

Doktorandský workshop 09/2022 Shortpaper výzkumu

1.1. Informace o studiu

Titul, jméno a příjmení:

Ing. arch. Karel Golář

Datum nástupu: 01.10.2020

Forma studia: Presenční

Studijní obor:

Katedra doktoranda:

Školitel: doc. Ing. arch. Dalibor Hlaváček, Ph.D.

Obor DS/Zaměření / Field of PhD Study:

**Zkoumání a tvorba udržitelnější
budoucnosti architektury**

Navržené téma disertační práce:

**Integrace principů cirkulární ekonomiky
do procesu architektonického navrhování**

Zpráva o stavu výzkumu

1.2. Rámcové téma disertační práce

Metody a nástroje integrace principů cirkulární ekonomiky do architektonického navrhování

Výzkum a vývoj nástroje pro architektonické navrhování dle principů cirkulární ekonomiky v praxi architekta v prostředí ČR

Abstrakt

Tento příspěvek shrnuje dosavadní postup a poznatky výzkumu diskutuje zaměření a postup dalšího výzkumu v rámci disertační práce.

Cílem výzkumu je zjistit, jak integrovat principy cirkulární ekonomiky do praxe architekta pomocí ICT nástrojů a navrhnout teoretický rámec metodického postupu a funkcionalit takového nástroje, aby byl umožněn vývoj prototypu. Primární zaměření je na potřeby v praxi architekta.

Z rešerše stavu poznání plyne, že právě aplikace systematického digitálního (ICT) nástroje integrující CE do v architektonické praxi je možným krokem, jak překonat bariéry implementace principů CE do praxe ve stavebnictví.¹

V současnosti jsou nám známy principy CE, kterými bychom se jako architekti měli v praxi řídit. Tyto principy jsou v rámci výzkumu katalogizovány.

Dále jsou katalogizovány existující ICT nástroje. Není znám ukončený či probíhající výzkum, který by porovnával jednotlivé existující nástroje mezi sebou a dále z hlediska vhodnosti pro zavedení do architektonické praxe.

Tyto nástroje jsou proto postupně hodnoceny z hlediska možností a potřeb zavedení do praxe v ČR. Jsou navrženy 3 komparační rámce A, B, C. V současnosti není znám šířeji využívaný ICT nástroj, který by byl v praxi ČR využíván a lokalizován.

Výsledky z těchto rámců jsou porovnávány a výsledkem je doporučení pro samotný vývoj ICT nástroje z hlediska architektonické praxe.

¹ Rahla, Kamel Mohamed, Mateus, Ricardo a Braganca, Luis. 2021. Implementing Circular Economy Strategies in Buildings—From Theory to Practice. Applied System Innovation. 2021, 26.

Klíčová slova:

cirkulární ekonomika, ekodesign, šetrné budovy, udržitelnost, udržitelné budovy, BIM

Použité zkratky a terminologie

CE Cirkulární ekonomika (použito ekvivaletně s oběhové hospodářství)

BIM - Building Information Modelling, Digitální informační model stavby

ICT - Informační a komunikační technologie

Obsah

1.1. Informace o studiu.....	1
Zpráva o stavu výzkumu.....	1
1.2. Rámcové téma disertační práce.....	1
Abstrakt.....	1
Obsah.....	3
Výzkumná otázka, hypotéza a metoda výzkumu.....	4
Výzkumná otázka.....	4
Hypotéza.....	4
Druh výzkumu.....	4
Druhy metod.....	4
Cíle výzkumu.....	4
Strategický cíl výzkumu.....	4
Taktické cíle výzkumu.....	4
Vědecká závažnost a aktuálnost:.....	4
Přínos a původnost výzkumu.....	4
Úvod a základní východiska výzkumu:.....	6
Udržitelnost v architektuře v současném diskurzu – tři pilíře a dekarbonizace.....	6
Environmentální dopady budov – materiály.....	6
Stavební a demoliční odpad jako indikátor neefektivity nakládání s materiály v lineárním ekonomickém modelu.....	6
Hlavní důvody vzniku odpadu ve stavebnictví.....	7
Současný stav řešení problému odpadů ve stavebnictví ve vztahu k architektonické praxi.....	7
State of the Art – stav řešení tématu disertační práce metody a nástroje integrace principů cirkulární ekonomiky do architektonického navrhování.....	8
Zkoumané oblasti a zdroje.....	8
Literatura ve vztahu k výzkumu.....	8
Zhodnocení recentní literatury v ČR.....	8
Zhodnocení recentní literatury ve světovém a evropském kontextu.....	8
Cirkulární ekonomika ve vztahu k architektuře a stavebnictví.....	9
Potenciál.....	9
Bariéry zavádění principů cirkulární ekonomiky do praxe architekta.....	9
Principy cirkulární ekonomiky v architektonickém navrhování.....	10
Zhodnocení principů CE z hlediska zavedení do architektonické praxe.....	11
Nástroje cirkulárního navrhování v architektonické praxi.....	12
ICT nástroje.....	12
BIM nástroje.....	13

Potenciál integrace BIM a CE v jednotlivých fázích vzniku odpadu.....	13
Katalog nástrojů.....	15
Kriteriální výběr nástrojů do hodnocení.....	17
Vyhodnocení kritérií.....	18
Sestavení a vyhodnocení jednotlivých komparačních rámců.....	22
Komparační rámec A – Komparace vůči fázím výkonu architektonické praxe v ČR.....	22
Dosavadní výsledky výzkumu.....	23
Zhodnocení zdrojů a východisek stavu poznání.....	23
Identifikace a katalogizace principů CE v architektuře a stavebnictví.....	23
Katalogizace existujících ICT nástrojů.....	23
Zhodnocení nástrojů – komparační rámce.....	23
Závěr.....	23
Další navržený postup výzkumu:.....	24
Vyhodnocení komparačního rámce B.....	24
Srovnání výsledků komparačních rámců A, B, C.....	24
Doporučení pro nástroj.....	24
Relevantní publikační činnost autora.....	25
Bibliografie.....	26

Výzkumná otázka, hypotéza a metoda výzkumu

Výzkumná otázka

Existuje vhodný ICT nástroj pro implementaci principů CE do praxe architekta v prostřední ČR?

Která je, z hlediska praktické implementace, nevhodnější metoda či ICT nástroj podpory architektonického navrhování pro zavedení principů cirkulární ekonomiky do architektonické praxe v ČR?

Hypotéza

1. Aby došlo k zavedení principů CE do architektonické praxe, je nevhodnější využít ICT nástroj.
2. Z hlediska integrace cirkulární ekonomiky do praxe architekta v prostředí ČR je nevhodnější vyvinout lokalizovaný nástroj pro podporu architektonického navrhování.

Druh výzkumu

Kombinovaný kvalitativní a kvantitativní výzkum

Druhy metod

Analytické, Modelové, Komparativní, strukturovaný rozhovor

Cíle výzkumu

Strategický cíl výzkumu

1. Návrh systematické metody / nástroje pro integraci principů cirkulární ekonomiky do navrhování staveb v praxi architekta v prostředí ČR

Taktické cíle výzkumu

1. Principy cirkulární ekonomiky v architektonickém navrhování: state of art
 - a. Literatura
 - b. Dobrá praxe
 - c. Katalogizace principů
 - d. Identifikace potřeb pro implementaci principů do praxe
2. Současné metody a nástroje: state of art
 - a. Literatura
 - b. Katalogizace a kategorizace nástrojů
 - c. Multikriteriální výběr existujících metod a nástrojů do vyhodnocení

3. Sestavení komparačních rámců
4. Vyhodnocení komparačních rámců
 - a. Komparace nástrojů vůči fázím výkonu architekta v ČR
 - b. Kriteriální vyhodnocení současných nástrojů vůči architektonické praxi ČR
 - c. Vyhodnocení na na případových studiích
5. Návrh obecného modelového postupu – systematické metody navrhování s principy CE

Vědecká závažnost a aktuálnost:

Dosud se snižování environmentálního budov soustředilo zejména na snižování provozních dopadů, skrze optimalizaci potřebné provozní energie a zdrojů této energie.

I proto na významu narůstá snižování dopadu materiálu, s velkým množstvím vázané energie a značnou uhlíkovou stopou. Materiál je využíván neefektivně, což lze ilustrovat na faktu, že až 2/3 odpadů v ČR mají původ ve stavebním sektoru (stavební a demoliční odpad).

Tato práce cílí na implementaci metod cirkulární ekonomiky, díky čemuž lze omezit vznik odpadu, a tedy snížit environmentální dopad budov již rámci architektonického navrhování a praxe architekta.

Cirkulární ekonomika propojuje všechny tři pilíře udržitelnosti a splňuje kritéria udržitelného rozvoje. (Corona, 2019)

Zároveň tato práce mapuje a navrhuje možnosti využití digitálních (ICT) nástrojů, které jsou vhodné pro řádné zavedení principů CE do praxe a navazuje tak na současný stav poznání problematiky.

