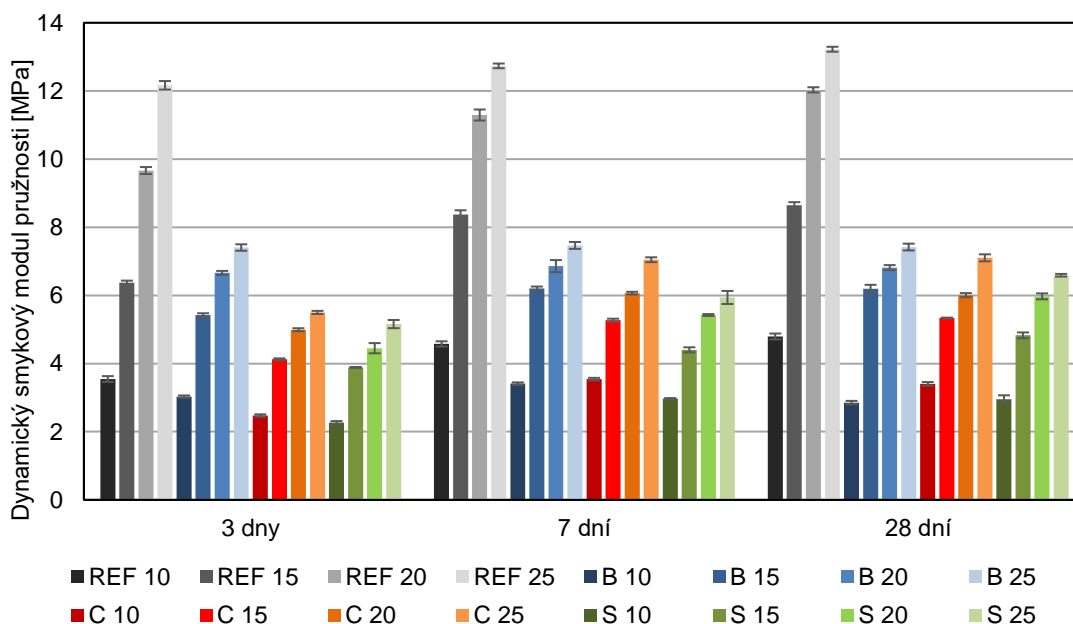
Výsledky z běžného měření dynamického modulu pružnosti byly zpracovány na základě vzorců (2) a (3), přičemž druhý zmíněný sloužil jako kontrolní. Samotné výsledky jsou zpracovány na Obr. 33, na kterém hodnoty lineárně rostou. Tento růst dosahuje maximálních hodnot u největšího zastoupení cementu. Na základě proběhlých měření je vidět celkově nižší hodnoty po 3 dnech od výroby, naopak po 7 a 28 dnech jsou hodnoty podobné, což je způsobeno použitým druhem cementu. Jedná se o cement s označením R, tudíž s rychlým nárůstem pevnosti. Směsi s použitím recyklovaným kamenivem dosahují výrazně nižších hodnot než směsi REF, což může být způsobeno pórovitostí použitého recyklovaného kameniva. Nejlepších výsledků dosahuje betonový recyklát následovaný cihelným a směsným recyklátem.



Obr. 33 – Dynamický modul pružnosti, tvorba vlastní

Dynamický smykový modul pružnosti

Vypočtené výsledky pro smykový modul pružnosti jsou znázorněny na Obr. 34. K nárůstu hodnot dochází u všech směsí v závislosti na množství cementu. Tento růst je vidět ve sloupci 3 dny a 7 dní, přičemž ve 28 dnech u všech směsí s recykláty dochází ke stagnaci. Pouze v případě směsi REF 20 a 25 dochází k mírnému nárůstu. Z výsledků je patrné, že samotný smykový modul roste s množstvím použitého cementu. Maximálních hodnot dosahují směsi REF. Na základě výsledků je zajímavé, že v případě 10% zastoupení pojiva dochází u všech směsí k výraznějšímu poklesu hodnot. Jinak je tomu u 15, 20 a 25 %, kde je nárůst u směsí s recyklovanými kamenivy lineární. Směsi, které obsahují recyklovaná kameniva, vykazují v porovnání se směsmi REF v některých případech až o 40 % nižší smykové moduly. Rozdíl v modulech je nejvyšší u použití betonového recyklátu, naopak nejhůře dopadl recyklát směsný, což může být vlivem výrazného zastoupení velmi jemné frakce případně znečištěním.



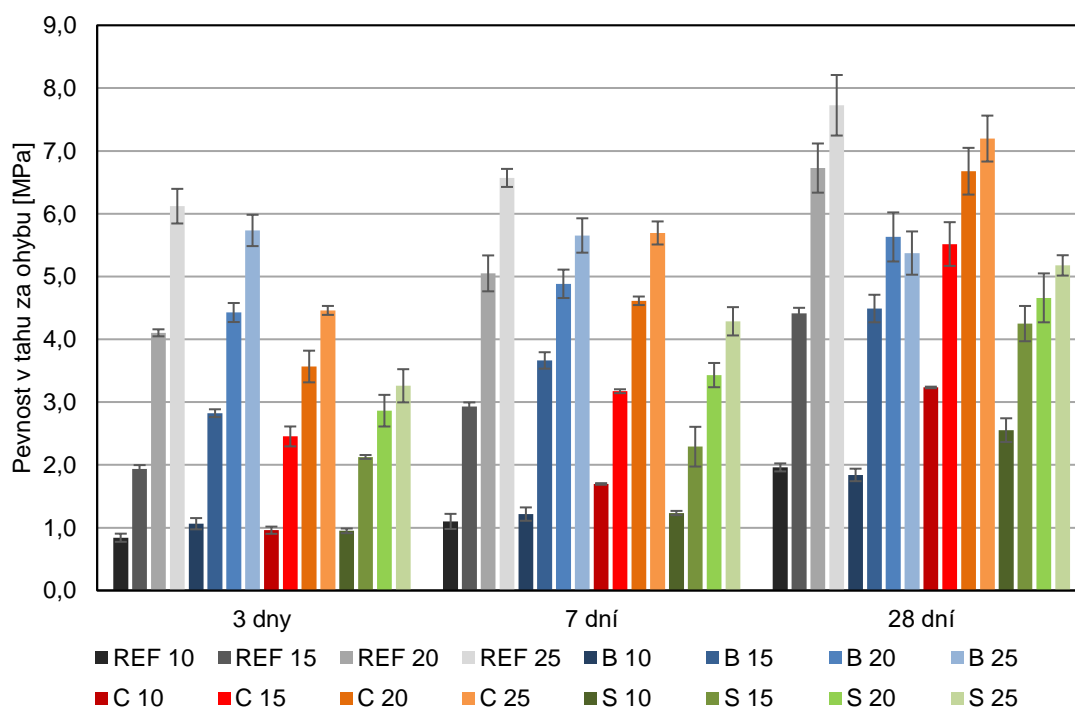
Obr. 34 – Dynamický smykový modul pružnosti, tvorba vlastní

Na základě výzkumů a článků, které byly provedeny v rámci zkoušek pro zjištění dynamických modulů, se závěry shodují, že jakékoliv používání recyklovaných kameniv má vliv na snížení hodnot samotných modulů. Na jejich velikost má vliv také množství použité vody, což potvrzuje literatura [38] a u betonového recyklátu Silva [60] s Topcu [61]. Pro cihelný recyklát toto potvrzuje Silva a kol. [60].

Shrnutí: Množství cementu má výrazný vliv na hodnotu dynamických modulů pružnosti. Hodnoty rostou s vyšším zastoupením pojiva. Použití recyklovaných kameniv má za následek nižší dynamické moduly, než je tomu v případě písku. Z vybraných recyklátů dosahuje nejlepších hodnot betonový recyklát a nejhorších směsný recyklát.

10.3 Pevnost v tahu za ohybu

Z výsledků, které znázorňuje Obr. 35, je ve všech případech patrné, že vyšší zastoupení cementu má pozitivní vliv na pevnost v tahu za ohybu ve všech aplikacích a nárůst se dá považovat za pravidelný. Při pohledu na krátkodobé pevnosti (3 a 7 dní) dokonce směsi C 10, C 15, B 10 a B 15 vykazují větší odolnost vůči porušení než REF 10 a REF 15. Z hlediska stavebního zatížení po 3 dnech od pokládky s použitím recyklátů se jeví velice zajímavě směsi s 15, 20 a 25 % hmotnostního zastoupení cementu, neboť splňují požadavek minimálně 2 MPa. Naopak směsi se zastoupením pouze 10 % cementu nejsou pro rychlé zatížení zcela vhodné. Velice pozitivně lze hodnotit cihelný recyklát (C), neboť vlivem dobrého poměru jemných částic dochází po 28 dnech u všech jejích směsí dokonce k překonání nebo blízkému přiblížení směsím REF. V případě porovnání pevností po 28 dnech se nejperspektivněji jeví právě směsi C, které jsou následovány směsmi B, jejichž pokles se blíží až k 1,5 MPa. Nejhorší směsi jsou ty, které využívají směsný recyklát, a to i přes vysoké procento zastoupení jemných částic, které by měly pevnosti v tahu za ohybu naopak pomáhat. Případně může mít na snížení pevnosti vliv také složení použitého recyklovaného kameniva. Za zmínku stojí především srovnatelné nebo vyšší pevnosti směsí s 15% zastoupením cementu. Tato hranice se jeví jako nejvhodnější pro případné budoucí aplikace z hlediska ušetření finančních nákladů a dosažení shodných (betonový a směsný recyklát) nebo lepších (cihelný recyklát) vlastností.



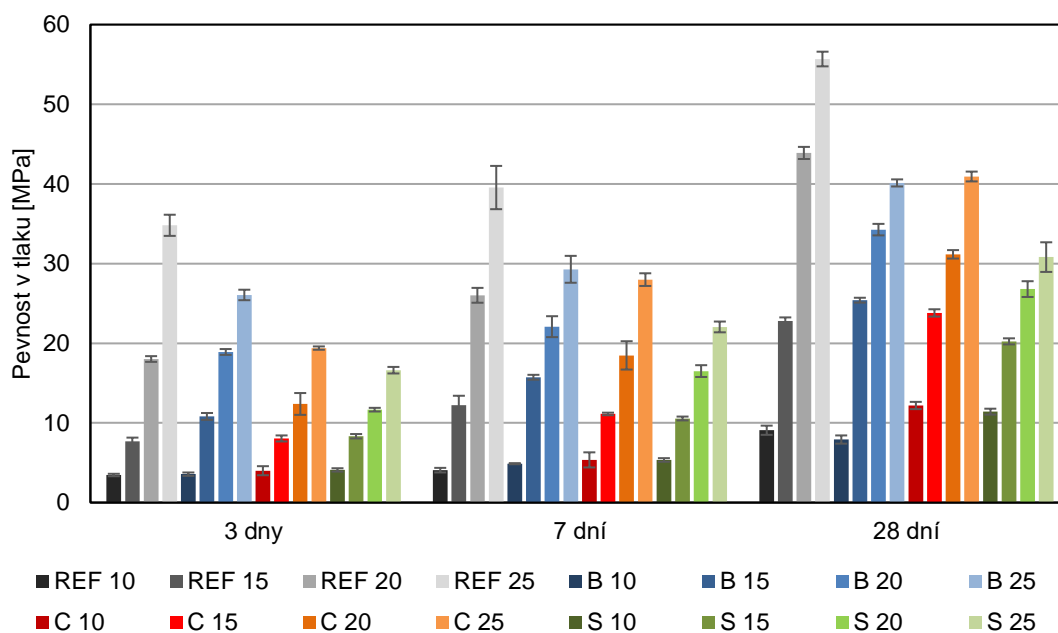
Obr. 35 – Pevnost v tahu za ohybu, tvorba vlastní

Dřívější závěry výzkumníků, kteří se zabývali pevností v tahu za ohybu, se rozdělují do dvou skupin. První skupina došla k závěru, který přisuzuje pevnost směsi právě tvaru zrn recyklovaných kameniv, neboť ostrohranná zrna mají pozitivní vliv na zvyšování pevnosti a současně zaleží i na zastoupení jednotlivých frakcí kameniva. Tudiž i samotná pevnost se může přibližovat referenčním směsem, což potvrzuje Nováková [32]. Další skupina se shoduje na tom, že jemné částice mohou mít pozitivní vliv na samotnou pevnost, avšak při vysokých zastoupeních už se může pevnost snižovat, jak tvrdí Nováková [32] a Jiménez [63]. Ale například Castaño-Cardoza [43] ve svých závěrech poukazuje na to, že vlivem jemných částic stoupá i potřeba množství záměsové vody, což může mít vliv na vlastnosti směsi nebo na přidání plastifikační látky. Avšak obecně se výzkumy shodují spíše na nižší pevnosti v tahu za ohybu při použití recyklovaných kameniv, přičemž nejvhodněji pro použití vycházejí betonový s cihelným recyklátem.