Přínos a původnost výzkumu

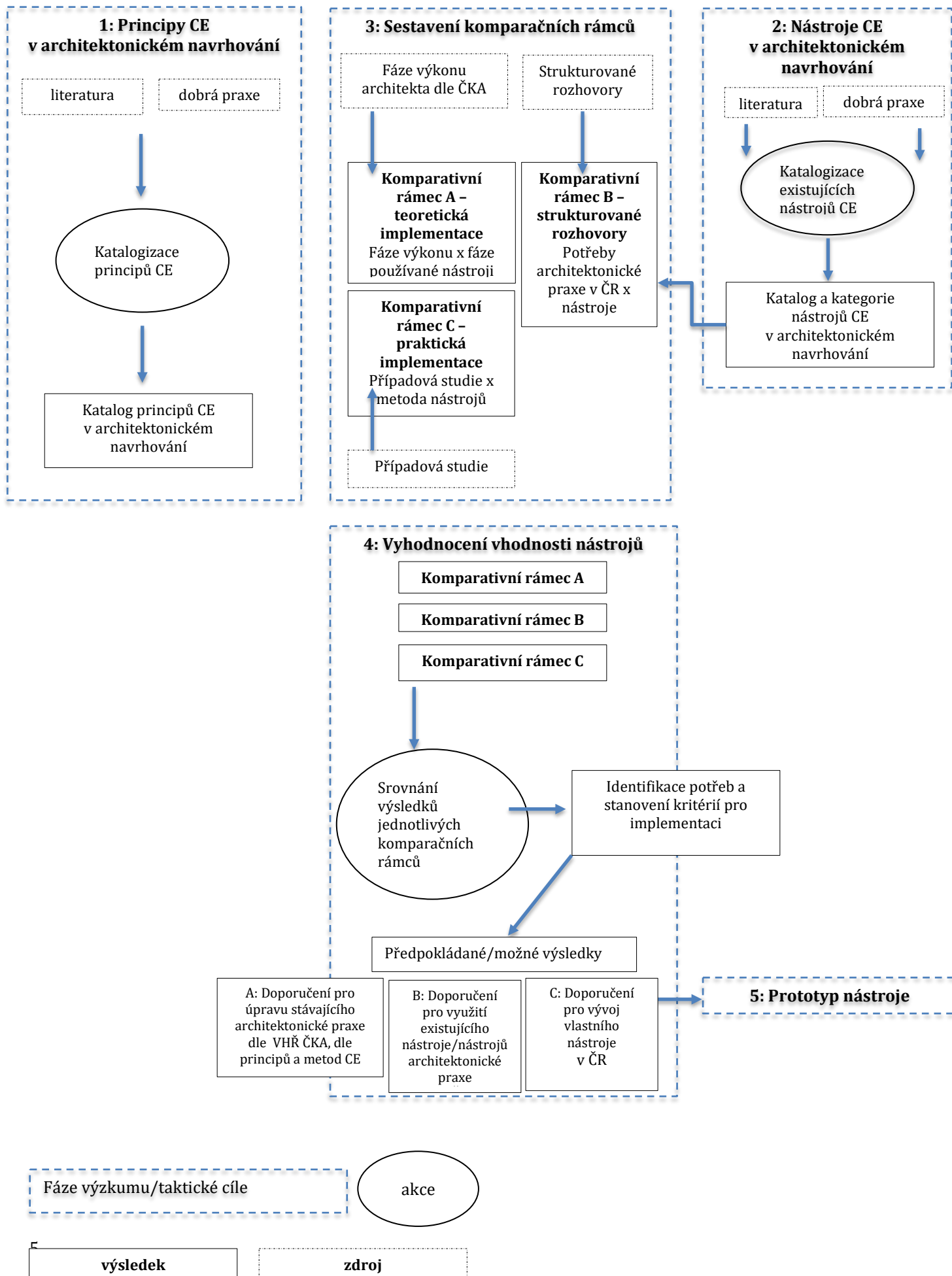
Dosavadní výzkum v oboru se soustředí zejména na konkrétní strategie CE, nicméně jejich praktické implikace na architektonickou praxi nejsou hodnoceny.

Na výzkum lze navázat úpravou – lokalizací existujících nástrojů či vývojem nového ICT nástroje pro architektury pro navrhování a projekci staveb s principy CE.

Není znám ukončený či probíhající výzkum, který by porovnával jednotlivé existující nástroje mezi sebou a dále z hlediska vhodnosti pro zavedení do architektonické praxe. Jedním z přínosů výzkumu je proto zhodnotit existující ICT nástroje CE vůči lokálním potřebám implementace do ČR.

Ze stavu poznání byla zjištěna existence několika zahraničních (zejména oblast Nizozemí) ICT nástrojů využívajících principy CE, použitelné pro praxi architektů.

Na základě tohoto zhodnocení bude možné doporučit metodický postup a funkcionality nástroje. Případně také doporučení pro úpravu architektonické praxe.

Metoda a postup výzkumu


Úvod a základní východiska výzkumu:

All architecture is but waste in transit (Till., 2009)

Udržitelnost v architektuře v současném diskurzu – tři pilíře a dekarbonizace

Tato práce se zabývá primárně environmentální udržitelností z hlediska materiálů a materiálových toků, které architekt ovlivňuje skrze svou praxi – tj. navrhování budov. Přičemž však autor vnímá nezbytnost zahrnutí ekonomické a sociální udržitelnosti do architektonického návrhu.

Udržitelná stavba je pro potřeby této práce vymezena jako ta, která využívá principy CE pro snížení environmentálního dopadu budov, například zamezuje vzniku stavebního a demoličního odpadu anebo jej využívá, za účelem dekarbonizace stavebnictví a budov.

Je však nepochybné, že cirkulární ekonomika propojuje všechny tři pilíře udržitelnosti a splňuje kritéria udržitelného rozvoje. (Corona, 2019)

Environmentální dopady budov – materiály

Stavby mají dopad na životních prostředí v celém svém životním cyklu.

1. **(Návrh)**
2. **Výstavba**
3. **Provoz**
4. **Demolice**

Přičemž v každé z těchto fází lze jejich dopad snížit. Redukce environmentálního dopadu budov je všeobecně možné dosáhnout třemi způsoby: (Brejnrod, 2017)

1. Minimalizace dopadů stavby budov (materiály)
2. Minimalizace dopadů spotřeby energie během fáze používání
3. Zmenšení užité plochy

Environmentální dopady staveb skrze optimalizaci jejich energetické spotřeby —Provoz— byly od ropné krize 1970 průběžně redukovány a na tuto redukci se soustředila většina dosavadních strategií pro udržitelnost budov. (Design and construction strategies for reducing embodied impacts from buildings – Case study analysis, 2018).

Na významu proto tedy narůstá i stavební materiál samotný, neboť jeho dopad nabývá poměrově na

významu celého environmentálního dopadu budovy. (Röck, 2020)

Stavebnictví je v současnosti největším světovým spotřebitelem zdrojů a surovin. Stavebnictví je dnes jedním z největších odvětví současné globální ekonomiky, představuje 13 % HDP a zaměstnává 7 % obyvatelstva v produktivním věku. ² Víme také, že světová městská populace rychle roste: v příštích 30 letech budou více než dvě třetiny obyvatelstva bude žít v městských oblastech, což je nárůst ze současných 55 %. ³

V důsledku toho se rozloha zastavěného prostředí zdvojnásobí, což bude znamenat tlak na městské systémy, jako jsou vodovodní, energetické a odpadní sítě. Přestože v posledních desetiletích došlo k mnoha zlepšením v oblasti energetické účinnosti budov a obytnosti měst, prostředí, ve kterém dnes žijeme, je i nadále navrhováno v lineárním modelu "vzít-vyrobít-vyhodit", v němž se materiály získávají z různých zdrojů, používají a následně se likvidují jako odpad. Tento přístup vede k tomu, že zastavěné prostředí je jedním z největších spotřebitelů zdrojů a surovin na světě a je hlavním producentem odpadů a emisí uhlíku.

Neefektivitu využívání zdrojů v současném lineárním modelu lze indikovat na vzniku odpadů – stavební a demoliční odpad.

Stavební a demoliční odpad jako indikátor neefektivity nakládání s materiály v lineárním ekonomickém modelu

Stavební sektor celosvětově produkuje největší množství odpadů ze všech průmyslových odvětví. (Clark, 2006). Celosvětově jsou budovy zodpovědné asi za 40 % veškerého odpadu (podle objemu) na planetě, stejné procento (40 %) je využíváno primárních zdrojů. 33% globálních emisí pochází rovněž ze stavebnictví. (United Nations Environment Programme, 2012; World Resources Institute, 2016).

Stavební a demoliční práce představují 25-30 % všech odpadů vyprodukovaných v EU3F. Výroba cementu pro stavebnictví se podílí téměř 10 % na celosvětovém objemu emisí CO₂. (Acharya, a další, 2018)

Až 2/3 odpadů v ČR mají původ ve stavebním sektoru (stavební a demoliční odpad), tyto materiály mají velké množství vázané energie, která se demolicí znehodnocuje. Je to dáno i tím, že se jedná o odvětví, které využívá produktů jiných odvětví, a to navíc v obrovském objemu.

Stavby bychom mohli považovat za největší a nejsložitější výrobky lidské činnosti. A stejně jakožto jiné výrobky, i

² <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>

³ <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

ony se mohou stát odpadem. Současně je totiž obrovské množství materiálu již ve stavbách samotných, zejména pokud vezme v potaz dědictví předchozích stavitelů. Mohou se tak stát zdrojem materiálu pro budoucí poptávku na materiály. Neefektivita využití těchto zdrojů téměř jistě povede k totálnímu vyčerpání primárních zdrojů (Hossain, a další, 2018).

Hlavní důvody vzniku odpadu ve stavebnictví

Proto, abychom zvýšili efektivitu zdrojů, tedy zamezili vzniku odpadu, je nezbytné identifikovat důvody jeho vzniku a původ. Potenciální odpad a neefektivita využití materiálu vzniká v několika definovatelných momentech a situacích, které lze vztáhnout k průběhu architektonické zakázky a stavby – v lineárním modelu výstavby.

Abychom byli schopni důsledně eliminovat vznik odpadů, je nutné vzít v potaz každý segment jednotlivě, ale i dohromady. Během svého životního cyklu (Life Cycle) jsou totiž budovy vystaveny měnícímu se používání a měnící se rozmanitosti aktérů s odlišnými a / nebo protichůdnými pobídkami, což vede zvýšené nejistotě ohledně budoucích okolností pro opětovné použití stavebních materiálů a součástí. Z těchto důvodů závisí vliv budov na životní prostředí na několika různých vzájemně provázaných attributech, jako je návrh budovy, výběr materiálu, provoz a údržba.

Důvody vzniku odpadu v jednotlivých fázích lineárního modelu výstavby, (Liu, 2015) vztaheno ke standardům výkonu architekta dle ČKA.

VF1. Příprava projektu

1. Absence zadávací dokumentace
2. Není zde podporováno nebo je omezeno využití odpadu
3. Chyby v zadávací dokumentaci

VF2. Návrh Stavby

VF3. Projekt pro umístění stavby

VF4. Projekt pro povolení stavby

VF5. Projekt pro provádění stavby

VF6. Soupis prací a dodávek

1. Absence znalostí a dat o materiálech – využitých i dostupných
2. Absence znalostí o udržitelných materiálech
3. Absence znalostí o principech cirkulární ekonomiky
4. Nestandardní řešení
5. Kolize v předpokladech
6. Nejsou dostupná data o materiálech
7. Není jednoznačně určena zodpovědnost za environmentální dopad budovy
8. Nedostatečná koordinace projektu vzhledem k modularitě materiálu
9. Nedostatečná koordinace změn
10. Absence řešení detailů a návazností

VF 7. Autorský dozor

1. Fáze realizace stavby
2. Chybí koordinace skrze dodavatelský řetězec
3. Chybí supervize udržitelnosti projektu a nakládání s materiály
4. Chyby ve zpracování materiálu či špatné použití a nakládání s výrobkem
5. Chyby ve skladování materiálu a prvků
6. Časová tíseň
7. Doprava
8. Poškození při dopravě
9. Nevhodné úpravy materiálu na místě
10. Nadměrné množství objednaného materiálu
11. Nadměrné množství materiálu vyrobeného na místě
12. Obaly

Fáze vzniku odpadu, mimo standardy ČKA:

Provoz

1. Životní cyklus budovy a jejího vybavení
2. Rekonstrukce nezohledňuje principy zachování materiálu
3. Nedostatečná koordinace

Demolice

Ukončení životního cyklu budovy a jejího vybavení

Současný stav řešení problému odpadů ve stavebnictví ve vztahu k architektonické praxi

Všeobecně se v evropském stavebnictví značně pokročilo v recyklaci odpadů, nicméně je všeobecně přijímaným faktem, že pouze recyklace není dostačující k tomu, abychom dosáhli klimatických závazků, například těch, které stanovují ambiciózní rámce EU. Cílem totiž není dopady pouze snižovat, ale zcela eliminovat. Postupně se tak navyšuje tlak a poptávka po integraci principů, které omezují vznik odpadu a vnímají jakýkoliv materiál, tedy i odpad, jako zdroj.

Současné uvažování o minimalizaci stavebního odpadu je silně zaměřeno na několik otázek týkajících nakládání se stavebním odpadem a procesu recyklace. Ve skutečnosti toho bylo hodně publikováno o způsobech, jak zlepšit nakládání s odpady na místě a recyklační aktivity, ale bylo provedeno jen velmi málo pokusů o řešení vlivu návrhových postupů na produkci odpadu ve stavebnictví.

State of the Art – stav řešení tématu disertační práce

metody a nástroje integrace principů cirkulární ekonomiky do architektonického navrhování

Zkoumané oblasti a zdroje

Rešerše stavu poznání se soustředí zejména na:

1. Cirkulární ekonomika jako řešení environmentálního dopadu budov
2. Cirkulární ekonomika v architektuře a stavebnictví
3. Souhrn principů CE ve stavebnictví
4. Současný stav využívání principů CE v architektonické praxi
5. Existující nástroje pro integraci principů CE do architektonického navrhování – přehled a analýza

Zdrojem pro výzkum jsou literární zdroje a příklady dobré praxe. Tyto zdroje jsou použity zejména pro získání všech metod a postupů, které lze považovat za principy cirkulární ekonomiky.

Vzhledem k tomu, že výzkum má za cíl ověřit možnosti a následně vypracovat praktickou metodu integrace principů CE do navrhování, je podstatnou součástí výzkumu i analýza stávající dobré praxe.

Dalším zdrojem je také analýza praktických pomůcek, které pro integraci principů cirkulární ekonomiky již existují.

Literatura ve vztahu k výzkumu

Recentní literatura nejprve zkoumána pro ověření, zda-li principy CE mohou být aplikovány a vyhodnoceny z hlediska snižování dopadu budov na životní prostředí.

Dále byla literatura zdrojem pro identifikaci a katalogizaci principů cirkulární ekonomiky. Kladen je důraz zejména na principy, které jsou používány v praxi stavebnictví, a tedy i architektů.

Dále byla literatura zkoumána z pohledu praktické aplikace CE do navrhování, tedy, zdali existuje v zahraniční praxi metoda, která byla nejen metodicky navržena, ale také ověřena na případové studii.

Literatura byla s ohledem na rozšiřující se poznatky v tématu omezena od roku vydání 2000.

Na základě studia recentní literatury lze v těchto zdrojích vysledovat shodu, že právě kvůli velkému dopadu staveb, je zde velký potenciál pro redukci, který mohou zajistit právě principy cirkulární ekonomiky. (Tuomo Joensuu, 2020).

Zhodnocení recentní literatury v ČR

V českém akademickém prostředí se tématu integrace cirkulární ekonomiky do praxe architekta praktickou či ICT metodou zatím nevěnuje žádná odborná publikace, či není znám průběžný výsledek probíhajícího výzkumu.

Nicméně silu tématu ilustruje například vydání odborného časopisu ERA21 #02/2022 Uhlíkově neutrální architektura.

Tématu se dotýká několik interních doporučení nejlepší praxe, například Pracovní skupina pro udržitelnost v rámci (PS Udržitelnost, 2021)

Dále je to například deklarace udržitelnosti, která shrnuje body šetrného navrhování budov a principy cirkulární ekonomiky v architektuře. (Centrum pasivního domu)

Zhodnocení recentní literatury ve světovém a evropském kontextu

V zahraniční literatuře lze setkat s větším množstvím zdrojů, které se zabývají principy cirkulární ekonomiky ve stavebnictví. Ty jsou však často zpracovány buď velmi specificky – s jedním kritériem hodnocení šetrnosti budov, tedy pozbývají na komplexitě typickou pro práci architekta, nebo naopak dochází ke všeobecným závěrům a doporučením v duchu nejlepší praxe. Nebo je zde vytyčen princip hodnocení, například LCA, který lze zatím do architektonické praxe aplikovat velmi omezeně. Cirkulární ekonomika je často příliš zjednodušována jakožto nakládání s materiály a odpady.

V literatuře panuje shoda, že architekt má rozhodující roli při snižování odpadu zaměřením na jeho navrhování. Nicméně principy jsou širší, a vyžadují změnu celých dodavatelských řetězců. Zde zatím příliš mnoho výzkumu provedeno nebylo. (Osobajo, 2020). Lze všeobecně vysledovat postupné tendence směřující od analýzy do praxe. Co se týče praktické metodiky, kterou by mohli architekti aplikovat v celém procesu navrhování, nebyla nalezena v recentní literatuře analogie. (Akminien, 2021)

Autor v rámci výzkumu vyhodnocoval možnosti implementace BIM do praxe architekta s ohledem na zavedení vybraného principu CE – tj. v prevenci vzniku stavebního odpadu v jednotlivých fázích výstavby. Z této průběžné seminární práce pak vyplynul závěr, že implementace BIM do procesu navrhování budov má potenciály pro redukci vzniku odpadu a zavedení principů cirkulární ekonomiky. Bariérou však zůstává uživatelská komplexnost tohoto prostředí pro praxi architekta. A také absence dat ve fázích procesu. (Goláš, 2021)

Je také nutné vnímat, že zahraniční praxe architektury se odlišuje v detailnosti a postupu jednotlivých fází (např RIBA).

Cirkulární ekonomika ve vztahu k architektuře a stavebnictví

Potenciál

Cirkulární ekonomika je ve vztahu ke stavebnictví termín, který zastřešuje velké množství principů, jejichž cílem je zlepšení využití zdrojů a vytváření hodnot.

Dnes vnímané principy CE byly přítomné v daleké i nedávné historii. Lze hovořit například o praxi spolia. Který je jedním z prvních dokumentovaných příkladů principu CE – re—use. V bližším historickém kontextu se můžeme ohlédnout i za vernakulárními principy.

Na základě studia recentní literatury lze v těchto zdrojích vysledovat shodu, že právě kvůli velkému dopadu staveb, je zde velký potenciál pro redukci, který mohou zajistit právě principy cirkulární ekonomiky. (Tuomo Joensuu, 2020)

Oběhové hospodářství by tak mohlo v roce 2050 snížit celosvětové emise CO₂ ze stavebních materiálů o 38 %. (The Ellen MacArthur Foundation)

Přechod na cirkulární ekonomiku neznamena pouze úpravy zaměřené na snížení negativních dopadů lineární ekonomiky. Jedná se spíše o systémový posun, který buduje dlouhodobou odolnost, vytváří obchodní a ekonomické příležitosti a poskytuje environmentální a společenské výhody.⁴

Ve stavebnictví se ročně spotřebují více než 3 miliardy tun surovin. Přijetí oběhového hospodářství může pomoci snížit množství odpadu a ušetřit více než 100 miliard dolarů ročně díky zvýšení produktivity stavebnictví. (Guerra, 2021)

Přestože se přístup CE těší stále většímu zájmu, ve stavebnictví se zatím příliš neuplatňuje. (Leising, 2018)

V literatuře panuje shoda, že architekt má rozhodující roli při snižování odpadu zaměřením na jeho navrhování (Designing out waste)

Nejlepších výsledků dosáhneme prodloužením životního cyklu budov s jinými strategiemi, jako například prodloužení bio materiálů, efektivita využití zdrojů a podpora následného využití materiálu v několika životních cyklech. (Eberhardt, 2020)



Obrázek 1 <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/stav-cirkularni-ekonomiky-v-mestech-a-obcich-video/1916183>

Bariéry zavádění principů cirkulární ekonomiky do praxe architekta

Proto, abychom mohli implementovat principy CE je rovněž nutné identifikovat a překonat existující bariéry. Bariéry dle (Hart, 2019).