Shrnutí: Směsi s použitím recyklovaných kameniv mají nižší pevnosti v tahu za ohybu oproti přírodnímu plnivu. Z pohledu výsledků pevnosti v tahu za ohybu se jeví nejlépe využití cihelného recyklátu pro svůj vyšší obsah vhodných jemných částic. Z hlediska podobnosti výsledků s REF po 28 dnech jsou srovnatelné směsi s 15 % hmotnostního zastoupení cementu. Směsi s betonovým a směsným recyklátem vykazují výrazně horší výsledky u 5 a 20 % zastoupení cementu po 28 dnech. Naopak cihelný recyklát vykazuje shodné nebo jen mírně nižší pevnosti při srovnání s REF.

10.4 Pevnost v tlaku

Výsledky této zkoušky jsou vidět na Obr. 36. Při pohledu na vliv množství cementu na samotnou pevnost v tlaku je možné poznat, že s rostoucím množstvím cementu dochází k růstu pevností ve všech intervalech zkoušek. Za zmínku stojí pevnosti po 3 dnech, u kterých směsi s 15 % hmotnostního zastoupení cementu dokonce převyšují REF 15. Tento trend je možné pozorovat také po 28 dnech, kde pouze S 15 zaostává za REF 15. Na základě toho právě tyto směsi skrývají velký potenciál, neboť náhradou plniva nedochází k výraznému zhoršení pevností v tlaku. Především se pro tyto účely hodí betonový a cihelný recyklát. Směsi, které obsahují recyklovaná kameniva a alespoň 20 % cementu, mají nižší pevnosti než směsi s označením REF 20 a REF 25, a to po 7 dnech a také po 28 dnech, které tuto skutečnost potvrzují. Z toho lze usuzovat, že horní hranice efektivního využití cementu je 15 % v kombinaci se 100% objemovým nahrazením písku za recykláty, aby bylo dosaženo obdobných pevností v tlaku. Pokud je ve směsi hmotnostní zastoupení pouze 10 % cementu, je možné vidět, že směsi dosahují velmi malých pevností a jejich využití je velmi nepraktické vzhledem k velmi nízkým pevnostem po 28 dnech.



Obr. 36 – Pevnost v tlaku, tvorba vlastní

Na základě provedených výzkumů se někteří výzkumníci shodují na tom, že i v případě pevnosti v tlaku má pozitivní vliv na samotnou pevnost recyklát, který obsahuje ostrohranná zrna, neboť ta společně s cementovou pastou vytvoří lepší vzájemné propojení [32]. U betonového recyklátu se výsledky při správně zvoleném poměru složek rovnají referenčním směsem, což je potvrzeno Novákovou [32]. Další vliv mají také jemné částice, které ve směsi pozitivně působí na vyplnění mezer. Ty by jinak zůstaly prázdné, což potvrzuje také Nováková [32]. U cihelného recyklátu přišel Jiménez [63] na to, že jemné částice tohoto druhu recyklátu mají také výrazný vliv na pevnost v tlaku, avšak pouze u náhrad do 40 % písku, kde dokonce dochází k překonání referenčních směr. Obecně se však velké množství výzkumníků shoduje na nižších pevnostech při aplikacích recyklovaných kameniv všeho druhu a zároveň používání většího množství záměsové vody. To potvrzuje Mora-Ortiz [62], Katz [58], Silva a kolektiv [60]. Nejhorší je však hodnocení směsný recyklát, a to pro svoje vysoké zastoupení nevhodných jemných částic s dopadem především na pevnost v tlaku, jak potvrzuje Castaño-Cardoza [43]. Heidari [44] na základě svých závěrů dokládá, že při použití většího množství cementu dojde k mírně pozitivnímu vlivu na pevnost.

Shrnutí: Recyklovaná kameniva mají výrazný vliv na snižování pevnosti v tlaku. Mezi velmi zajímavé směsi z hlediska praktického využití a dosahování podobných pevností po 28 dnech se jeví ty, ve kterých je hmotnostně zastoupeno alespoň 15 % cementu. Betonový a cihelný recyklát vykazují mírně lepší výsledky než směsný. Hmotnostní zastoupení 20 a 25 % cementu ve směsi se může jevit jako neekonomické z hlediska použití recyklátů a k získaným pevnostem.

11 Závěr laboratorní části

Vzhledem k definovaným zkušebními směsím bylo nutné zjistit vybrané vlastnosti s přihlédnutím na hmotnostní zastoupení cementu ve směsi. To bylo stanoveno na 10, 15, 20 a 25 % včetně použití 3 druhů recyklovaných drobných kameniv, kterými byly betonový, cihelný a směsný recyklát, jež objemově nahrazovaly přírodní plnivo.

Z výsledků této diplomové práce bylo dosaženo závěru, že recyklovaná kameniva mají vliv především na nízké hodnoty objemové hmotnosti s přihlédnutím k použitému množství cementu. To může působit jako výhoda v případě aplikací, kde je nutné minimalizovat zatížení, avšak na druhou stranu tato charakteristika ovlivňuje i další vlastnosti.

Zkouškami dynamických modulů pružnosti byl zjištěn dopad recyklovaných drobných kameniv na nižší hodnoty těchto modulů oproti referenčním směsím. To poukazuje na lepší odolnosti vůči vzniku povrchových trhlin. S rostoucím procentem zastoupení cementu se naopak zvyšovala hodnota modulů pružnosti, avšak nedosahovala hodnot směsí referenčních.

Pevnost v tahu za ohybu byla u použití recyklovaných kameniv v porovnání s referenční směsí snížena. Avšak velký potenciál v sobě skrývají směsi s 15 % (315 kg) cementu, neboť se všechny velmi podobají. Především směs s použitím cihelného recyklátu, který vlivem jemných částic dokonce dosahuje lepších výsledků než referenční směs.

Na pevnosti v tlaku mají negativní vliv recyklovaná drobná kameniva. Za vyzdvižení stojí především směsi s 15% hmotnostním zastoupením cementu, které vykazují velmi podobné výsledky v porovnání s referenční směsí. Jako obzvlášť výhodné lze hodnotit směsi s obsahem betonového a cihelného recyklátu, které dosahují lepších hodnot.

Na základě dílčích závěrů je možné doporučení směsí s 15 % (315 kg) cementu společně s úplným objemovým nahrazením přírodního plniva za pomoci betonového, cihelného a směsného recyklátu, neboť se jejich výsledky velmi podobají. Současně v sobě skrývají velký potenciál, a to především pohledem do budoucna, kdy bude nedostatek přírodních zdrojů kameniva.

Ekonomická část

V rámci ekonomické části této diplomové práce se zaměříme na vybrání nejvhodnějších směsí od každého použitého kameniva. Následně budou rozebrány náklady na výrobu vybrané referenční směsi v podmínkách velké betonárny, včetně popsání všech vstupních materiálů a všech nákladů, které vstupují do procesu výroby potěrových směsí na bázi cementu. Dalším krokem je výměna přírodního drobného kameniva za použité recykláty, pro které bude provedena kalkulace zaměřená na jejich pořízení. Na jejich základě je provedena kalkulace výrobních nákladů betonárny při výrobě cementových potěrů s použitím všech zmíněných druhů kameniv. Výrobní náklady každé směsi budou následně použity do rozboru cen, a to na podle vybrané položky ze softwaru KROS 4.

12 Výběr oceňovaných směsí a postup výpočtu

Na základě výsledků, které byly popsány v kapitole 10, byly vybrány potěrové směsi s hmotnostním zastoupením 15 % cementu. Důvodem jsou především velmi podobné pevnosti v tlaku po 28 dnech, což poukazuje na velký potenciál nahrazení přírodního kameniva s dosažením obdobných sledovaných charakteristik. Také hodnoty pevnosti v tahu za ohybu jsou velice podobné a v případě použití cihelného recyklátu se tato směs jeví jako výhodnější. Na základě výše popsanych důvodů budou v této části rozebrány směsi REF 15, B 15, C 15 a S 15, jejichž charakteristiky po 28 dnech od výroby jsou shrnuty v Tab. 19 uvedené níže.

Tab. 19 – Souhrn charakteristik posuzovaných směsí, tvorba vlastní

Popis		REF 15	B 15	C 15	S 15
Objemová hmotnost	[kg/m ³]	1 968,3	1 812,0	1 705,0	1 737,0
Dynamický modul pružnosti	[GPa]	20,48	14,72	12,66	11,37
Dynamický smykový modul pružnosti	[GPa]	8,64	6,19	5,33	4,82
Pevnost v tahu za ohybu	[MPa]	4,41	4,49	5,51	4,25
Pevnost v tlaku	[MPa]	22,80	25,41	23,81	20,24

Vzhledem ke zjištěným pevnostem směsi REF 15 v tlaku po 28 dnech a statistickému posouzení výsledků se jeví tento druh směsi jako cementový potěr CT 20. Na základě průzkumu současné nabídky potěrových směsí, které nabízejí jednotlivé betonárny, bylo zjištěno, že se využívá také označení směsí C16/20, kterým se běžně označují také betonové směsi. Další označení této potěrové směsi může být CP 20, MC 20 případně CM 20. V rámci zjištění cen pro výše zmíněné druhy směsí je proveden průzkum ceníků betonáren, které fungují na území ČR, se zaměřením na jižní Čechy a proveden soupis jejich ceníkových cen pro rok 2023 bez DPH, který je vidět v Tab. 20. To je provedeno především k představení současné cenové hladiny pro cementové potěry na našem území.

Tab. 20 – Ceníkové ceny směsí srovnatelných s REF 15 pro rok 2023, tvorba vlastní

Název	Směs	Zdroj	CP 20	MC 20	C16/20	CM 20
	Provoz					
CEMEX	České Budějovice	[68]				2 940
TBG SWIETELSKY	České Budějovice	[69]		3 310		
MANE BETON	Týn nad Vltavou	[70]			3 090	
ZAPA	Tábor	[71]	3 020			
TBG SWIETELSKY	Milevsko	[72]		3 540		
Beton Hronek	Sudomeřice u Bechyně	[73]			3 070	

Při oceňování různých stavebních prací se dále využívá rozpočtářský program KROS 4, který využívá cenové soustavy ÚRS. Tento program v sobě skrývá ceníky i pro realizaci cementových potěrů s ohledem na tloušťku prováděné konstrukce a druh využitého cementového potěru. Ohledně tloušťky potěru vycházím z rešeršní části s tím, že v ekonomické části této diplomové práce uvažuji tloušťku v rozmezí 40 až 50 mm, neboť se jedná o nejčastěji aplikovanou tloušťku cementových potěrů.

Takto specifikovaným charakteristikám odpovídá položka v programu KROS 4, kterou je Potěr pískocementový tl. přes 40 do 50 mm tl. C 20 běžný. Nalezená položka byla vyhledána v databázi cenové soustavy platné pro současné období II/2023. Pro tuto položku je následně ze samotného programu vyexportován rozbor ceny, který je vidět v Příloze 1. Tento rozbor ceny je základem pro kalkulaci nákladů mé referenční směsi a také pro použití recyklovaných kameniv u zbylých směsí.

V nalezené položce popsané v Tab. 21 jsou ceny vztažené k 1 MJ, což jsou v našem případě m². Z toho vychází také jednotková cena, která v sobě nese všechny náklady spojené nákupem a zabudováním materiálu do stavby. Podrobněji je tato položka popsána v Příloze 1. V té jsou vidět jednotlivé oddíly, které nám po sečtení dají právě jednotkovou cenu za m².

Tab. 21 – Potěr pískocementový C 20, tvorba vlastní podle (programu KROS 4)

Kód položky	Popis	MJ	Množství	Jednotková cena za [m ²]
632451455	Potěr pískocementový tl. Přes 40 do 50 mm tř. C 20 běžný	m ²	1	383,95

Cílem této práce je však ocenění vstupního materiálu při použití písku a recyklovaných kameniv. Proto musí být materiálová položka (potěr cementový), která je popsána v Příloze 1, rozebrána podle kalkulačního vzorce včetně naplnění všech oddílů, které kalkulační vzorec dané položky obsahuje. Z toho důvodu je nutné teoretické představení kalkulačního vzorce pro účely výpočtu ještě před samotným začátkem ekonomických kalkulací.

Kalkulační vzorec

Ve stavebnictví slouží kalkulační vzorec k výpočtu nákladů, které jsou spojeny především s individuální kalkulací v závislosti na okolních podmínkách jednotlivých stavebních projektů. Tato kalkulace v sobě zahrnuje výpočet přímých a nepřímých nákladů, které jsou doplněny o zisk, případně riziko. Jejich součet tvoří výslednou cenu [74]. Zjednodušené schéma kalkulačního vzorce je vidět v Tab. 22. Jednotlivé oddíly budou dále vysvětleny.

Tab. 22 – Kalkulační vzorec, tvorba vlastní podle [74]

Vlastní náklady výroby	Úplné vlastní náklady výkonu	H – Hmoty	Cena
		M – Mzdy	
		S – Stroje	
		OPN – Ostatní přímé náklady	
		Subdodávky	
		Výrobní režie	
		Správní režie	
		Zisk / Riziko	

H – Hmoty

Tato skupina je tvořena hotovými stavebními materiály nebo jejich částmi a dále vstupujícími surovinami, které jsou provázány s potřebou vztaženou k provedení 1 měrné jednotky. Stavební materiály jsou v tomto případě plánovány k trvalému zabudování do stavby, případně jsou nepostradatelné vzhledem k technologii výstavby [74]. Ve většině případů se připočítává také určité procento materiálu s ohledem na případné ztráty. To způsobuje zvýšení nákladů na pořízení [75]. Součástí oddílu hmot jsou také náklady na obalové materiály stavebních hmot [74]. U hmot je počítáno také s náklady spojenými s dopravou stavebních materiálů [75].

M – Mzdy

Skupina mezd je tvořena všemi náklady, které jsou spojeny s ohodnocením pracovníků, kteří se zabývají prováděním činností v souvislosti s měrnou jednotkou produkce. Nejčastěji u mezd dochází k ohodnocení na základě odpracované doby nebo za splněný úkol. Dále jsou v této skupině zahrnuty příplatky, odměny a osobní ohodnocení, které jsou opět vztaženy k prováděné měrné jednotce [74].

S – Stroje

V této skupině se vyskytují náklady, které jsou spojeny s prací strojů, které jsou potřebné k provedení měrné jednotky [75]. Tyto náklady vycházejí z výpočtů, konkrétně ze znalosti doby práce stroje a doby, ve které je stroj nepoužívaný, což má vliv na sazbu strojhodin. Ta je dále ovlivněna technickými údaji daného stroje, včetně nákladů na opravy, provoz, odpisy, spotřebu pohonných hmot a přepravu stroje [74]. Druhou možností, jak zjistit náklady na stroje, je odborný odhad [75].

OPN – Ostatní přímé náklady

OPN zahrnují náklady, které nejsou započítány v předešlých skupinách přímých nákladů. Jsou v nich zahrnuty také náklady spojené s odvody za zaměstnance. Konkrétně se jedná o odvody na sociálním a zdravotním pojištění [75]. Sociální pojištění je hrazeno zaměstnavatelem a dle současné platné legislativy je stanoveno na 24,8 % z hrubé mzdy zaměstnance [76]. V případě zdravotního pojištění je plátcem také zaměstnavatel a počítá se jako 9 % z hrubé mzdy [77]. Dále se může jednat o náklady spojené s vnitrostaveništní přepravou výkopků a ornice ze zemních prací [75].

Subdodávky

Jedná se o skupinu, která může být součástí kalkulačního vzorce a je závislá především na specializaci a schopnosti generálního zhotovitele provádět určité činnosti. Pokud těchto činností není schopen, především z časového nebo odborného hlediska, tak si může zasmluvnit externího dodavatele neboli subdodávku. V případě, že pro generálního dodavatele je prováděná subdodávka, tak jsou k ceně subdodávky připočítávány ještě režijní náklady společně se ziskem generálního dodavatele [74].

Výrobní režie

Jedná se o skupinu nákladů, které jsou spojeny se samotným provozem a výrobou. Řadí se mezi ně mzdy pracovníků, kteří se podílejí například na řízení výroby a montáži. V případě stavebnictví se může jednat například o stavbyvedoucího. Dále se jedná o dodávky energií a vody v rámci zařízení staveniště. Pokud se jedná o výrobní zařízení například obalovny a betonárny, tak jsou ve výrobní režii obsaženy také náklady na jejich chod, obnovu a opravu. Ve spojitosti s výrobním zařízením a stavenišťem se zde mohou objevovat také náklady spojené se stroji, které slouží k přesunům materiálů v rámci celého areálu nebo stavby. Obecně se přistupuje k této režii přesným výpočtem, náklady z minulých let, stanovením na základě procentuální přírážky nebo koeficientů [74].

Správní režie

Jedná se o skupinu, která je spojována se správou a řízením podniku, tudíž se nepodílejí na výrobě. Primárně se v nich promítají mzdové náklady spojené s administrativou a vedením společnosti, které jsou reprezentovány řediteli, manažery, účetními a mnohými dalšími v závislosti na velikosti společnosti. Dále se do nich promítají náklady na provoz a vybavení kanceláří, cestovné, reklamy a mnoho jiných. Nejčastěji se správní režie definuje pomocí procentuální přírážky, koeficientem nebo v případě menších společností výpočtem [74].

Zisk

Jedná se o skupinu, která je rozdílná a u každého dodavatele stavebních prací se může lišit řádově i o několik procent. Zisk se může počítat z celkových nákladů stavby nebo také ze součtu nákladů na mzdy, stroje, ostatní přímé náklady, výrobní režie a správní režie [75]. Samotný maximální zisk není v žádném případě nikým omezen, spíše jde o to, zda je dodavatel schopen nabízené služby a produkt prodat.

13 Specifikace betonárny

V rámci této diplomové práce je uvažována betonárna, která se nachází ve městě Milevsko v Jihočeském kraji. Vlastníkem této betonárny je společnost GKS s.r.o., která na území České republiky provozuje 5 betonáren (viz Obr. 37) s průměrnou roční produkcí 15 000 m³ směsí. Společnost poskytuje také služby dopravy betonu pomocí několika autodomíchávačů, avšak tyto služby jsou poskytovány jako doplňkové a nákladově separovaně od provozu betonárny.



Obr. 37 – Mapa betonáren v ČR, tvorba vlastní podle [78]

Princip fungování betonárny

Milevská betonárna (viz Obr. 39) je standardního typu s objemem mísícího zařízení 1,5 m³ a maximálním teoretickým výkonem 65 m³/hod. V areálu betonárky se nachází skladovací kóje pro sypké stavební materiály (drobné a hrubé kamenivo), které jsou v případě uskladňování nasákavých materiálů opatřeny zastřešením. Areál se dále skládá z ploch zpevněných pomocí betonových panelů pro dodržování čistoty a usnadnění pohybu těžké techniky a autodopravy. Samotné materiály nutné pro aktuální výrobu jsou pomocí kolového nakladače ukládány do zásobníků (viz Obr. 38). Sypké materiály jsou z těchto zásobníků dopravovány do mísícího zařízení. Samotný nakladač je obsluhován 1 trvalým zaměstnancem (strojník), který se současně zabývá dodržováním čistoty v areálu betonárny. Pro uskladnění různých cementů a popílků slouží ukládací sila, z nichž je potřebné množství dopravováno pomocí šnekových dopravníků vyvedených do samotné míchačky. Jako zdroj vody pro míchání a čištění technologií slouží vodovodní přípojka, která zajišťuje stálé zásobení betonárny čistou vodou. Po namíchání směsi objednané zákazníkem je spodek míchačky opatřen otvorem, který slouží pro vyprazdňování obsahu míchačky do přistaveného autodomíchávače nebo na korbu jiného dopravního prostředku. Samotná výroba směsí je řízena plně automaticky pomocí řídicího systému umístěného v řídicí místnosti, kterou obsluhuje 1 pracovník na pozici dispečera/míchače. Ten má za úkol kontrolování správných vstupních materiálů a kontrolu na dílčích úsecích pomocí nainstalovaných čidel.



Obr. 38 – Zásobníky na sypké materiály, tvorba vlastní

Vzhledem k provozu betonárny i během zimních měsíců je nutné u záměsové vody a používaných kameniv provádět ohřev, a to především z důvodu potřeby dosažení optimální teploty obou zmíněných složek při výrobě směsí. Na této betonárně je ohřev prováděn pomocí zařízení, které využívá jako palivo naftu.



Obr. 39 – Zařízení betonárny včetně nakladače, tvorba vlastní

Vedení společnosti sídlí v areálu betonárny GKS s.r.o. Praha. To je složeno z obchodního ředitele, technologického ředitele a účetní. Obchodní ředitel má na starosti přijímání objednávek a jednání v případě velkých projektů. Dále je jeho úkolem řízení a směřování společnosti k dosahování vyšších zisků. Technologický ředitel se ve společnosti stará o rozvoj a zlepšování v oblasti výrobních technologií a zároveň se zabývá problematikou správného fungování stávajících betonáren. Účetní má na starosti veškeré činnosti v oblasti financí, které spojené s běžným fungováním betonáren. Hlavními činnostmi jsou vyřizování fakturací, nákupy a platby materiálů a výplata mezd ve společnosti.

14 Kalkulace cementového potěru – písek

V této části jsou popsány vstupní údaje, které jsou členěny podle kalkulačního vzorce. Ten byl popsán v předchozí kapitole. Údaje vstupující do výpočtu se zakládají na konzultacích s několika betonárními. Zároveň bylo umístění mé betonárny uzpůsobeno vzdálenostem a podmínkám těchto betonáren, které si přály zůstat anonymní. Z toho důvodu se jedná o přibližný odhad nákladů na výrobu cementových potěrů, které budou podkladem pro kalkulaci zaměřenou na využití recyklovaných drobných kameniv. Při samotné výrobě se dá uvažovat, že výroba betonu a potěrových směsí je časově a nákladově srovnatelná.

Přímé náklady

Hmoty

Písek: Vzhledem k umístění betonárny je nutné písek výhodně nakoupit a dopravit ho přímo do areálu betonárny. Z toho důvodu byl proveden průzkum trhu (viz Tab. 23) pro zasazení do kontextu s cenami pro konec roku 2023, s tím že je nutné brát v potaz, že tabulka je tvořena z pohledu maloodběratele a náklady na nákup písku se v porovnání s velkoodběratelem mohou lišit. Po konzultacích s několika betonárními je do tabulky doplněn sloupec, který popisuje jejich náklady spojené s nákupem samotného písku, které jsou od 180 do 300 Kč bez DPH a bez dopravy. Náklady betonárny na dopravu materiálu se pohybují od 70 do 110 Kč/t. Převoz je prováděn pomocí nákladních automobilů s korbou, která je schopná převážet 26–28 tun sypkého materiálu. Po konzultacích s přepravními společnostmi uvažují cenu za 1 km na 55 Kč [79], s tím že v ceně přepravy jsou započteny veškeré náklady společnosti. Je nutné upozornit na to, že veškeré náklady na nákup a přepravu jsou v tabulce níže zapsány bez DPH.

Tab. 23 – Náklady na nákup a dopravu písku pro rok 2023, tvorba vlastní

Přeprava 28 tun	Pískovna Planá nad Lužnicí	Pískovna Řípec	Pískovna Stráž nad Nežárkou	Data z betonáren	V rámci DP
Písek 0/4	325 Kč/t [80]	325 Kč/t [81]	235 Kč/t [82]	180 – 300 Kč/t	250 Kč/t
Vzdálenost	41,5 km	52,2 km	83,4 km	20 – 60 km	41,5 km
Přepravní náklady	55 Kč/km	55 Kč/km	55 Kč/km	–	55 Kč/km
Náklady na dopravu	81,5 Kč/t	102,53 Kč/t	163,8 Kč/t	70 – 110 Kč/t	81,5 Kč/t

Cement: V případě pořizovacích nákladů na cement je velmi komplikované získat přesné údaje, avšak v rámci diplomové práce bylo zjištěno určité cenové rozmezí za volně ložený cement s označením CEM I 42,5 R z řady cementáren, které si nepřály být v rámci zachování anonymity jmenovány. V případě přepravy cementu se využívá nákladní doprava, u které se dopravované množství pohybuje kolem 32 t a průměrné náklady v rozmezí od 160 do 300 Kč/t pro samotné betonárny. V případě mé betonárny uvažuji nákup cementu z cementárny Radotín, která se nachází ve vzdálenosti 94,5 km. Při dopravě cementu je nutné počítat s vyššími náklady za km přibližně o 5 Kč než v případě kameniva, přičemž tato informace pochází ze samotných betonáren. I v tomto případě se jedná o ceny za cement a dopravu bez DPH, které jsou popsány v Tab. 24.

Tab. 24 – Náklady na nákup a dopravu cementu pro rok 2023, tvorba vlastní

Přeprava 32 tun	Data z cementáren a betonáren	V rámci DP
CEM I 42,5 R	3 500 – 3 800 Kč/t	3 600 Kč/t
Vzdálenost	85 – 160 km	94,5 km
Přepravní náklady	–	60 Kč/km
Náklady na dopravu	160 – 300 Kč/t	177,2 Kč/t

Voda: Samotné betonárny při výrobě betonových a potěrových směsí využívají nejčastěji vodu přímo z vodovodního řadu. Ovšem některé využívají také své vlastní studny, ze kterých čerpají vodu za výrazně nižší náklady. V případě diplomové práce a uvažované betonárny využívám vodu z řadu, přičemž samotné náklady uvažuji na 115 Kč za 1 m³ [83]. Tyto náklady vycházejí z průměrných cen na území ČR pro rok 2023.