1. **Kulturní bariéry**
2. **Regulace a legislativa**
3. **Finanční bariéry**
4. **Znalosti**

Tato práce se soustředí zejména na bariéry, které lze překonávat v rámci architektonické praxe a v projekční a stavebně-technické činnosti. Nicméně nesmíme opomenout, že architekt je i členem společnosti jako celku a měl by být aktivní v posouvání těchto témat kupředu ze své perspektivy a se svým přispěním a s etickou rolí architekta vůči světu a společnosti.

Znalosti pro zavedení do praxe

Systematické nástroje „design Support Tools“

Průzkum literatury ukazuje, že zásadní bariérou je absence holistického přístupu k systematické aplikaci – tj. praktické integraci principů CE do navrhování staveb. (Akminien, 2021)

⁴ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>

Principy cirkulární ekonomiky v architektonickém navrhování

V rámci výzkumu byla provedena katalogizace principů a strategií cirkulární ekonomiky v architektuře a stavebnictví. Vůči těmto principům jsou nástroje následně vyhodnocovány, zdali jsou nástroje dostatečně komplexní, tedy zda využívají minimálně určený počet strategií a kde je případně prostor pro rozvoj a vývoj nástrojů. Dále je také uvedeno, zda lze aplikaci principu měřit a případně jak. V následné fázi bude ověřeno, zda metody využijí tyto metriky pro své indikátory cirkularit.

Název Strategie/metody	Zdroj	Základní popis	Existující metriky, norma či standard
Design pro adaptaci (DfA)	(Eberhardt, 2020)	Navrhování pro přizpůsobitelnost změnám. Snadnost a minimalizace environmentálního dopadu těchto změn.	
Design pro dekonstrukci (DfD)	(Eberhardt, 2020)	Návrh umožňuje tak, aby se daly prvky a konstrukce snadno demontovat. Pro přímé opětovné použití nebo recyklaci, snadná skladovatelnost údržbu/provoz a snadnou přizpůsobivost/pružnost. Předpokladem jsou rozebíratelné spoje.	Level(s) Indicator 2.4 Design for Deconstruction DGNB TEC1.6 Ease of recovery & recycling) ISO 20887 BIM-DAS
Design pro flexibilitu (DfF)	(Eberhardt, 2020)	Navrhování pro přizpůsobitelnost změnám. Snadnost a minimalizace environmentálního dopadu těchto změn.	
Cirkulární materiály – substituce (CMS)	(Eberhardt, 2020)	Výběr nebo náhrada materiálů za materiály které jsou např. místní, obnovitelné, přírodní/ekologické/bio, mají nižší dopad na životní prostředí, odpovídají životnosti návrh, dle jednotlivých vrstev budovy (dle Brandt) nejsou toxické, nebezpečné	C2C – cradle to cradle EPD – Environmental Product Declaration (návaznost na výpočet LCA)
Sekundární materiály	(Eberhardt, 2020)	Využívání druhotných surovin či prvků z druhotných surovin v návrhu.	EPD – Environmental Product Declaration (návaznost na výpočet LCA)
Modularita	(Eberhardt, 2020)	Navrhování s principy modularity. Tyto moduly splňují požadavky na dekonstruovatelnost a flexibilitu.	
Prefabrikace	(Eberhardt, 2020)	Navrhování z prefabrikovaných elementů. Ty umožňují snadnou montáž a demontáž. U těchto prvků je také předpokladem omezení výrobních, staveništního a demoličního odpadu.	
Odolnost	(Eberhardt, 2020)	Jedním z principů udržitelnosti je i prodlužování životního cyklu. Prvky a komponenty budovy by měly být navrženy s dlouhým životním cyklem. Tak může být umožněno jejich využití i jako sekundárních elementů.	
Standardizace	(Eberhardt, 2020)	Používá se např. k maximalizaci využití materiálů při na konci životnosti, zajištění možností opětovného použití a recyklace. Omezit počet různých použitých součástí, zamezení odřezků materiálu, prodloužení životnosti výrobku. (Geldermans, 2016) naznačuje, že rozměry prvků nemusí nutně být standardizovány, pokud jsou spoje mezi prvky jsou.	
Optimalizace využití komponentů a materiálů	(Eberhardt, 2020)	Snížení množství použitých materiálů a také počet různých typů součástí a použitých materiálů.	
Reuse budov a komponentů	(Eberhardt, 2020)	Opětovné využití stávajících budov. Adaptive reuse a podobně	
Optimalizace tvarů a formy	(Eberhardt, 2020)	Zjednodušení formy budovy. Zjednodušení formy pro materiály.	
Přístupnost „open design“	(Eberhardt, 2020)	Návrh umožňuje přístup ke komponentům a jejich nezávislou výměnu, např dle jednotlivých vrstev, dle Brandt.	
Oddělitelnost vrstev budovy	(Eberhardt, 2020)	Jednotlivé „vrstvy“ budovy jsou oddělené a umožňují výměnu, aniž by byl nutný zásah do jiné vrstvy. Vrstvy budovy dle (Brand, 1994): Site, Structure, Skin, Services, Spaceplan	

Materiálová banka	Eberhardt, 2020)	Budova je pojímána jako materiálová banka, a tedy je maximalizováno udržení hodnoty materiálu. Je ve spojení s principem dekonstrukce, reuse.	
Dočasnost	(Eberhardt, 2020)	Návrh odpovídá předpokládané trvanlivosti budovy.	
Symbióza/sdílení	(Eberhardt, 2020)	Cirkulární ekonomika propojuje více sektorů. Proto je vhodné při navrhování staveb hledat synergie a symbiózu mimo stavebnictví.	
Produkt jako služba (PAS)	Autor	Koncept kdy vybavení či komponenty budovy nejsou její trvalou finanční součástí a jsou pronajímány. Zpravidla tak dodavatel nese odpovědnost za environmentální dopad celého životního cyklu komponentu.	

Tabulka 1: katalogizované principy cirkulární ekonomiky ve stavebnictví

Zhodnocení principů CE z hlediska zavedení do architektonické praxe

Z výčtu i popisu je patrné, že jak popis, tak implementace jednotlivých strategií návrhu je poměrně vágní a bez dalšího metody není jejich přínos kvantifikovatelný. Některé strategie se navíc překrývají, nebo jsou v přímém protikladu (dočasnost x trvanlivost.)

Nástroje cirkulárního navrhování v architektonické praxi

Jednotlivé strategie návrhu lze sjednotit pod termín Cirkulární navrhování, Design for CE (DfCE).

Současné metody používané v architektonické praxi jsou zejména intuitivní, ve spojení s kreativním procesem navrhování architekta.

Materiálový pasport

Jedním z nástrojů, který je v současnosti systematictěji využíván v ČR je materiálový pas, který může být zpracován v rámci před demoličního auditu a v rámci samotného navrhování stavby, neboť má silnou návaznost na stávající praxi – výkaz výměr.

Strategické principy navrhování

Jedná se o kolaborativní nástroj architektonických týmů a stakeholderů pro definici strategie návrhu. Například ve formě pomůcek pro workshopy. Např: Design Qualities for a Circular Economy,

Výzkum se soustředí zejména na praktické nástroje. Praktický nástroj se od teoretické metody a doporučení liší zejména tím, že je aktivní a systematizovanou součástí navrhování. Nejedná se tak o intuitivní *ad hoc* metodu.

ICT nástroje

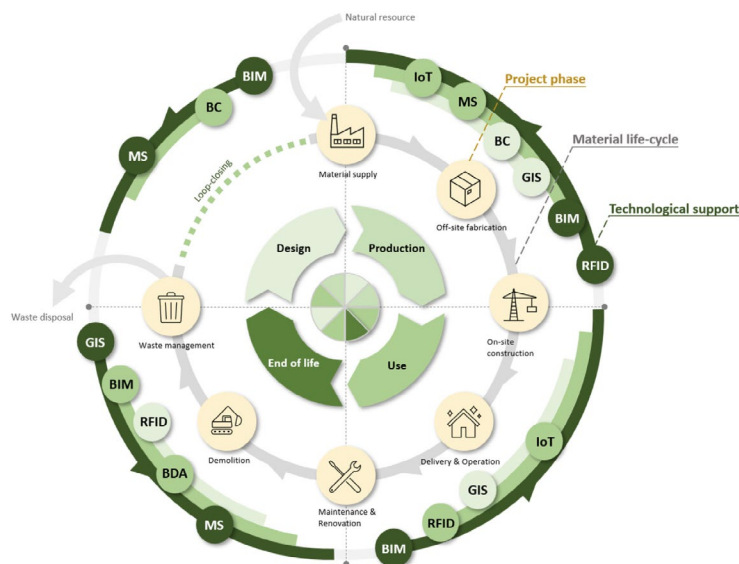
S technologickým pokrokem se data stávají základním přínosem pro stavebnictví pro řízení efektivity budov od fáze návrhu až po dokončení. do konce životnosti. Digitalizace stavebnictví je vnímána jako zásadní prvek pro umožnění a urychlení implementace CE do stavebnictví. (Rahla, a další, 2021)

V rámci byly identifikovány ICT nástroje:

- A. Design Decision Support Tools
- B. Materiálový pas (Material Passport (MP))
- C. ICT nástroje (dle (Yu, 2022))
 - a. BIM
 - b. GIS
 - c. RFID
 - d. Big Data Analysis
 - e. IoT
 - f. BlockChain
 - g. Modelování a simulace
- D. Artificial intelligence (Chauhan, a další, 2022)

Zdrojem pro katalogizaci nástrojů je recentní literatura, zejména odborné časopisy a publikace a vyhledávání existujících nástrojů skrze jejich webové prezentace, na základě klíčových slov: *Architectural design support tools, Circular buildings design tools.*

Přehled nástrojů (design support tools for circular buildings) v abecedním pořadí. Výčet není úplný, neboť nástroje se vyvíjí velmi rychlým tempem. Uvedené



nástroje jsou buďto vyvinuté pro globální, nebo evropské použití. Jejich převážná část je vyvinuta/vyvíjena v regionu Nizozemí, pravděpodobně díky tamnímu strategickému cíli dosažení cirkulární ekonomiky ve stavebnictví.