Tab. 25 – Náklady na pitnou vodu pro rok 2023, tvorba vlastní

	Data z betonáren	V rámci DP
Pitná voda	80 – 120 Kč/m ³	115 Kč/m³

Mzdy + OPN

Strojník: Při uvažování nákladů na tohoto zaměstnance vycházím z dat betonáren, se kterými byla provedena konzultace. Průměrné mzdy se pohybují od 36 000 do 43 000 Kč. Z toho důvodu ve své práci uvažuji hrubou mzdu 42 000 Kč. Zároveň je nutné připočítat také celkové náklady na zaměstnance, které jsou tvořeny odvody na zdravotní pojištění ve výši 3 780 Kč a na sociální pojištění ve výši 10 416 Kč. Po sečtení vychází náklady zaměstnavatele na 56 616 Kč, přičemž zaměstnavatel musí počítat také s dalšími náklady v případě fungování betonárny během víkendů, které se pohybují průměrně mezi 3 000 – 5 000 Kč za měsíc včetně všech odvodů. Z toho důvodu uvažuji dalších 3 500 Kč za měsíc. Po sečtení všech nákladů na mzdu vychází 60 116 Kč.

Dispečer/míchač: Některé větší betonárny mají tuto pozici rozdělenou na samostatného dispečera a míchače, ale v mém případě by se nevyplatilo platit dalšího zaměstnance vzhledem k objemu výroby. Z toho důvodu jsou povinnosti pro dané pozice sloučeny do jedné. K tomuto přistupuje i řada menších betonáren z důvodu snížení nákladů na provoz. Jedná se o pozici mírně zodpovědnější než v případě strojníka a z toho důvodu betonárny ohodnocují zaměstnance u hrubé mzdy v částkách, které se pohybují od 39 000 do 46 000 Kč. V rámci diplomové práce proto uvažuji hrubou mzdu ve výši 45 000 Kč. Při počítání odvodů zaměstnavatele vychází zdravotní pojištění ve výši 4 050 Kč a sociální pojištění dosahuje 11 160 Kč. I zde je nutné počítat s náklady na provoz betonárny během víkendů, které vychází po konzultaci s betonárnami na 4 000 Kč za měsíc. Po sečtení vychází celkové náklady na 64 210 Kč.

Stroje

Nakladač: V rámci doplňování a manipulaci s materiálem je pro popsanou betonárnu nutný nakladač, který by měl mít samotnou hmotnost alespoň 16 tun, neboť pro fungování betonárny je podle konzultací nejefektivnější. Z toho důvodu uvažuji kolový nakladač Komatsu WA380–7 s hmotností 18,51 tun s maximálním objemem lžice 6 m³ [84]. Pro samotný použitý nakladač z roku 2014, který uvažuji pro svou betonárnu, předpokládám pořizovací cenu na základě inzerovaných kolových nakladačů na 1 950 000 Kč [85]. Samotná životnost nakladače je předpokládána na dalších 10 let. Po konzultaci s betonárnami bylo zjištěno, že měsíční náklady na pohonné hmoty jsou odhadovány na 15 000 Kč. Dále je nutné počítat také s náklady na opravu stroje, které vzhledem ke stáří stroje uvažuji na 100 000 Kč za rok. Tyto náklady v sobě zahrnují především pravidelnou výměnu pneumatik, hadic, výměnu oleje, opravy pohyblivých částí. Pro případ neočekávaných poruch je přidáno dalších 50 000 Kč.

Výrobní režie

Pořízení a provoz betonárny: V nákladech spojených se zvolenou betonárnou je nutné uvažovat veškeré náklady, které jsou spojené s pořízením, provozem a údržbou betonárny. V případě pořízení betonárny, která je specifikována v předchozí kapitole, se náklady pohybují kolem 32 milionů Kč s předpokládanou životností 30 let, což činí roční náklad 1 066 666 Kč. S tím jsou spojené také náklady na provoz a údržbu, neboť technologie a součásti zařízení je nutné pravidelně vyměňovat. Z toho důvodu je vytvářena roční rezerva, která je pro danou betonárnu stanovena na 400 000 Kč. Samotný provoz v betonárně vyžaduje také elektrickou energii, která se v rámci měsíce odhaduje na 30 000 Kč. V případě zimních měsíců je u záměsové vody a kameniva nutné ohřívání, na které je uvažováno 75 000 Kč za rok.

Technolog a zkoušky: V rámci fungování betonárny je zapotřebí také odběr a provádění zkoušek na směsích. U menších betonáren je nejčastěji zasmulvněn externí technolog, který nákladově vychází na 70 000 Kč pro všech 5 betonáren, neboť technolog navštěvuje všechny v rámci celého měsíce. Tento technolog se zabývá návrhem a úpravou směsí podle druhu použití a v závislosti na používaných vstupních materiálech. Po konzultaci s betonárnami se náklady v případě mé betonárny v Milevsku pohybují kolem 350 000 Kč, a to včetně všech prováděných zkoušek v rámci roku.

Pojištění betonárny: Jako u každého zařízení je nutné pojištění pro případ živelných pohrom. V případě menších betonáren se náklady na pojištění pohybují v rozmezí 5 000 – 10 000 Kč. Z toho důvodu je pro účely této práce stanoveno pojištění na částku 8 000 Kč.

Reklamní náklady: V rámci fungování betonárny v dané lokalitě jsou nutné reklamní poutače, případně reklamní oznámení v místních novinách doplněny malými reklamními předměty v rámci podpory místních akcí. Pro tyto účely betonárny uvažují náklady do 20 000 Kč měsíčně.

Ostatní náklady: V rámci betonárny je nutné počítat také s náklady spojenými s dalšími činnostmi nezbytnými pro provoz betonárny. Mezi ně se řadí nákup ochranných osobních pomůcek pracovníků, ruční a elektrické nářadí, prostředky pro úklid a vybavení zázemí betonárny. Pro tyto potřeby je dle betonáren nutné vyhrazení alespoň 30 000 – 40 000 Kč měsíčně. V rámci této práce uvažují náklady 35 000 Kč.

Správní režie

Obchodní ředitel: V tomto případě bylo velmi složité zjistit přibližnou mzdu zaměstnance na dané pozici. Z toho důvodu vycházím v rámci diplomové práce z průměrných hrubých mezd za rok 2023 na obdobné pozici v Praze, která činí 80 662 Kč [86]. K této mzdě je nutné připočítat také náklady na zdravotní a sociální pojištění, které jsou v součtu 27 840 Kč. Při sečtení se náklady vyšplhají až na 108 732 Kč, avšak obchodní ředitel je stejný pro všech 5 betonáren a z toho důvodu je vstupující měsíční náklad 21 746 Kč.

Technický ředitel: U technického ředitele se výše mzdy v betonárnách nepovedlo zjistit, proto uvažuji hrubou mzdu na základě průměrných mezd na obdobné pozici v rámci ČR za rok 2023, která je 82 822 Kč [87]. Při započtení zdravotního a sociálního pojištění se výsledný náklad společnosti pro danou pozici dostává na 111 644 Kč. Stejně jako v předchozím odstavci je technický ředitel shodný pro všechny betonárny v rámci společnosti, tudíž v rámci dalšího výpočtu bude počítáno s částkou 22 328 Kč.

Účetní: Po konzultacích s betonárnami jsou náklady na účetní v rozmezí 45 000 – 55 000 za měsíc. Pro účely této práce usuzuji 53 000 Kč, s tím že náklady zaměstnavatele na zdravotní a sociální pojištění činí 18 444 Kč. Po sečtení se jedná o 71 444 Kč. I v tomto případě se jedná o účetní pro všechny betonárny, jak bylo řečeno v předchozí kapitole. Z toho důvodu je náklad pro moji betonárnu 14 288 Kč za měsíc.

Provoz kanceláře: Jako u provozních nákladů na betonárny je nutné i pro kancelářské prostory počítat s náklady na elektrickou energii a dalšími výdaji, které se po konzultacích s betonárnou pohybují kolem 5 000 Kč. V případě kancelářských potřeb je ve většině případů uvažováno s měsíčním nákladem 4 000 Kč, přičemž do nákladu je započten nákup kancelářského papíru, provoz tiskárny včetně náplní a další.

Právní konzultace: Vzhledem k velikosti společnosti je nutné, aby v případě problematického jednání ze strany odběratelů a v případě neshod byla společnost chráněna právníky. Z toho důvodu betonárny vykazují náklady na tento druh ochrany v částce 15 000 Kč za měsíc.

Ostatní výdaje: V rámci několika let je nutné provést renovaci kanceláří včetně vybavení. Z toho důvodu si společnost každý měsíc odkládá 20 000 Kč pro tyto účely. V případě cestování vedení společnosti je uvažováno s náklady 15 000 Kč.

Zisk

Na základě řady konzultací s betonárními se postupuje při výpočtu zisku z celkových výrobních nákladů. Při kalkulacích ceníkové ceny betonárny kalkulují s hrubým ziskem, kterého je dosahováno navýšením výrobních nákladů o 25 – 35 %. Při dodávkách svým stavebním divizím je betonárními uvažován čistý zisk 2 – 4 %. V případě velkoodběratelů, které nejsou součástí jedné společnosti, se při výpočtu zisku uvažuje 5 – 15 %. Pokud betonové a potěrové směsi odebírá maloodběratel, tak se předpokládaný čistý zisk pohybuje mezi 5 – 25 %. Samotné betonárny mnohdy uplatňují u maloodběratelů procentuální slevu z ceníkových cen v řádech 5 – 10 %. V případě velkoodběratelů se mohou slevy vztažené k ceníkovým cenám pohybovat v rozmezí 10 – 20 %. Vzhledem k široké škále situací, které mohou nastat, bude výpočet použitý v této diplomové práci počítán s navýšením výrobních nákladů o 35 % bez dalších slev, čímž dojde k výpočtu ceníkové ceny. Samotná vypočtená výsledná cena bude bez DPH.

Shrnutí

Samotné nacenění m³ směsi REF 15 bylo konzultováno s několika betonárními. Především se jednalo o přibližné zastoupení jednotlivých složek v této směsi, které odpovídá charakteristikami směrím v nabídce jednotlivých betonáren (CP 20, C16/20, CM 20, MC 20). Z toho vyplývá, že množství písku uvažované ve výpočtu je 1,785 tuny. V případě pojiva je uvažováno 0,315 tuny cementu CEM I 42,5 R. Jedinou složkou, která se od reality odlišuje, je množství samotné vody, ale v rámci výpočtu má tato složka minimální vliv na výpočet nákladů na výrobu směsi. Samotné betonárny využívají ještě plastifikační přísady, které mají náklady od 20 do 40 Kč, ale v rámci mého výpočtu budou zanedbány, neboť nebyly v rámci laboratorní části použity. Na základě těchto informací jsou v Tab. 26 na další straně popsány náklady na definovanou směs.

Z údajů, které jsou představeny v rámci mé kalkulace, vychází náklady na výrobu REF 15 o celkové částce 2 219,1 Kč bez DPH. Jedná se o potěrovou směs s označením CT – C20 na základě platné legislativy. Podle dat z betonáren se jejich výrobní náklady pohybují u směsí CP 20, C16/20, CM 20 a MC 20 v rozmezí 2 100 – 2 400 Kč/m³. Toto rozmezí je dáno lokalitou betonárny, a především náklady spojenými s nákupem materiálů, provozem zařízení, náklady na zaměstnance a na management společnosti. K mým vypočteným výrobním nákladům je připočten hrubý zisk a výsledná ceníková cena pro REF 15 je tedy: $2\,219,1 \times 1,35 = 2\,995,8$ Kč bez DPH. Tudiž na hrubý zisk zůstává: $2\,995,8 - 2\,219,1 = 776,7$ Kč bez DPH.

Tab. 26 – Výpočet ceny na 1 m³ potěrové směsi REF 15 v roce 2023, tvorba vlastní

	REF 15	Materiál	Doprava	Celkem
Písek	1,785 t	250 Kč/t	81,5 Kč/t	591,7 Kč
Cement	0,315 t	3600 Kč/t	177,2 Kč/t	1189,8 Kč
Voda	0,307 t	115 Kč/t	–	35,3 Kč
			Hmoty	1 816,8 Kč
	Měsíc	Rok	Produkce	Celkem
Strojník	60 116	721 392	15 000 m ³	48,1 Kč
Dispečer/Míchač	64 210	770 520	15 000 m ³	51,4 Kč
			Mzdy	99,5 Kč
Nakladač	–	195 000	15 000 m ³	13,0 Kč
Pohonné hmoty	15 000	180 000	15 000 m ³	12,0 Kč
Opravy	–	150 000	15 000 m ³	10,0 Kč
			Stroje	35,0 Kč
Pořízení betonárny	–	1 066 666	15 000 m ³	71,1 Kč
Opravy	–	400 000	15 000 m ³	26,7 Kč
El. Energie	30 000	360 000	15 000 m ³	24,0 Kč
Ohřev	–	75 000	15 000 m ³	5,0 Kč
Technolog	70 000	840 000	75 000 m ³	11,2 Kč
Zkoušky	–	350 000	15 000 m ³	23,3 Kč
Pojištění	8 000	96 000	15 000 m ³	6,4 Kč
Reklama v místě	20 000	240 000	15 000 m ³	16,0 Kč
Ostatní	35 000	420 000	15 000 m ³	28,0 Kč
			Výrobní režie	211,7 Kč
Obchodní ředitel	108 732	1 304 784	75 000 m ³	17,4 Kč
Technický ředitel	111 644	1 339 728	75 000 m ³	17,9 Kč
Účetní	71 444	857 328	75 000 m ³	11,4 Kč
Energie	5 000	60 000	75 000 m ³	0,8 Kč
Kancelářské potřeby	4 000	48 000	75 000 m ³	0,6 Kč
Právní služby	15 000	180 000	75 000 m ³	2,4 Kč
Renovace	20 000	240 000	75 000 m ³	3,2 Kč
Cestovné	15 000	180 000	75 000 m ³	2,4 Kč
			Správní režie	56,1 Kč
Výrobní náklady				2 219,1 Kč
Hrubý zisk	35 % z VN		2 219,1 × 0,35	776,7 Kč
Ceníková cena	bez DPH			2 995,8 Kč

15 Kalkulace cementového potěru – recykláty

V rámci této kapitoly je řešeno vykalkulování výrobních nákladů na směsi, které byly popsány v kapitole 9.2. Konkrétně se jedná o směsi B 15, C 15 a S 15. Hlavní náplní z hlediska tvorby kalkulace bylo kontaktování několika recyklačních středisek za účelem zjištění informací o provozu a samotných cenách využívaných frakcí recyklovaných drobných kameniv. V tomto případě je nutné rozebrat, co stojí za celým procesem dopravy tohoto sypkého materiálu až do areálu betonárny a s tím spojeným uskladněním pro zajištění co nejkvalitnější směsi z hlediska sledovaných vlastností.

Celá řada recyklačních středisek, které byly v rámci tvorby ekonomické části mé diplomové práce kontaktovány, se věnují zpracování SDO za účelem získání co největšího množství recyklátů s velikostí zrn alespoň 8 mm a větších. Avšak při výrobě vzniká i velké množství drobnější frakce, a to konkrétně frakce podsítné s velikostí 0 – 4 mm. Z toho důvodu řada recyklačních středisek přistupuje k této frakci jako k odpadu, přičemž v praxi nastávají 2 varianty. První a snazší varianta je, že ve svých nabídkách často nabízejí široké frakce včetně zastoupení drobného kameniva v rámci snížení nákladů. Tudíž se jedná o frakce 0/63 mm a 0/32 mm. Ve druhém případě, kdy je nutné získání frakcí 4/8, 8/16, 16/32 a 32/63 mm, se právě drobné kamenivo 0/4 mm vytřídí pomocí sítovaček a jeho cena je v porovnání s ostatními frakcemi nižší vzhledem k nízkému zájmu odběratelů. Ceny této frakce se pohybují na úrovních 20 až 50 % z ceny recyklátu vyšších frakcí.

Výše zmíněné ceny recyklátů frakce 0/4 mm byly konzultovány s recyklačními středisky a bylo zjištěno cenové rozmezí, které je využito v rámci cenotvorby nákladů na nákup recyklátů. Samotná recyklační střediska přistupují ke každému z recyklátů vzhledem k cenotvorbě a budoucímu využití jinak. To znamená, že u betonového recyklátu jsou ceny nejvyšší, neboť i jeho využití je nejefektivnější. Cihelný recyklát je oceňován na nižší částky a v případě směsného recyklátu bývá problém s nalezením alespoň nějakého odběratele. Právě z toho důvodu jsou náklady na jeho pořízení velmi nízké. Samotná cenová rozpětí recyklátů jsou popsána v Tab. 27, a to bez DPH. V rámci mé práce posuzuji dopravu recyklátů do mé betonárny v Milevsku s tím, že ve zmíněné tabulce jsou doplněny nejbližší trvalá recyklační střediska, ze kterých jsou následně uvažovány náklady na dopravu.

Další variantou, kterou lze uvažovat, je samotná recyklace přímo v okolí demolovaných objektů. To je možné vzhledem k rozšířenosti mobilních recyklačních linek. Po konzultaci s majiteli a provozovateli těchto mobilních recyklačních zařízení se

nejčastěji provádí recyklace do vzdálenosti 50 km. Na základě zmíněných okolností se vzniklý recyklát dopravuje nejčastěji na skládky a k dalšímu využití do vzdálenosti 40 km, neboť by se ekonomicky nevyplatila doprava a využití ve větších vzdálenostech. Z toho důvodu uvažují ve své práci odběr recyklátů do mé betonárny z nejbližšího recyklačního střediska, který je doplněn o několik kilometrů vzhledem k fungování mobilních recyklačních zařízení a dopravě od nich.

Vzhledem k rozdílné objemové hmotnosti písku, betonového, cihelného a směsného recyklátu se dá předpokládat, že se převážené množství bude lišit. Z podkladu prodejce recyklátů je možné vyčíst, že mezi převozem těchto sypkých směsí uvažují převáženou tonáž shodnou u všech materiálů na korbě 1 nákladního automobilu [88; 89]. Na základě uvažovaného dopravního prostředku v této práci tedy uvažují při výpočtu nákladů na dopravu 28 tun materiálu.

Tab. 27 – Náklady na recyklovaná drobná kameniva v roce 2023, tvorba vlastní

Přeprava 28 tun	SH Drtiče Drhovice	Rekultivace Písek	Mobilní recyklační zařízení	Data z recyklačních středisek	V rámci DP
Bet. rec. 0/4 mm	–	–	–	90 – 160 Kč/t	140 Kč/t
Cih. rec. 0/4 mm	–	–	–	60 – 140Kč/t	100 Kč/t
Směs. rec. 0/4 mm	–	–	–	30 – 100 Kč/t	60 Kč/t
Vzdálenost	17,1 km	33,5 km	do 40 km	–	22 km
Přepravní náklady	55 Kč/km	55 Kč/km	55 Kč/km	–	55 Kč/km
Náklady na dopravu	33,6 Kč/t	65,8 Kč/t	68,8 Kč/t	–	43,2 Kč/t

Na základě provedené kalkulace nákladů spojených s nákupem recyklátů a výsledných cen dopravy jsou tyto hodnoty využity pro samotné kalkulace směsí B 15 (viz Tab. 28), C 15 (viz Tab. 29) a S 15 (viz Tab. 30) na 1 m³. V samotném kalkulačním vzorci jsou uvažovány stejné hodnoty jako v případě výpočtu výrobních nákladů u směsi REF 15. Pouze v oddílu hmoty jsou jednotlivé položky rozepsány vzhledem k tomu, že obsahují různé zastoupení plniva a vody, které jsou popsány i v kapitole 9.2 v laboratorní části.

V případě jednotlivých kalkulací je nutné připočítat také přírážku na zisk, aby bylo možné směsi porovnat mezi sebou. Samotný hrubý zisk je u těchto směsí uvažován na 776,7 Kč jako v případě směsi REF 15, aby byl v případě betonárny zachován stejný počítaný zisk na 1 m³ vyrobené směsi.

Kalkulace pro směs s betonovým recyklátem

Tab. 28 – Výpočet výrobních nákladů na 1 m³ potěrové směsi B 15 v roce 2023, tvorba vlastní

	B 15	Materiál	Doprava	Celkem
Betonový recyklát 0/4	1,438 t	140 Kč/t	43,2 Kč/t	263,4 Kč
Cement	0,315 t	3 600 Kč/t	177,2 Kč/t	1 189,8 Kč
Voda	0,277 t	115 Kč/t	–	35,3 Kč
			Hmoty	1 488,5 Kč
			Mzdy	99,5 Kč
			Stroje	35,0 Kč
			Výrobní režie	211,7 Kč
			Správní režie	56,1 Kč
Výrobní náklady				1 890,8 Kč
Hrubý zisk				776,7 Kč
Ceníková cena	bez DPH			2 667,5 Kč

Kalkulace pro směs s cihelným recyklátem

Tab. 29 – Výpočet výrobních nákladů na 1 m³ potěrové směsi C 15 v roce 2023, tvorba vlastní

	C 15	Materiál	Doprava	Celkem
Cihelný recyklát 0/4	1,438 t	100 Kč/t	43,2 Kč/t	205,9 Kč
Cement	0,315 t	3600 Kč/t	177,2 Kč/t	1 189,8 Kč
Voda	0,396 t	115 Kč/t	–	35,3 Kč
			Hmoty	1 431,0Kč
			Mzdy	99,5 Kč
			Stroje	35,0 Kč
			Výrobní režie	211,7 Kč
			Správní režie	56,1 Kč
Výrobní náklady				1 833,3 Kč
Hrubý zisk				776,7 Kč
Ceníková cena	bez DPH			2 610,0 Kč

Kalkulace pro směs se směsným recyklátem

Tab. 30 – Výpočet výrobních nákladů na 1 m³ potěrové směsi S 15 v roce 2023, tvorba vlastní

	S 15	Materiál	Doprava	Celkem
Směsný recyklát 0/4	1,438 t	60 Kč/t	43,2 Kč/t	148,4 Kč
Cement	0,315 t	3600 Kč/t	177,2 Kč/t	1 189,8 Kč
Voda	0,399 t	115 Kč/t	–	35,3 Kč
			Hmoty	1 373,5 Kč
			Mzdy	99,5 Kč
			Stroje	35,0 Kč
			Výrobní režie	211,7 Kč
			Správní režie	56,1 Kč
Výrobní náklady				1 775,8 Kč
Hrubý zisk				776,7 Kč
Ceníková cena	bez DPH			2 552,5 Kč

16 Rozbor ceny z KROS 4

V této části je řešeno výsledné porovnání mnou vypočtených cen. Ty byly vypočítány na základě rozboru ceny již existující položky v programu KROS 4, která byla představena v úvodu ekonomické části a popsána v Tab. 21 a Příloze 1. V tomto rozboru je vyznačena položka, která je nahrazena u dalších cenových rozborů. Jedná se konkrétně o potěr cementový CP 20 kamenivo frakce 0/4 mm. U samotné dopravy původního cementového potěru je v programu KROS uvažováno 510,00 Kč na dopravu 1m³ směsi. Vzhledem k porovnání vzniklých položek v rámci této práce uvažují stejné náklady na dopravu také u nově vznikajících položek.

Vzhledem k mé směsi s označením REF 15, která se mojí vypočtenou ceníkovou cenou blíží nákupní ceně (NC) původní položce zobrazené v Příloze 1, budou zbylé směsi s recyklovaným kamenivem porovnávány právě s rozbořem ceny směsi REF 15 (viz Příloha 2). Jak bylo již popsáno, v jednotlivých cenových rozbořech je nahrazena pouze jedna položka, která se pro jednotlivé cenové rozbořy liší, neboť bylo nutné změnit jak samotný kód materiálové položky, tak i její název.

Je nutné zmínit také samotné složení rozboru ceny, který je tvořen podle kalkulačního vzorce a zahrnuje v sobě veškeré náklady na pořízení a zabudování dodané potěrové směsi do stavby včetně zisku. Tudiž směrodatným údajem z rozborů ceny se stávají jednotkové ceny pro jednotlivé použité směsi REF 15 (Příloha 2), B 15 (Příloha 3), C 15 (Příloha 4) a S 15 (Příloha 5). Pro zjednodušení jsou tyto ceny vybrány z příloh a popsány v Tab. 31.