Obrázek 2: *Aligning ICT-based solutions with construction life-cycle phases towards CE in a three-orbit system covering technological support, material life-cycle, and project phase. Legend: BIM — Building Information Modelling, GIS — Geographic Information Systems, RFID — Radio Frequency Identification, BDA — Big Data Analytic, IoT — Internet of Things, BC — Blockchain, MS — Modelling & Simulation). (Yu, 2022)*

BIM nástroje

BIM se dnes stal nejrozšířenější technologií ve stavebnictví, a to od návrhu až po dokončení projektu a jeho provoz (EY, 2020)

3D modely BIM mohou být rozšířeny o další rozměry, včetně časového plánu (4D), odhadu nákladů (5D), udržitelnosti (6D) a provozní údržby (7D). Diskuse naznačuje, že by se měla používat nová dimenze věnovaná modelování informací o CE, konci životnosti a demontáži (8D). (Charef, 2021)

Co se týče existujících metod integrace, jsou používány jako externí modul pro BIM platformy.

Potenciál integrace BIM a CE v jednotlivých fázích vzniku odpadu

Na základě identifikace problematických míst. Lze identifikovat a předjímat i potenciální body pro integraci BIM a CE do procesu stavění. Tyto potenciály se prolínají jednotlivými fázemi výstavby, neboť to je podstatou integrovaného navrhování budov s pomocí BIM.

Zadání stavby

V rámci této fáze se nepředpokládá využití BIM, pokud se jedná o novostavbu. Nicméně BIM model může sloužit jako podkladní dokumentace například pro rekonstrukci. Lze se již setkat s požadavkem na zpracování digitálního pasportu u budovy, který obsahuje i detaily o jednotlivých materiálech a prvcích. Takový pas může být výhodně použit v rámci podkladové dokumentace pro výběrové řízení kde může být cílem maximálně využít stávající objekt, a tedy omezit vznik odpadu. Je možné také použít BIM model jakožto referenci.

Fáze návrhu stavby

Koordinace s účastníky výstavby

V rámci celého procesu napomáhá jasnější v počátku navrhování. Ze zkušenosti autora jde například o vizuální a technické projevy zadání klienta a architektonického řešení. Tedy dojde k přesnějšímu určení řešení a také optimalizaci. Již od ranného stádia může být design prezentován všem, kteří jsou do procesu zapojení, a tak lze předcházet změnám v průběhu zpracování projektu.

Detekce kolizí

BIM přispívá k detekci kolizí v reálném čase, a tak omezuje vznik odpadu již při samotném návrhu, a to například vizuální kontrolou koordinace a kolizí. Tyto potenciální kolize by byly pravděpodobně identifikovány až v následném kroku realizace, kdy změna může zapříčinit vznik odpadu.

Koordinace projektu - modularita a prefabrikace

BIM sám o sobě je velmi systematickým prostředkem navrhování, kdy pro návrhu stavby podporuje standardizované a modulární řešení, které je jedním z principů CE. – viz metodika.

Pokročilá analýza na základě dat

BIM umožňuje kritériální analýzu dopadů životního cyklu již ve fázi návrhu budovy. Je také možné již ve fázi návrhu vstoupit z hlediska optimalizace odpadů z pohledu Facility Managementu. Posouzení potenciálu environmentální výkonnosti každého návrhu budovy a stavební strategie je zásadní. (Geldermans, 2016)

Simulace

BIM model umožňuje virtuální simulaci různých scénářů využití budovy a materiálů. Jeho využití tak může vést k optimalizaci flexibility a adaptace. Umožňuje také statické simulace na optimalizaci velikosti prvku, a to nejen z hlediska únosnosti a použitelnosti ve svém prvním životním cyklu, ale také těch následných. Například jednou z taktik CE ve dřevostavbách je překvapivě předimenzování prvku, aby mohl být následně opět využit i přesto, že dřevo postupně podléhá rozkladu.

Materiálový Pasport v BIM

Výzkum týkající se integrace MP do BIM je stále v počáteční fázi a vyžaduje hlubší angažovanost ze strany stavebního průmyslu. Digitalizace stavebnictví bude stále čelit několika překážkám, jako je množství dat, která je třeba generovat, jejich kvalita a spolehlivost používaných dat, což bude vyžadovat standardizaci, spolupráci a transparentnost ze strany zúčastněných stran ve stavebnictví v celém hodnotovém řetězci (Rahla, a další, 2021)

Digitální materiálová banka

Z rešerše vyplývá, že pro integraci principů cirkulární ekonomiky je nutné zavést do návrhů celý životní cyklus, tedy měřítko času. A je tak vhodné uvažovat v rámci architektonického návrhu nejen jako o uzavřeném návrhu, ale v jakési otevřené struktuře, kde lze jednotlivé komponenty přidávat či ubírat, a to právě s výhodným využitím BIM modelu. (Eberhardt, 2020)

Digitální tržiště odpadových materiálů

Pokud bychom do BIM prostředí integrovali data z digitálního odpadové tržiště, například Cyrkl, mohli bychom v reálném čase prvky, které se staly odpadem, znovu využít přímo při procesu navrhování. Autor vychází ze své zkušenosti a tvrdí, že toto může být jednou z hlavních bariér při záměru znovu využít materiály, tedy že o materiálu, který by mohl být dispozici, vůbec nevíme.

Digitální knihovna materiálů

Absence klíčových znalostí o materiálech již mohou být obsaženy právě v BIM prostředí, a tedy nedochází k nepřesnostem.

Digitální knihovna udržitelných materiálů

Jedním z analyzovaných problémů je i neznalost materiálů, které by mohli být udržitelnější alternativou ke dnes využívaným prvkům a materiálům. Je tak nasadě integrovat i knihovny udržitelných materiálů, s podporou jejich výrobců.

Digitální knihovna znalostí a poradna

Další možností je sdílení know-how skrze knihovnu znalostí a technik přímo do BIM prostředí. Lze tak hypoteticky mluvit o tom, že by daný software mohl napovídat, jak řešit jednotlivé problémy, tak, aby byla optimalizována udržitelnost projektu.

Fáze realizace stavby

Koordinace s dodavateli

V rámci celého procesu napomáhá jasnější komunikaci napříč celým dodavatelským řetězcem, a to již v počátku navrhování. Vzhledem k tomu, že projekty využívají principy cirkulární ekonomiky jsou zatím v pilotních fázích, je právě na koordinaci skrze celý dodavatelský řetězec kladeno mnoho nároků.

Optimalizace množství materiálů

BIM jednoznačně podporuje přesné výkazy materiálu, který je nezbytné použít. Tedy předchází vzniku odpadu například tím, že nevzniká nevyužitý nebo nevyužitelný materiál či prvky.

Omezení nevhodných úprav na místě

BIM umožňuje koordinaci v reálném čase a je to potenciálně i prostředek, jak omezit zbytečné a nevhodné úpravy prvků a materiálů na místě. A to například ve spojení s rychlou fabrikací prvku pomocí 3D tisku.

Životní cyklus budovy a jejího vybavení

Integrace s Facility Managementem

„Bezešvý“ přenos dat přímo z návrhu do používání budovy (např. digitální dvojče). Umožňuje lepší kontrolu nad staveb budovy, režimem údržby, oprav a revizí. Největší výhody lze předpokládat, pokud se také odborníci na facility management stanou součástí projekčního teamu již ve fázi návrhu.

Zásahy a rekonstrukce tak mohou být optimalizovány, s výhodným využitím dat obsažených v modelu.

Ukončení životního cyklu budovy a jejího vybavení či částí

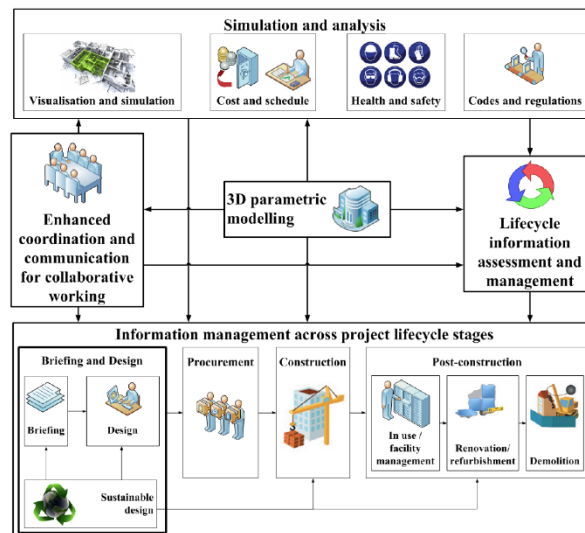
DfD (design for deconstruction) potenciál

Zde BIM model je nápomocný jakožto manuál pro dekonstrukci. Lze tak s jeho pomocí přistoupit k demolici budovy jakožto dekonstrukci a využití „materiálové banky“ budovy (Buildings as Material Banks).

Tento potenciál lze i hodnotit v rámci návrhu budovy, například: *Building Information Modelling based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS)*.

Afterlife - Simulace dalšího využití

Je možné zde prakticky využít model s novými poznatky a případně požadavky na využití materiálu, a to například prostřednictvím simulace využití prvků. Lze také dobře simulovat metodu postupu dekonstrukce.