Tab. 31 – Vytvořené a vypočtené položky, tvorba vlastní podle rozboru cen (Přílohy 1 – 4)

Kód položky	Popis	MJ	Množství	Jednotková cena za [m ²]
632451REF15	Potěr pískocementový REF 15 tl. Přes 40 do 50 mm tř. C 20 běžný	m2	1	383,74
63245100B15	Potěr pískocementový B 15 tl. Přes 40 do 50 mm tř. C 20 běžný	m2	1	367,32
63245100C15	Potěr pískocementový C 15 tl. Přes 40 do 50 mm tř. C 20 běžný	m2	1	364,45
63245100S15	Potěr pískocementový S 15 tl. Přes 40 do 50 mm tř. C 20 běžný	m2	1	361,57

17 Závěr ekonomické části

Na základě předchozí kapitoly je z jednotlivých rozborů cen a jejich jednotkových cen možné finanční posouzení v závislosti na druhu kameniva, který vstupuje do výroby směsi v betonárně. Posouzení bude vycházet z Tab. 32, ve které jsou tyto zjištěné údaje pro přehlednost zaneseny. Tabulka je doplněna o procentuální úsporu směsí s recyklovaným kamenivem v porovnání s REF 15. Součástí této kapitoly je pouze ekonomické vyhodnocení bez vazby na závěry z laboratorní části.

Tab. 32 – Shrnutí jednotkových cen z ekonomické části, tvorba vlastní

[Kč bez DPH]	C 20 (KROS 4)	REF 15 (písek)	B 15 (bet. rec.)	C 15 (cih. rec.)	S 15 (směs.rec)
Příloha	1	2	3	4	5
Výrobní náklady na 1 m ³	X	2 219,1	1 890,8	1 833,3	1 775,8
Snížení nákladů o	X	X	14,79 %	17,38 %	19,98 %
Cena směsi za 1 m ³	3 000,0	2 995,8	2 667,5	2 610,0	2 552,5
Snížení ceny o	X	X	10,96 %	12,88 %	14,80 %
Cena provedení 1 m ² potěru	383,95	383,74	367,32	364,45	361,57
Snížení ceny o	X	X	4,28 %	5,03 %	5,78 %

Při porovnání výrobních nákladů jednotlivých směsí je možné říci, že směsi využívající recyklovaná kameniva vycházejí přibližně o pětinu levněji, což je způsobeno nižšími pořizovacími náklady na materiál a jeho samotnou dopravu, neboť recyklované kamenivo může vznikat i v blízkosti betonáren při využívání mobilních recyklačních zařízení.

Pokud je připočten k výrobním nákladům směsí s recyklovaným kamenivem předpokládaný zisk používaný u běžných směsí s použitím písku, ekonomická úspora v nákupu potěrových směsí se pohybuje od 10,96 do 14,80 % v závislosti na použitém recyklovaném kamenivu.

Při pohledu na jednotkové ceny vzniklých položek se úspora v nákladech pohybuje kolem 5 % v porovnání s běžnými pískocementovými potěry. Tyto položky v sobě zahrnují dodávku a provedení potěrů v tloušťce 40 – 50 mm.

Při použití betonového recyklátu je v porovnání s cihelným recyklátem dosahováno menších úspor. Jako ekonomicky nejvýhodnější se jeví směs s použitím směsného recyklovaného kameniva.

18 Závěr

Tato diplomová práce řeší problematiku využití recyklovaných drobných kameniv (betonové, cihelné a směsné) s ohledem na různé hmotnostní zastoupení cementu (10, 15, 20 a 25 %) a jejich vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti při použití v cementových potěrech. Na jejich základě byly z laboratorní části vybrány vhodné směsi (REF 15, B 15, C 15 a S 15) a v rámci ekonomické části provedeno jejich ocenění. To v sobě zahrnovalo nalezení obdobné položky v softwaru KROS 4 a dále zjištění nákladů spojených s výrobou samotných potěrových směrů na základě kalkulačního vzorce pro mnou zvolenou betonárnu. Dále byl proveden výpočet s vytvořením vlastních rozborů cen pro mé směsi.

Z výsledků laboratorní části bylo zjištěno, že recyklovaná kameniva mají vliv na nižší objemové hmotnosti cementových potěrů, což může působit pro určité aplikace velmi pozitivně. V případě dynamických modulů pružnosti dochází při používání recyklátů k nižším hodnotám. Dále jejich aplikací dochází ke zhoršení vlastností oproti aktuálně využívaným cementovým potěrům, což se promítá do klesající pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Ovšem směsi, které využívají 15% zastoupení cementu, dosahují buďto obdobných (směsný recyklát) nebo mírně lepších (betonový a cihelný recyklát) výsledků v porovnání s referenční směsí. Tato aplikace se jeví jako velmi zajímavá a v řádu několika let by se mohla začít objevovat i v běžných aplikacích pro ušetření neobnovitelných zdrojů přírodního kameniva.

V případě výsledků ekonomické části se porovnávaly směsi s 15 % cementu a využitím recyklovaných kameniv, které odpovídaly cementovému potěru s označením C 20 ze softwaru KROS 4. Na základě provedených kalkulací vychází prodejní ceníkové ceny směrů s recykláty výhodněji než běžné potěry, a to s úsporou od 10,96 % do 14,80 %. Nejmenší úspora je u použití betonového recyklátu a největší u směsného. Po zařazení těchto cen do položky softwaru KROS 4 zahrnující provedení cementového potěru v tloušťce 40 – 50 mm se snížení ceny na 1 m² projeví úsporou 4,28 % (betonový rec.), 5,03 % (cihelný rec.) a 5,78 % (směsný rec.).

S ohledem na laboratorní a ekonomické výsledky se dá říci, že největší potenciál z hlediska širší perspektivy se pro cementové potěry s použitím recyklovaných kameniv jeví ty, které obsahují maximálně 15 % cementu a využívají betonový a cihelný recyklát, neboť pro tyto případy lze usuzovat dosažení nejefektivnějšího poměru dosažených vlastností a výše ekonomických nákladů.

Bibliografie

- [1] KUNCL, Václav. Stavební a demoliční odpady. In: *Inisoft* [online]. Liberec: Inisoft, 2023 [cit. 2023-09-23]. Dostupné z: <https://www.inisoft.cz/poradenstvi-a-skoleni/odborne-clanky/stavebni-a-demolicni-odpady>
- [2] ŠKOPÁN, Miroslav. Recyklace stavebních materiálů a jejich další využití. In: *Časopis stavebnictví* [online]. Praha: Stavebnictví, c2007-2022 [cit. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-recyklace-stavebnich-materialu-a-jejich-dalsi-vyuziti.html>
- [3] MIKLASOVÁ, Markéta. Nakládání se stavebními a demoličními odpady. In: *Inisoft* [online]. Liberec: Inisoft, 2023 [cit. 2023-10-14]. Dostupné z: <https://www.inisoft.cz/poradenstvi-a-skoleni/odborne-clanky/casopis-odpady/nakladani-se-stavebnimi-a-demolicnimi-odpady>
- [4] Stavební a demoliční odpady. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2023 [cit. 2023-09-24]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/stavebni_demolicni_odpady
- [5] Katalog odpadů 2023. In: *Katalog odpadů 2023* [online]. Webotvůrci, 2023 [cit. 2023-09-23]. Dostupné z: <https://www.katalogodpadu.cz/>
- [6] HARÁK, Tomáš. Zaměřeno na odpady. In: *Statistika&My* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2023 [cit. 2023-09-24]. Dostupné z: <https://www.statistikaamy.cz/2023/03/27/zemereno-na-odpady>
- [7] O CENIA. In: *Cenia* [online]. Praha: Česká informační agentura životního prostředí, 2023 [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/o-cenia/>
- [8] Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2021. In: *Cenia* [online]. Praha: Česká informační agentura životního prostředí, 2023 [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2023/01/Statisticka_Rocenka_ZP_CR_2021.pdf
- [9] HAVEL, Milan. Stavební odpad: Z čeho se skládá a kam s ním?. In: *Estav* [online]. Praha: Topinfo, c2014-2023 [cit. 2023-09-24]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3472.stavebni-odpad-z-ceho-se-sklada-a-kam-s-nim>
- [10] ŠKOPÁN, Miroslav. Recyklace stavebních a demoličních odpadů ve světle nových právních předpisů. In: *Ekolist* [online]. Praha: Ekolist, 2023 [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/miroslav-skopan-recyklace-stavebnich-a-demolicnich-odpadu-ve-svetle-novych-pravnich-predpisu>
- [11] ŠKOPÁN, Miroslav. Produkce stavebních odpadů v ČR a možnosti jejich využití (I). In: *ProfiPress* [online]. Praha: Profipress, 2023 [cit. 2023-10-07]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/produkce-stavebnich-odpadu-v-cr-a-moznosti-jejich-vyuziti-i/>
- [12] Cirkulární ekonomika aneb recyklace ve velkém. In: *ARCHIZOOM* [online]. Praha: ARCHIZOOM, c2019-2023 [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: <https://archizoom.cz/cirkularni-ekonomika-aneb-recyklace-ve-velkem/>
- [13] ŠKOPÁN, Miroslav. Recyklované stavební a demoliční odpady jako jeden z pilířů cirkulární ekonomiky ve stavebnictví. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2023 [cit. 2023-10-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/21891-recyklovane-stavebni-a-demolicni-odpady-jako-jeden-z-piliru-cirkularni-ekonomiky-ve-stavebnictvi>

- [14] ŠKOPÁN, Miroslav, Jaroslav KAŠPÁREK a Lukáš ZEIZINGER. Možnosti zvyšování využití recyklátů ve stavebnictví. In: *Centrum enviromentálního výzkumu* [online]. Praha: CEVOOH, 2023 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://cevooh.cz/wp-content/uploads/2023/02/SS02030008-V2_Zaverecna-zprava_final.pdf
- [15] Nakládání se stavebními a demoličními odpady podle nového zákona o odpadech. In: *Inisoft* [online]. Liberec: Inisoft, 2023 [cit. 2023-09-24]. Dostupné z: <https://www.inisoft.cz/poradenstvi-a-skoleni/odborne-clanky/casopis-odpadove-forum/nakladani-se-stavebnimi-a-demolicnimi-odpady-podle-noveho-zakona-o-odpadech>
- [16] MIKLASOVÁ, Markéta. Recyklace stavebních a demoličních odpadů – možnosti a povinnosti dle nové legislativy. In: *Stavební server* [online]. Zlín: SebiCom, c2009-2023 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.stavebniserver.com/zpravodajstvi/materialy-technologie/recyklace-stavebnich-a-demolicnich-odpadu-moznosti-a-povinnosti-dle-nove-legislativy/>
- [17] Metodický návod odboru odpadů Ministerstva životního prostředí pro řízení vzniku stavebních a demoličních odpadů a pro nakládání s nimi. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2023 [cit. 2023-10-04]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodika_stavebni_odpady/\\$FILE/OODP-metodicky_navod_SDO-20180904.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodika_stavebni_odpady/$FILE/OODP-metodicky_navod_SDO-20180904.pdf)
- [18] LUKŠ, Jiří. Demolice staveb jako zdroj stavebních surovin. In: VODIČKA, Jan a Jaroslav VÝBORNÝ. *Udržitelná výstavba. Využití odpadních hmot a recyklátů ve stavebnictví*. Praha: ČVUT v Praze, 2011, s. 15-18. ISBN 978-80-01-04734-7.
- [19] HENKOVA, Svatava. Demolice, recyklace. In: *Stavební stroje* [online]. Brno: VUT, 2023 [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: http://tstsw.cz/stavebni_stroj/predmet-bw06-56/prednaska-10#n%C5%AF%C5%BEky-na-%C5%A1rot
- [20] VÁCLAVÍK, Vojtěch, Tomáš DVORSKÝ, Vladimír ČABLÍK a Jiří BOTULA. Případová studie selektivní demolice panelového domu. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2023 [cit. 2023-10-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/24733-pripadova-studie-selektivni-demolice-paneloveho-domu>
- [21] MIKLASOVÁ, Markéta. Nakládání se stavebními a demoličními odpady – Recykláty. In: *Inisoft* [online]. Liberec: Inisoft, 2023 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.inisoft.cz/poradenstvi-a-skoleni/odborne-clanky/zpravodaj/nakladani-se-stavebnimi-a-demolicnimi-odpady-recyklaty>
- [22] BROŽOVÁ, Lucie a Kamila KUNTOVÁ. RECYKLACE STAVEBNÍHO DEMOLIČNÍHO ODPADU A JEHO VYUŽITÍ U POZEMNÍCH STAVEB. In: *Business & IT*. Praha: ČVUT, 2016, , s. 32-50, 65 s. 2/2016. ISBN 1805-3777. ISSN 2570-7434. Dostupné z: doi:10.14311/bit.2016.02.05
- [23] NEVILLE, a J. BROOKS. *Concrete Technology*. 2. vydání. Pearson Education Canada, 2010, 464 s. ISBN 978-0273732198.
- [24] STAVEBNÍ A DEMOLIČNÍ ODPADY. In: *Třídění odpadu* [online]. Praha: CONCEPT42, c2007-2023 [cit. 2023-09-23]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/stavebni-odpad>