Obrázek 3 :: Z. Liu, M. Osmani, P. Demian & A. Baldwin (2015) A BIM-aided construction waste minimisation framework.

Automation in Construction, Volume 59, November 2015, Pages 1-23., <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.020>

Katalog nástrojů

Nástroj	Vyvinuto	Publikováno	Rok	Zdroj nástroje
Design Qualities for a Circular Economy (Design principles ((DP))	Vrije Universiteit Brussel (VUB) Architectural Engineering	Le Bati Bruxellois Source de Nouveaux Matériaux (BBSM) Research Consortium	2019	(Cambier, a další, 2020)
Design Principles for Design for Change (DP)				(Cambier, a další, 2020)
Business Model Innovation Grid	Nancy Bocken, Samuel Short, Padmakshi Rana and Steve Evans (University of Cambridge)	Circular Flanders	-	(Cambier, a další, 2020)
Bouwcatalogus Veranderingsgericht Bouwen (DP)	Vlaams Instituut voor Bio-ecologisch Bouwen en Wonen (VIBE)	OVAM	2019	(Cambier, a další, 2020)
Building Circularity Index	Alba Concepts, Verberne Jeroen (TU Eindhoven)	Alba Concepts	-	(Cambier, a další, 2020)
C-calc	Cenergie	Cenergie	2018	(Cambier, a další, 2020)
Circular Building Assessment Prototype	Building Research Establishment (BRE), VITO, University of Twente	Buildings As Material Banks (BAMB) Research Consortium	2018	(Cambier, a další, 2020)
Circular Design Guide	The Ellen McArthur Foundation and Ideo	The Ellen McArthur Foundation	2018	(Cambier, a další, 2020)
Circular Transition Indicators	World Business CouncilFor SustainableDevelopment	Circular IQ	-	(Cambier, a další, 2020)
Circularity Calculator	IDEAL and CO Explore BV	IDEAL and CO Explore BV	2017	(Cambier, a další, 2020)
Circulator	VITO, Circular Flanders, TU Delft, Rasboud University	EIT RawMaterials	-	(Cambier, a další, 2020)
Circulytics	The Ellen McArthur Foundation	The Ellen McArthur Foundation		(Cambier, a další, 2020)
Closing the Loop by Design	UTwente	Remeha BV	2018	(Cambier, a další, 2020)
Ecolizer Ontwerptool	OVAM, VITO	OVAM	2011	(Cambier, a další, 2020)
Green Deal Circulaire Bouwen (Platform)	Circular Flanders, OVAM, Vlaamse Confederatie Bouw	Circular Flanders	2019	(Cambier, a další, 2020)
GaBi Circularity Toolkit (Life Cycle Assessment (LCA))	Sphera	Sphera	-	(Cambier, a další, 2020)
GRO	Het Facilitair Bedrijf	Het Facilitair Bedrijf	2020	(Cambier, a další, 2020)
Harvestmap/OogStkaart (Reused Materials (RM))	Superuse Studios	Superuse Studios	-	(Cambier, a další, 2020)
IMPACT (LCA)	BRE Group	BRE Group	-	(Cambier, a další, 2020)
Insert Marktplaats (RM)	Insert, Buro Boot	Insert	-	(Cambier, a další, 2020)
Kernmeetmethode	Action team (36 participants)	Platform CB'23	2020	(Cambier, a další, 2020)
Level(s)	European Commission Joint Research Centre	EuropeanCommission	2020	(Cambier, a další, 2020)
Madaster platform (Materials Passport (MP))	Madaster Services	Madaster Services	-	(Cambier, a další, 2020)
MarketplaceHUB (RM)	World Business Council for Sustainable Development	World Business Council for Sustainable Development	-	(Cambier, a další, 2020)
Material EIA for Single-Family Dwellings	Elke Meex et al.	UHasselt	2019	(Cambier, a další, 2020)
Milieuclassificaties Bouwproducten	Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE)	NIBE	2019	(Cambier, a další, 2020)
Online Material Flow Analysis Tool (Material Flow Analysis (MFA))	Team Metabolism Of Cities	Metabolism Of Cities	2020	(Cambier, a další, 2020)
One Click LCA (LCA)	Bionova Ltd.	Bionova Ltd.	-	(Cambier, a další, 2020)
Opalis (RM)	Rotor vzw, Atelier 4 5	Rotor vzw	-	(Cambier, a další, 2020)

OpenLCA (LCA)	GreenDelta	GreenDelta	-	(Cambier, a další, 2020)
Platform CB'23 (Platform)	13 companies	Circulair Bouwen 2023 (CB'23)	2018-2023	(Cambier, a další, 2020)
Pixii (Platform)	Pixii	Pixii		(Cambier, a další, 2020)
ReCiPe method (LCA)	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Radboud University Nijmegen, Leiden University, PRé Sustainability	Dutch National Institute for Public Health and the Environment	2018	(Cambier, a další, 2020)
Scenario based Life Cycle Costing (LCC)	Waldo Galle et al.	VUB Architectural Engineering	2016	(Cambier, a další, 2020)
SimaPro (LCA)	PRé Sustainability	PRé Consultants BV	-	(Cambier, a další, 2020)
Stan (MFA)	TUWien, Institute for Water Quality, Resource and Waste Management	TUWien, Institute for Water Quality, Resource and Waste Management	2012	(Cambier, a další, 2020)
Totem	VITO/EnergyVille, KU Leuven, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB)	OVAM, Brussels Environment, Wallonie Service Public	2020	(Cambier, a další, 2020)
Werflink (RM)	Floow2	Werflink	-	(Cambier, a další, 2020)
Regenerate	Danielle Densley Tingley, Will Mihkelson and Charles Gillott from The University of Sheffield, with the assistance of David Cheshire of AECOM.	Aecom, University of Sheffield	2020	Autor
Cyrkl	Cyrkl	Cyrkl	2018	Autor
Circular Buildings Design Toolkit	ARUP, The Ellen McArthur Foundation	ARUP, The Ellen McArthur Foundation	2022	Autor

Kritériální výběr nástrojů do hodnocení

Vzhledem k počtu nástrojů, které se ve své funkčnosti překrývají je výběr do srovnávací rámců omezen na konkrétní nástroje, které splňují základní požadavky při implementaci nástroje do praxe architekta.

Tyto požadavky vycházejí z literárních zdrojů. Jejich kvantifikace je navržena autorem. Lze předjímat, že pro

implementaci do praxe by byl vhodný nástroj, který pomůže architektům se v reálném čase rozhodovat, jak principy aplikovat na budovy a její komponenty. Tento nástroj by měl také umět hodnotit mezi jednotlivými návrhy.

Pouze nástroje splňující stanovená kritéria jsou následně vyhodnocovány v komparačních rámcích.

Kritérium výběru do hodnocení	Hodnocení kritéria	Zdroj kritéria	Zdroj kritéria
A Nástroj je sestaven pro použití ve stavebním sektoru na hodnocení projektů	ano/ne	(Leising, 2018)	
B V reálném čase nabízí doporučení či alternativy řešení	ano/ne	(Leising, 2018)	
C Nástroj bere v potaz celý životní cyklus budovy a využívá alespoň 10 z katalogizované principů CE, vzhledem k časté protichůdnosti opatření a nezbytnost holistického pohledu na problematiku	ano/ne	Autor – dobrá praxe	Není tedy zaměřen pouze na jeden princip CE
D Jednoduchost adopce do praxe – nástroj využívá jen několik zásadních kroků	ano/ne	(Leising, 2018)	
E Nástroj umožňuje teamovou a mezioborovou spolupráci všech účastníků výstavby	ano/ne	(Leising, 2018)	
F Nástroj by měl odpovídat lokálním politikám a legislativě	ano/ne	(Leising, 2018)	Posuzováno dle oblasti, pro kterou byl nástroj vyvinut. Zatím nelze aplikovat pro ČR, nicméně předpokládá se, že strategický rámec CE bude v nějaké míře inspirován zahraničním či metodikami Evropské Komise.
G Nástroj umožňuje vyhodnocení cirkularity návrhu	ano/ne	Autor – dobrá praxe	(v současné době sice neexistuje jednotné ujednání, jak cirkularitu měřit a kvantifikovat, nicméně i bezrozměrné skóre umožňuje porovnat navržené varianty stejného projektu)

Vyhodnocení kritérií

Nástroj	Kategorie nástroje	Kritérium	Zhodnocení	Pozn. k hodnocení
Design Qualities for a Circular Economy	Elektronický dokument Principy návrhu (Design Principles)	A	ano	Elektronické dokumenty nejsou podrobněji hodnoceny
		B	ne	
		C	ano	
		D	ano	
		E	ano	
		F		
		G	ne	
Design Principles for Design for Change	Elektronický dokument Principy návrhu (Design Principles)	A		Elektronické dokumenty nejsou podrobněji hodnoceny
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Business Model Innovation Grid	Elektronická databáze Principy návrhu (Design Principles, Case Studies)	A		Sestaveno pro hodnocení společností, nikoliv pro projekty, dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Bouwcatalogus Veranderingsgericht Bouwen	Elektronický dokument Principy návrhu (Design Principles, Case Studies)	A		Elektronické dokumenty nejsou podrobněji hodnoceny
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Building Circularity Index	ICT nástroj – evaluace návrhu	A	ano	
		B	ano	
		C	ano	
		D	ano	
		E	ano	
		F		
		G	ano	
C-calc		A		Probíhá proces získání testovací licence
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Circular Building Assessment Prototype	ICT nástroj – evaluace návrhu	A	Ano	Vývoj nástroje byl ukončen,
		B	Ne	
		C	Ne	
		D	Ne	
		E	Ne	
		F		
		G	Ne – nástroj hodnotí CO2eq	
Circular Design Guide	Elektronický dokument Principy návrhu (Design Principles) pro teamové workshopy	A		Elektronické dokumenty nejsou podrobněji hodnoceny
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Circular Transition Indicators		A	ne	Sestaveno pro hodnocení společností, nikoliv pro projekty, dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Circularity Calculator		A	ne	Nástroj je vyvinut pro design výrobků. Lze využít pro návrh komponentů, avšak mimo definovanou
		B		
		C		
		D		
		E		

		F		roli architekta. Dále nehodnoceno
		G		
Circulator		A	ne	Sestaveno pro hodnocení společností a obchodních modelů, nikoliv pro návrhy staveb, dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Circulytics		A	ne	Sestaveno pro hodnocení společností a obchodních modelů, nikoliv pro návrhy staveb, dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Closing the Loop by Design		A		Nástroj nenalezen
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Ecolizer Ontwerptool		A	ne	Nástroj je vyvinut pro design výrobků. Lze využít pro návrh komponentů, avšak mimo definovanou roli architekta. Dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Green Deal Circulair Bouwen	Platforma – case studies	A		Platforma ukazuje případové studie, nejedná se o nástroj, který by umožňoval hodnocení návrhu budovy. Dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
GaBi Circularity Toolkit	ICT nástroj – evaluace návrhu - LCA	A	ne	Nástroj je vyvinut pro design výrobků. Lze využít pro návrh komponentů, avšak mimo definovanou roli architekta. Dále nehodnoceno.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
GRO	ICT nástroj – Excelová tabulka evaluace návrhu	A	Ano	Prototyp je kombinací strategií a evaluační tabulky MS Excel. V době hodnocení nebyl nástroj dostupný v jiném jazyce než holandštině. Nástroj je velmi složitý. Dále nehodnoceno.
		B	Ne	
		C	Ano	
		D	Ano	
		E		
		F		
		G	ano	
Harvestmap/OogStkaart	Platforma sekundárních materiálů	A		Platformy sekundárních materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neměně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází sekundárních materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
IMPACT	LCA BIM Plugin	A		Probíhá proces získání testovací licence
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Insert Marktplaats	Platforma sekundárních materiálů	A		Platformy sekundárních materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neměně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází sekundárních materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		

Level(s) Calculation and Assessment Tool		A	Ano	
		B	Ano	
		C	ano	
		D	Ano	
		E	Ano	
		F	Ano – EK EU	
		G	ano	
BRE LIST – The Sustainable Fit out Tool		A		Probíhá proces získání testovací licence
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Madaster platform	Platforma sekundárních materiálů	A		Platformy sekundárních materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neméně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází sekundárních materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
MarketplaceHUB	Platforma sekundárních materiálů	A		Platformy sekundárních materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neméně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází sekundárních materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Milieuclassificaties Bouwproducten	Platforma materiálů	A		Platformy materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neméně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Online Material Flow Analysis Tool (OMAT)	MFA – Material Flow Analysis	A		MFA pro budovy je v architektonické praxi natolik složitá, že byly tyto metody vyřazeny. Navíc nezohledňují komplexitu principů CE.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
One Click LCA	LCA BIM Plugin	A		Probíhá proces získání testovací licence
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Opalis	Platforma sekundárních materiálů	A		Platformy sekundárních materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neméně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází sekundárních materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
OpenLCA	LCA BIM Plugin	A		Probíhá proces získání testovací licence
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Platform CB'23	Elektronická databáze Principy návrhu (Design Principles, Case Studies)	A		
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Pixii	Elektronická databáze	A		
		B		

	Principy návrhu (Design Principles, Case Studies)	C		
		D		
		E		
		F		
		G		
ReCiPe method	LCA	A		Vyvinuto pro LCA produktů, dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
SimaPro	LCA	A	Ne	Vyvinuto pro LCA produktů, dále nehodnoceno
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Stan	MFA	A	ne	MFA pro budovy je v architektonické praxi natolik složitá, že byly tyto metody vyřazeny. Navíc nezohledňují komplexitu principů CE.
		B	ne	
		C	ne	
		D	ne	
		E		
		F	Ano	
		G	ne	
Totem		A	Ano	
		B	Ano	
		C	Ano	
		D	ne	
		E	Ano	
		F	Ano	
		G	Ano	
Werflink		A		-
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
Regenerate		A	Ano	-
		B	Ano	
		C	Ano	
		D	Ano	
		E	Ano	
		F	Ano	
		G	Ano	
Circular Buildngs Design Toolkit		A	Ano	
		B	ano	
		C	Ano	
		D	Ano	
		E	Ano	
		F		
		G	ne	
Cyrkl	Platforma sekundárních materiálů	A		Platformy sekundárních materiálů nejsou hodnoceny jednotlivě, neméně u efektivního nástroje by se dalo očekávat propojení s lokální databází sekundárních materiálů.
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		

Sestavení a vyhodnocení jednotlivých komparačních rámců

Komparační rámec A – Komparace vůči fázím výkonu architektonické praxe v ČR

Vzhledem k tomu, že praxe a terminologie výkonu architektonické praxe se v jednotlivých zemích odlišuje, je vytvořena komparativní tabulka zobrazující překryv jednotlivých fází a nástrojů.

Kritéria hodnocení:

VF1: Příprava projektu

VF2 Studie: Je metoda a funkcionality nástroje vystavěna tak, umožňoval a podroboval rozhodování při stanovení základní celkové strategie principů cirkularity?

VF3+VF4: Umožňuje nástroj vložení dat v této fázi? Např. o množstvích a charakteristice materiálů?

VF5, VF6: Umožňuje nástroj podrobné vložení dat o množstvích a charakteristice materiálů? Umožňuje nástroj jejich export či je lze vyhodnotit přímo v programu z hlediska cirkularity, případně LCA?

VF7: Umožňuje nástroj podrobné vložení dat o množstvích a charakteristice materiálů? Umožňuje nástroj jejich export či je lze vyhodnotit přímo v programu z hlediska cirkularity, případně LCA?

Nástroj	Fáze výkonu architekta dle ČKA							Fáze mimo standard ČKA	Pozn.
	VF1: příprava projektu	VF2: Studie	VF3: DUR	VF4: DSP	VF5: DPS	VF6: SPD	VF7: AD		
Building Circularity Index									
Regenerate								afterlife	
Circular Buildings Design Toolkit								afterlife	
Level(s) Calculation and Assessment Tool								afterlife dekonstrukce	
Totem									

Legenda: odstín zelené vyjadřuje použitelnost a zaměření nástroje na fázi. Použitelnost 1-5, 6-10

Dosavadní výsledky výzkumu

Zhodnocení zdrojů a východisek stavu poznání

Proběhlo mapování a zhodnocení stavu poznání tématu na základě studia recentní literatury. Ze zdrojů vychází potvrzení, že cirkulární ekonomika je téma, na které je nezbytné reagovat i v architektonické praxi. Literární zdroje rovněž potvrzují, že aplikací principů CE dochází k měřitelnému zmírnění dopadů staveb na životní prostředí, a to skrze navrhování.

Identifikace a katalogizace principů CE v architektuře a stavebnictví

Z literatury a případů dobré praxe byly katalogizovány principy CE použitelné a používané v praxi architektka.

Z této katalogizace následně vyplynuli i problematické aspekty praktické implementace. Tedy že doporučení jsou známé, ale jejich využití v praxi je spíše intuitivní a nahodilé. Některé principy si navíc vzájemně odporují a je tedy nutné jejich využití zvážit, přičemž pro toto rozhodnutí je vhodné využít právě ICT nástroj, na rozdíl od literárních zdrojů.

Hypotéza 1: Aby došlo k zavedení principů CE do praxe, je nevhodnější využít ICT nástroj

Ze současné zdrojové literatury a praxe jsou nám známy jednotlivé principy a zásady, kterými bychom se měli řídit při návrhu budov. Lze identifikovat několik strategií, a principů přičemž tyto strategie se mohou překrývat, doplňovat, ale také vzájemně vylučovat. Zásadním problémem není, dle řešerše literatury neznalost těchto pojmů v architektonické praxi, ale zejména neznalost či nemožnost zhodnocení jejich vhodné aplikace – tedy implementace a praktická použitelnost přímo v architektonické praxi.

Vzhledem k velmi rychlému vývoji poznání v problematice je doporučen vývoj nástroje, který může být aktualizován, a to ať již o neustále se rozšiřující případy dobré praxe, dodavatelského řetězce, nebo doporučené přístupy implementace.

Katalogizace existujících ICT nástrojů

Proběhlo mapování současných metod používaných v praxi stavebního sektoru, se zaměřením na region EU. Byla provedena pre-selekce nástrojů do komparačních rámců na základě základních teoretických požadavků pro použití v praxi.

Zhodnocení nástrojů – komparační rámce

Není znám ukončený či probíhající výzkum, který by porovnával jednotlivé existující nástroje mezi sebou a dále z hlediska vhodnosti pro zavedení do architektonické praxe.

Bylo proto zahájeno hodnocení nástrojů skrze komparační rámce A, B, C. Nástroje jsou hodnoceny zejména z pohledu implementovatelnosti do architektonické praxe. Výzkum předpokládá, že následně bude sestaven modelový postup z metod s největším s největším implementačním potenciálem.