- [25] Co je to recyklace?. In: *Třídění odpadu* [online]. Praha: CONCEPT42, c2007-2023 [cit. 2023-10-14]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/recyklace>
- [26] Stavebnictví spotřebuje až 60 procent vytěženého materiálu, aby neskončil jako odpad, je nutné ho recyklovat. In: *Materiály pro stavbu* [online]. Praha: Materiály pro stavbu, 2023 [cit. 2023-10-14]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/aktuality/prumysl-a-obchod/stavebnictvi-spotrebuje-az-60-procent-vytezeneho-materialu-aby-neskoncil-jako-odpad-je-nutne-ho-recyklovat_49098-html/
- [27] Bezpečnost práce s azbestem. Škodlivost, výskyt a povinnosti zaměstnavatele z hlediska BOZP. In: *Koordinátor BOZP* [online]. Praha: CRDR, 2023 [cit. 2023-10-07]. Dostupné z: <https://www.koordinacebozp.cz/aktuality/bezpecnost-prace-azbest/>
- [28] Vyhláška č. 294/2005 Sb. In: *Zákony pro lidi* [online]. Zlín: AION, c2010-2023 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-294>
- [29] PROŠEK, Zdeněk, Tereza PAVLŮ, Milan RYDVAL, Martin LIDMILA, George KARRA 'A, Jan FOLTÝN a Pavel TESÁREK. Současné možnosti zvyšování využití stavebního a demoličního odpadu ve stavebnictví. In: PROCHÁZKA, Ondřej. *Waste Forum* [online]. Praha: Czech Environmental Management Center, 2021, s. 176-186, 63 s. [cit. 2023-10-22]. 3/2021. ISSN 1804-0195. Dostupné z: http://www.wasteforum.cz/cisla/WF_3_2021_p176.pdf
- [30] JOURA, Leoš. *Možnosti využití recyklovaného kameniva jako náhrady drobného kameniva v betonech* [online]. Praha, 2022 [cit. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/102457/F1-BP-2022-Joura-Leos-F1-BP-2022-Joura-Leos-Recyklovane%20drobne%20kamenivo.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta stavební. Vedoucí práce Josef Fládr.
- [31] PAVLŮ, Tereza, Jan PEŠTA, Martin VOLF a Antonín LUPÍŠEK. Katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví. In: *Česká agentura pro standardizaci* [online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2023 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.agentura-cas.cz/sites/default/files/public/download/katalog%20druhotn%C3%A9%20suroviny.pdf#page=74&zoom=100,72,810>
- [32] NOVÁKOVÁ, Iveta. *Možnosti využití recyklovaného betonu jako náhrady drobného kameniva v cementových potěrech* [online]. Brno, 2012 [cit. 2023-12-22]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58190. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Adam Hubáček.
- [33] HELA, Rudolf a Klára KŘÍŽOVÁ. Využití odpadů z demolic cihelných a betonových objektů jako částečné či úplné náhrady přírodních plniv do cementových betonů. In: *Centrum enviromentálního výzkumu* [online]. Praha: CEVOOH, 2023 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://cevooh.cz/wp-content/uploads/2023/02/SS02030008-V2_Vsouhrn_CEVOOH_VUT-FAST_Hela.pdf
- [34] HURTIG, Karel, Milan RYDVAL a Jiří KOLÍSKO. OPĚTOVNÉ VYUŽITÍ STAVEBNÍHO A DEMOLIČNÍHO ODPADU JAKO RECYKLOVANÉHO KAMENIVA DO BETONU. In: *EBeton* [online]. Praha: Svaz výrobců betonu ČR, 2021 [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2023-01-beton-14.pdf>

- [35] Recykláty. In: *ARSM* [online]. Brno: beDesign, 2023 [cit. 2023-10-12]. Dostupné z: <https://www.arsm.cz/recyklaty/>
- [36] Prodej recyklátů. In: *Envisan-Gem* [online]. 2023 [cit. 2023-10-07]. Dostupné z: <https://www.envisan.cz/prodej-recyklatu>
- [37] Základní druhy recyklátů a možnosti jejich využití + jakostní normy. In: *Betonserver* [online]. Praha: AUREA INVEST, 2023 [cit. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/aktuality/zakladni-druhy-recyklatu-a-moznosti-jejich-vyuziti-jakostni-normy>
- [38] NEVILLE, Adam M. *Properties of concrete*. 5. vydání. Trans-Atlantic Publications, Inc., 2011, 846 s. ISBN 978-0-273-75580-7.
- [39] PROŠEK, Zdeněk a Pavel TESÁREK. Efektivní využití jemné frakce recyklovaného betonu v lehčených cementových kompozitech. In: *Materiály pro stavbu* [online]. Praha: Materiály pro stavbu, 2023 [cit. 2023-10-14]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/beton/efektivni-vyuziti-jemne-frakce-recyklovaneho-betonu-v-lehcenych-cementovych-kompozitech_49367.html/
- [40] PROŠEK, Zdeněk, Pavel TESÁREK a Leoš JOURA. Využití jemné frakce betonového, cihelného a směsného recyklátu na bázi stavebního a demoličního odpadu v betonech. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2023 [cit. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/25266-vyuziti-jemne-frakce-betonoveho-cihelneho-a-smesneho-recyklatu-na-bazi-stavebniho-a-demolicniho-odpadu-v-betonech>
- [41] ČSN EN 13 055. *Pórovité kamenivo*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [42] NOVOTNÝ, Bohumil. Možnosti využití recyklovaných stavebních sutí v pozemních stavbách. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha, c2005-2023 [cit. 2023-12-22]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/45925/51833/588627/priloha010.pdf>
- [43] CASTAÑO-CARDOZA, Taimí, Stefan LINSEL, Adrián ALUJAS-DIAZ, Rubén OROZCO-MORALES a José MARTIRENA-HERNÁNDEZ. Influence of very fine fraction of mixed recycled aggregates on the mechanical properties and durability of mortars and concretes. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* [online]. 2016, (81), 81-92 [cit. 2023-12-23]. ISSN 01206230. Dostupné z: doi:10.17533/udea.redin.n81a08
- [44] HEIDARI, Ali, Masoumeh HASHEMPOUR, Hamed JAVDANIAN a Mehdi KARIMIAN. Investigation of mechanical properties of mortar with mixed recycled aggregates. *Asian Journal of Civil Engineering* [online]. 2018, **19**(5), 583-593 [cit. 2023-12-23]. ISSN 1563-0854. Dostupné z: doi:10.1007/s42107-018-0044-1
- [45] TŮMA, Petr. Podlahové potěry. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/podlahy/14726-podlahove-potery>
- [46] REDAKCE. Betonová mazanina a betonový potěr. Kde je rozdíl?. In: *StavímBydlím* [online]. StavímBydlím, 2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/betonova-mazanina-a-betonovy-poter-kde-je-rozdil/>
- [47] SVOBODA, Luboš, Zdenka BAŽANTOVÁ, Milan MYŠKA, Jaroslav NOVÁK, Zdeněk TOBOLKA, Roman VÁVRA, Alena VIMMROVÁ a Jaroslav VÝBORNÝ. *STAVEBNÍ HMOTY* [online]. 4. vydání. Praha: Luboš

- Svoboda, 2018, 1000 s. [cit. 2023-10-28]. Dostupné z:
<https://k123.fsv.cvut.cz/media/subjects/files/123SHMA/kniha-stavebni-hmoty.pdf>
- [48] FENYK, Milan. Cementové potěry. In: *ASB* [online]. Praha: Jaga Media, 2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strop-a-podlaha/podlaha/cementove-potery>
- [49] Cementové potěry. In: *Estra* [online]. Praha, 2008 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://estra.cz/cementov-potry/>
- [50] COUFAL, Robert. CEMENTOVÝ POTĚR JAKO NÁŠLAPNÁ VRSTVA S POHLEDOVOU ÚPRAVOU. In: *EBeton* [online]. Praha: Svaz výrobců betonu ČR, 2021 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2011-3-49_0.pdf
- [51] Lítý cementový potěr. In: *Cemex* [online]. Praha: Cemex, 2022 [cit. 2023-10-31]. Dostupné z:
<https://www.cemex.cz/documents/46856796/46996282/CEMLEVEL-letak.pdf/317f9868-e510-6f70-8804-c6a7b2b4acab?version=2.0&t=1646056214600>
- [52] ČESKOMORAVSKÝ BETON. Pokládka lité podlahy s využitím cementového litého potěru. In: *ASB* [online]. Praha: Jaga Media, 2023 [cit. 2023-10-31]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strop-a-podlaha/podlaha/pokladka-lite-podlahy-s-vyuzitim-cementoveho-liteho-poteru>
- [53] Minimální tloušťka cementového litého potěru CEMEX CemLevel. In: *Cemex* [online]. Praha: Cemex, 2022 [cit. 2023-10-31]. Dostupné z:
https://www.cemex.cz/documents/46856796/46979589/CEMEX_tabulka-lite-potery-Cemlevel_v01.pdf/436785e4-91e1-0d1e-298f-f6c105221031?version=1.2&t=1584979862700
- [54] Jaká je ideální tloušťka potěru pro podlahové topení?. In: *Rehau* [online]. Čestlice: Rehau, 2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z:
<https://kvalitnipodlahovka.cz/jaka-je-idealni-tloustka-poteru-pro-podlahove-topeni/>
- [55] Potěr pro nivelaci podkladu. In: *Cemex* [online]. Praha: Cemex, 2022 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z:
<https://www.cemex.cz/documents/46856796/55747318/Anhylevel-Extranivel.pdf/ab2da48b-c3b8-eeba-dbe9-1788bdc3d2d4?version=1.0&t=1698241121593>
- [56] POCHMANOVÁ, Petra. Kontrolní metody pro stanovení vlhkosti podkladních vrstev podlah. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8050-kontrolni-metody-pro-stanoveni-vlhkosti-podkladnich-vrstev-podlah>
- [57] OŠETŘOVÁNÍ CEMENTOVÝCH POTĚRŮ CEMLEVEL. In: *Cemex* [online]. Praha: Cemex, 2022 [cit. 2023-10-31]. Dostupné z:
<https://www.cemex.cz/documents/46856796/55747318/Navod-k-osetrovani-cementovych-poteru.pdf/e6cfe9bd-a3a9-7271-13fb-e16f909203b5?version=1.4&t=1690806613359>
- [58] KATZ, Amnon a Daniele KULISCH. Performance of mortars containing recycled fine aggregate from construction and demolition waste. *Materials and Structures* [online]. 2017, **50**(4) [cit. 2023-12-22]. ISSN 1359-5997. Dostupné z: doi:10.1617/s11527-017-1067-x

- [59] NENO, Catarina, Jorge BRITO a Rosário VEIGA. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. *Materials Research* [online]. 2014, **17**(1), 168-177 [cit. 2023-12-23]. ISSN 1980-5373. Dostupné z: doi:10.1590/S1516-14392013005000164
- [60] SILVA, J., J. DE BRITO a R. VEIGA. Recycled Red-Clay Ceramic Construction and Demolition Waste for Mortars Production. *Journal of Materials in Civil Engineering* [online]. 2010, **22**(3), 236-244 [cit. 2023-12-23]. ISSN 0899-1561. Dostupné z: doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2010)22:3(236)
- [61] TOPÇU, İlker a Selim ŞENGEL. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cement and Concrete Research* [online]. 2004, **34**(8), 1307-1312 [cit. 2023-12-23]. ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconres.2003.12.019
- [62] MORA-ORTIZ, René, Sergio DÍAZ, Ebelia DEL ANGEL-MERAZ a Francisco MAGAÑA-HERNÁNDEZ. Recycled Fine Aggregates from Mortar Debris and Red Clay Brick to Fabricate Masonry Mortars: Mechanical Analysis. *Materials* [online]. 2022, **15**(21) [cit. 2023-12-22]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma15217707
- [63] JIMÉNEZ, J.R., J. AYUSO, M. LÓPEZ, J.M. FERNÁNDEZ a J. DE BRITO. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials* [online]. 2013, **40**, 679-690 [cit. 2023-12-23]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036
- [64] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím strásacího stolku)*. Český normalizační institut, 2000.
- [65] Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. In: *Forlab* [online]. Forlab, 2023 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: https://forlab.pt/wp-content/uploads/2015/08/E1876_mvuj8965.pdf
- [66] STANOVENÍ DYNAMICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI ULTRAZVUKOVOU IMPULZOVOU METODOU. In: *Fakulta stavební VUT v Brně* [online]. VUT v Brně, 2023 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: http://www.sz.k.fce.vutbr.cz/vyuka/BI002/D_navod.pdf
- [67] Technický list CEM I 42,5 R Radotín. In: *Českomoravský cement* [online]. Českomoravský cement, 2023 [cit. 2023-12-20]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/volne-lozeny-cement/cemi425r>
- [68] Ceník 2023. In: *CEMEX* [online]. CEMEX, 2022 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: https://www.cemex.cz/documents/46856796/52314713/Cenik_do_1.1.2023_bet onarna_Letkov_Plzen_Beroun.pdf/51b0ee60-7f06-2a9e-d8b9-cd761eb27967?t=1672821735361
- [69] Ceník 2023 Provoz České Budějovice. In: *Českomoravský beton* [online]. Beroun: Českomoravský beton, c2012-2023 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: https://www.transportbeton.cz/uploads/sources/ceniky/4584f308447332a8f66d720d0db98b6cdfdbc21a_uploaded_cenik-cbudejovice23.pdf
- [70] Ceník betonových směsí 2023. In: *Mane* [online]. Mane Holding, 2016 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z:

<https://www.mane.cz/galerie/tinymce/MANE%20BETON%20CENÍK%20BETONŮ%20A%20DOPRAVY%202023-1.pdf>

- [71] Ceník 2023 Tábor bez DPH. In: *ZAPA beton* [online]. ZAPA beton, 2019 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: <https://www.zapa.cz/sites/default/files/2023-10/Ceník%202023%20Tábor%20bez%20DPH.pdf>
- [72] Ceník 2023 Provoz Milevsko. In: *Českomoravský beton* [online]. Beroun: Českomoravský beton, c2012-2023 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: https://www.transportbeton.cz/uploads/sources/ceniky/7010aa17042269c775b50698c4d6538a975ec106_uploaded_cenik-milevsko23.pdf
- [73] Ceník betonových směsí od 1. 3. 2023. In: *Beton Hronek* [online]. Beton Hronek, 2023 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: <https://www.betonhronek.cz/ke-stazeni/ceniky-produktu>
- [74] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta, Lucie BROŽOVÁ a Stanislav VITÁSEK. *Ekonomika výstavbových projektů*. Praha: Powerprint, 2018. ISBN 978-807-5681-300.
- [75] NABÍDKY A KALKULACE VE STAVEBNICTVÍ. In: *Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích* [online]. České Budějovice: VŠTE, 2023 [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://is.vstecb.cz/do/5610/pr/IPV/rs/kn/prezentace.pdf>
- [76] Sociální pojištění v roce 2023. In: *Ministerstvo práce a sociálních věcí* [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2023 [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.mpsv.cz/socialni-pojisteni>
- [77] Superhrubá mzda. In: *Vema* [online]. Brno: Seyfor, 2023 [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.vema.cz/cs/superhruba-mzda>
- [78] Slepá mapa ke stažení. In: *Učebnice mapy* [online]. Komořany: UčebniceMapy, 2023 [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.ucebnicemapy.cz/blog/slepa-mapa-ke-stazeni.-20.html>
- [79] Nákladní doprava. In: *Miroslav Šmíd Autodoprava* [online]. Svojetice: Miroslav Šmíd, 2022 [cit. 2023-12-11]. Dostupné z: <https://www.miroslavsmid.cz/stavebni-technika/nakladni-doprava>
- [80] Ceník kameniva Planá nad Lužnicí 2023. In: *Českomoravský štěrk* [online]. Mokrá: Českomoravský štěrk, 2023 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/kontakty/cms/provozovny/plana-nad-luznici>
- [81] Ceník kameniva Řípec 2023. In: *Českomoravský štěrk* [online]. Mokrá: Českomoravský štěrk, 2023 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/sterkopiskovna-ripec>
- [82] Ceník kameniva Stráž nad Nežárkou 2023. In: *Českomoravský štěrk* [online]. Mokrá: Českomoravský štěrk, 2023 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/kontakty/cms/provozovny/straz-nad-nezarkou>
- [83] KRAUS, Michal. Cena vody 2023 aneb kde a jak ušetřit tisíce. In: *Zakra* [online]. Zakra, 2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/cena-vody-2023>
- [84] Technické údaje - WA380-7 Komatsu. In: *Lectura* [online]. Nürnberg: Lectura, c1984-2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.lectura-specs.cz/cz/model/stavebni-stroje/kolove-nakladace-komatsu/wa380-7-1152481>

- [85] Komatsu WA380-7. In: *MachineryZone* [online]. Paříž: LBC France, 2022 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://www.machineryzone.cz/pouzite-zarizeni/kolovy-nakladac-1/43828914/komatsu-wa380-7.html>
- [86] Obchodní ředitel platy. In: *Jooble* [online]. Jooble, c2007-2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://cz.jooble.org/salary/obchodn%C3%AD-%C5%99editel>
- [87] Technický ředitel platy. In: *Jooble* [online]. Jooble, c2007-2023 [cit. 2023-12-10]. Dostupné z: <https://cz.jooble.org/salary/technick%C3%BD-%C5%99editel>
- [88] Recykláty. In: *Novák kontejnery* [online]. Liberec: Autodoprava Novák, 2023 [cit. 2023-12-11]. Dostupné z: <http://www.novak-kontejnery.cz/recyklaty.html>
- [89] Písky. In: *Novák kontejnery* [online]. Liberec: Autodoprava Novák, 2023 [cit. 2023-12-11]. Dostupné z: <http://www.novak-kontejnery.cz/pisky.html>

Seznam obrázků

Obr. 1 – Producenti a množství odpadů v ČR v roce 2021, tvorba vlastní podle [6]....5	5
Obr. 2 – Zacházení s vyprodukovanými odpady, tvorba vlastní podle [6]6	6
Obr. 3 – Složení SDO (bez zeminy, hlusiny a výkopku), tvorba vlastní podle [12]6	6
Obr. 4 – Těžba nerostných surovin pro stavebnictví v ČR mezi lety 2010–2021, tvorba vlastní podle [8]7	7
Obr. 5 – Produkce recyklovaného kameniva v porovnání s přírodním, tvorba vlastní podle [14]8	8
Obr. 6 – Postup recyklace SDO, převzato z [2] 18	18
Obr. 7 – Základní druhy recyklovaných kameniv, převzato z [33]21	21
Obr. 8 – Pokládka cementového potěru ze zavhlé směsi, převzato z [49].....31	31
Obr. 9 – Ukládání cementového litého potěru, převzato z [52].....34	34
Obr. 10 – Potěr spojený s podkladem, převzato z [45]35	35
Obr. 11 – Potěr oddělený od podkladu, převzato z [45]36	36
Obr. 12 – Plovoucí potěr, převzato z [45]37	37
Obr. 13 – Střásací stůl pro zkoušku konzistence, upraveno na základě [64] 44	44
Obr. 14 – Vzorek čerstvé směsi a rozliv čerstvé směsi, tvorba vlastní44	44
Obr. 15 – Osušené zkušební vzorky připravené pro změření rozměrů, tvorba vlastní45	45
Obr. 16 – Měřicí soustava pro zjištění dynamického modulu pružnosti, tvorba vlastní46	46
Obr. 17 – Vzorec pro měření podélného kmitání, tvorba vlastní47	47
Obr. 18 – Vzorec pro měření příčného kmitání, tvorba vlastní48	48
Obr. 19 – Vzorec pro měření kroutivého kmitání, tvorba vlastní.....49	49
Obr. 20 – Zkušební zařízení k měření pevnosti v tahu za ohybu, tvorba vlastní50	50
Obr. 21 – Zkušební lis s vloženým vzorkem, tvorba vlastní51	51
Obr. 22 – Přírodní drobné kamenivo, tvorba vlastní.....52	52
Obr. 23 – Betonový recyklát, tvorba vlastní53	53

Obr. 24 – Cihelný recyklát, tvorba vlastní	53
Obr. 25 – Směsný recyklát, tvorba vlastní	54
Obr. 26 – Snímky použitých kameniv z mikroskopu, tvorba vlastní	54
Obr. 27 – Křivka zrnitosti použitých kameniv, tvorba vlastní	55
Obr. 28 – Obsah jemných částic použitých kameniv, tvorba vlastní	55
Obr. 29 – Vlastnosti cementu CEM I 42,5 R z Radotína, převzato z [67]	56
Obr. 30 – Použití cementu podle druhu prostředí, převzato z [67]	56
Obr. 31 – Uložení zkušebních vzorků v průběhu experimentů, tvorba vlastní	58
Obr. 32 – Objemová hmotnost, tvorba vlastní	59
Obr. 33 – Dynamický modul pružnosti, tvorba vlastní	60
Obr. 34 – Dynamický smykový modul pružnosti, tvorba vlastní	61
Obr. 35 – Pevnost v tahu za ohybu, tvorba vlastní	62
Obr. 36 – Pevnost v tlaku, tvorba vlastní	64
Obr. 37 – Mapa betonáren v ČR, tvorba vlastní podle [78]	71
Obr. 38 – Zásobníky na sypké materiály, tvorba vlastní	72
Obr. 39 – Zařízení betonárny včetně nakladače, tvorba vlastní	72

Seznam tabulek

Tab. 1 – Rozdělení skupiny odpadů č. 17, tvorba vlastní podle [5]	4
Tab. 2 – Produkce vybraných odpadů z let 2015–2021, tvorba vlastní podle [8]	5
Tab. 3 – Rozdělení SDO podle aplikace, tvorba vlastní podle [1]	10
Tab. 4 – Výhody a nevýhody recyklace, tvorba vlastní podle [16; 22; 25]	15
Tab. 5 – Odpady vyžadující úpravu před recyklací, tvorba vlastní podle [17]	16
Tab. 6 – Odpady vyřazené z recyklace, tvorba vlastní podle [17]	16
Tab. 7 – Poplatky za převzetí SDO recykl. středisky za rok 2022, tvorba vlastní podle [14]	17
Tab. 8 – Obsah složek v betonovém recyklátu, tvorba vlastní podle [31]	22
Tab. 9 – Obsah složek v cihelném recyklátu, tvorba vlastní podle [31]	22
Tab. 10 – Obsah složek ve směsném recyklátu, tvorba vlastní podle [31]	23
Tab. 11 – Pevnost v tahu za ohybu cementových potěrů, tvorba vlastní podle [47] ..	28
Tab. 12 – Pevnost v tlaku cementových potěrů, tvorba vlastní podle [47]	29
Tab. 13 – Modul pružnosti cementových potěrů, tvorba vlastní podle [47]	29
Tab. 14 – Minimální tloušťky cementových zavlhých potěrů, tvorba vlastní podle [45]	32
Tab. 15 – Minimální tloušťky cementového litého potěru tvorba vlastní podle [53]	33
Tab. 16 – Minimální tloušťky anhydritového litého potěru, tvorba vlastní podle [55] ..	38
Tab. 17 – Maximální hodnoty vlhkosti pro různé druhy podlahovin, tvorba vlastní podle [57]	39
Tab. 18 – Směsi pro výrobu vzorků, tvorba vlastní	57

Tab. 19 – Souhrn charakteristik posuzovaných směsí, tvorba vlastní	66
Tab. 20 – Ceníkové ceny směsí srovnatelných s REF 15 pro rok 2023, tvorba vlastní	67
Tab. 21 – Potěr pískocementový C 20, tvorba vlastní podle (programu KROS 4).....	68
Tab. 22 – Kalkulační vzorec, tvorba vlastní podle [74]	68
Tab. 23 – Náklady na nákup a dopravu písku pro rok 2023, tvorba vlastní	73
Tab. 24 – Náklady na nákup a dopravu cementu pro rok 2023, tvorba vlastní	74
Tab. 25 – Náklady na pitnou vodu pro rok 2023, tvorba vlastní	74
Tab. 26 – Výpočet ceny na 1 m ³ potěrové směsi REF 15 v roce 2023, tvorba vlastní	79
Tab. 27 – Náklady na recyklovaná drobná kameniva v roce 2023, tvorba vlastní	81
Tab. 28 – Výpočet výrobních nákladů na 1 m ³ potěrové směsi B 15 v roce 2023, tvorba vlastní	82
Tab. 29 – Výpočet výrobních nákladů na 1 m ³ potěrové směsi C 15 v roce 2023, tvorba vlastní	82
Tab. 30 – Výpočet výrobních nákladů na 1 m ³ potěrové směsi S 15 v roce 2023, tvorba vlastní	83
Tab. 31 – Vytvořené a vypočtené položky, tvorba vlastní podle rozboru cen (Přílohy 1 – 4).....	84
Tab. 32 – Shrnutí jednotkových cen z ekonomické části, tvorba vlastní.....	85

Seznam příloh

Příloha 1 – Rozbor ceny položky z KROS 4 (cenová soustava ÚRS II/2023)

Příloha 2 – Rozbor ceny položky REF 15 z KROS 4 (cenová soustava ÚRS II/2023)

Příloha 3 – Rozbor ceny položky B 15 z KROS 4 (cenová soustava ÚRS II/2023)

Příloha 4 – Rozbor ceny položky C 15 z KROS 4 (cenová soustava ÚRS II/2023)

Příloha 5 – Rozbor ceny položky S 15 z KROS 4 (cenová soustava ÚRS II/2023)