Předběžné vyhodnocení rámce A:

- 1. Tento komparační rámec zobrazuje překryv a možné návaznosti nástrojů. Lze tvrdit, že většina nástrojů se překrývá v aplikovatelnosti do jednotlivých fází výkonu. Je tedy na místě hodnotit podrobněji jejich funkcionalitu v návazných komparačních rámcích.*
- 2. Nástroje lze aplikovat již ve fázi architektonické studie, která je pro ovlivnění celkového environmentálního dopadu budovy zásadním a je zásadním aspektem architektonické tvorby.*
- 3. Nástroje zasahují i mimo standard výkonu architektka ČKA – zejména následný provoz a ukončení životnosti budovy jejich částí – pro implementaci principů CE tedy na místě zvážit i rozšířit standardy praxe*
- 4. Pro plné zapojení principů CE dle některých nástrojů je nutné zapojit i další účastníky výstavby (klient, dodavatelé řešení...)*

Závěr

Hypotéza 1: Aby došlo k zavedení principů CE do architektonické praxe, je nevhodnější využít ICT nástroj

Ze současné zdrojové literatury a praxe jsou nám známy jednotlivé principy a zásady, kterými bychom se měli řídit při návrhu budov. Lze identifikovat několik strategií, a principů, přičemž tyto strategie se mohou překrývat, doplňovat, ale také vzájemně vylučovat. Zásadním problémem není, dle řešerše literatury neznalost těchto pojmů v architektonické praxi, ale zejména neznalost či nemožnost zhodnocení jejich vhodné aplikace – tedy implementace a praktická použitelnost přímo v architektonické praxi.

Vzhledem k velmi rychlému vývoji poznání v problematice je doporučen vývoj nástroje, který může být aktualizován, a to ať již o neustále se rozšiřující případy dobré praxe, dodavatelského řetězce, nebo doporučené přístupy implementace.

Hypotéza 2: Z hlediska integrace cirkulární ekonomiky do praxe architekta v prostředí ČR je nejhodnější vyvinout lokalizovaný nástroj pro podporu architektonického navrhování.

Tato hypotéza bude předmětem dalšího postupu výzkumu. V současném stavu výzkumu nelze potvrdit či vyvrátit.

Další navržený postup výzkumu:

Vyhodnocení komparačního rámce B

Komparační rámec hodnotí stav implementace principů a nástrojů CE v současné architektonické praxi v ČR. Následně je provedena komparace nástrojů vůči zásadním potřebám architektonické praxe v ČR s využitím strukturovaných rozhovorů a dotazníků. Metoda převzata z (Cambier, a další, 2020)

Jedním z průběžných výsledků tohoto hodnocení je tak zhodnocení stavu a míry adopce principů CE v architektonických atelierech v ČR. Navrženo pro zpracování samostatného článku v rámci doktorského studia. Tento postup je zvolen i s ohledem na limitované zdroje současného poznání implementace principů CE v praxi architektů v ČR.

Sběr dat:

Výběr participantů:

Geograficky je omezeno na ČR. Předpokládá se vedení rozhovorů s architektonickými ateliery:

1. Již mají nějaké povědomí o cirkulární ekonomické, případně postupně implementují do své praxe navrhování. (zjistitelné například z webových prezentací ateliérů či vydaných článků)
2. Jsou účastníci nebo tvůrci projektu, který využívá principy CE.
3. Jsou členy v organizaci či uskupení které opracuje s principy cirkulární ekonomiky

Celkem je navrženo provedení od 10 rozhovorů. Se svolením účastníků budou nahrávány a poté přepsány do textové formy.

Vyhodnocení komparačního rámce C

Metoda implementace nástroje v porovnání s případovou studií je zvolena pro konkrétní vyhodnocení jednotlivých nástrojů, které splňují požadavky pro integraci do architektonické praxe v ČR.

Případové studie budou zvoleny jakožto zástupce principů dobré praxe, dávající předobraz ideální postupu. Případové studii budou voleny s ohledem na možnost využití principů CE, fázi zpracování projektu, dostupnost dat.

Případové studie budou hodnoceny zejména ve fázi architektonické studie, případně do podrobnosti DSP (vzhledem k potřebným datům o materiálech), které jsou zásadním těžištěm ovlivnění environmentálních dopadů budovy a je také těžištěm architektonické praxe.

Srovnání výsledků komparačních rámců A, B, C

Doporučení pro nástroj

Relevantní publikační činnost autora

Články:

Cirkulární architektura a udržitelnost. Odpadové forum, ročník 21, číslo 3

Dokumenty:

Strategie přechodu Prahy na Cirkulární ekonomiku, spoluautor kapitoly stavebnictví.

Přednášky:

Fakulta architektury ČVUT v Praze – cirkulární ekonomika pro architekty, v rámci předmětu Ekologie I

UMPRUM — cirkulární ekonomika pro nejen architekty

TEDx — Co nás může lego naučit o budoucnosti měst, populárně naučná přednáška o městech jako materiálové bance a urbánním dole

Salon Dřevostaveb — cirkulární ekonomika a udržitelnost

Bibliografie

Acharya, Devni, Boyd, Richard a Finch, Olivia. 2018. *From Principles to Practices: First steps towards a circular built environment.* 2018.

Akminien, Noah Gethsemane. 2021. Application of circular economy principles in buildings: A systematic review. *Journal of Building Engineering.* 2021, 38.

AlejandroGallego-Schmid. 2020. Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment. *Journal of Cleaner Production.* 2020, 260.

Brand, Stewart. 1994. *How Buildings Learn.* 1994.

Brejnrød, Kathrine Nykjær. 2017. The absolute environmental performance of buildings. *Building and Environment.* 2017, 119.

Cambier, Charlotte, Galle, Waldo a Temmerman, Niels De. 2020. Research and Development Directions for Design Support Tools for Circular Building. *Buildings.* 2020, 10.

Centrum pasivního domu, z.s. DEKLARACE UDRŽITELNOSTI. [Online] [Citace: 11. 04 2021.] <https://www.architects-for-future.cz/>.

Circle Economy, INCIEN. 2019. *Circular Prague.* 2019.

Circular design: reused materials and the future reuse of building elements in architecture. Process, challenges and case studies. **Kozminska, Ursula. 2019.** 2019.

2022. Circular Economy Statement Guidance. [Online] 2022. [Citace: 1. květen 2022.] <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/london-plan-guidance/circular-economy-statement-guidance>.

Clark, C., Jambeck, J. and Townsend, T. (. 2006. A review of construction and demolition debris regulations in the United States. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* 36, 2006, 2.

Corona, Blanca. 2019. Towards sustainable development through the circular economy—A review. *Resources, Conservation & Recycling.* 2019.

Design and construction strategies for reducing embodied impacts from buildings – Case study analysis. **Tove, Malmqvist,, a další. 2018.** 2018.

Detaki, Foteini a Timmeren, Arjan van. 2022. Disruptive technologies for a circular building industry. *Building and Environment.* 2022.

Deutz, Pauline. 2020. Circular Economy. [autor knihy] Audrey Kobayashi. *International Encyclopedia of Human Geography (Second Edition).* místo neznámé : Elsevier, 2020.

Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. **Antikainen, Maria, Uusitalo, Teuvo a Reponen, Paivi Kivikyto. 2018.** Linköping : autor neznámý, 2018.

Dokter, Giliam, Thuvander, Liane a Rahe, Ulrike. 2021. How circular is current design practice? Investigating perspectives across industrial design and architecture in the transition towards a circular economy. *Sustainable Production and Consumption.* 2021.

Eberharddt, Leonora Charlotte Malabi. 2020. Building design and construction strategies for a. *Architectural Engineering and Design Management.* 2020.

Eberhardt, Leonora Charlotte Malabi. 2020. *QUALIFYING CIRCULAR ECONOMY IN BUILDING DESIGN PRACTICE.* Aalborg : Aalborg University Press, 2020.

—. **2020.** *QUALIFYING CIRCULAR ECONOMY IN BUILDING DESIGN PRACTICE.* Aalborg : Aalborg University Press, 2020.

—. **2020.** *Qualifying Circular Economy In Building Design Practice: Developing Life Cycle Assessment Design Concepts That Support Implementation Of Circular Economy In The Building Sector.* Aalborg : Aalborg University Press, 2020.

Ellen MacArthur Foundation . 2016. *CIRCULARITY IN THE BUILT ENVIRONMENT: CASE STUDIES.* 2016.

Era 21. 2022. *Era 21 Uhlíkově neutrální architektura.* 2022.

Evropská Komise. 2020. Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Zásady cirkulární ekonomiky při projektování budov.* [Online] 15. 4 2020. [Citace: 29. 3 2021.] <https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/strategicke-dokumenty-pro-udrzitelne>

stavebnictví/zasady-cirkularni-ekonomiky-pri-projektovani-budov-v-navaznosti-na-levels--253983/.

EY. 2020. How Technology Advances are Disrupting the Construction Industry. [Online] 2020. [Citace: 06. 08 2022.] https://www.ey.com/en_us/real-estate-hospitality-construction/corporate-advisory-services/how-technology-advances-are-disrupting-the-construction-industry.

Galle, Waldo, Temmerman, Niels De a Meayer, Ronald De. 2017. Integrating Scenarios into Life Cycle Assessment: Understanding the Value and Financial Feasibility of a Demountable Building. *Buildings*. 2017.

Geldermans, R.J. 2016. Design for Change and Circularity – Accommodating Circular Material & Product Flows in Construction. *Energy Procedia*. 2016.

Goláň, Karel. 2021. *BIM jako vhodná metoda integrace principů cirkulární ekonomiky do navrhování šetrných budov a měst v praxi architekta*. Praha : autor neznámý, 2021.

Guerra, Beatriz C. 2021. Circular economy applications in the construction industry: A global scan of. *Journal of Cleaner Production*. 2021, 324.

Hart, J. et. al. 2019. Barriers and drivers in a circular economy: The case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019, Sv. 80.

Hart, Jim. 2019. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019, 80.

Heisel, Felix. 2020. Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. *Journal of Cleaner Production*. 2020, 243.

Hillebrandt, Annette. 2019. *Manual of Recycling, Buildings as sources of Materials*. Munich : Details Business Information GmbH, 2019.

Hossain, Uzzal a Ng, Thomas. 2018. Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy: An analytical review. *Journal of Cleaner Production*. 2018.

Charef, Rabia. 2021. Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*. 2021, 285.

Chauhan, Chetna, Parida, Vinit a Dhir, Amandeep. 2022. Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting & Social Change*. 2022.

Cheshire, David. 2021. *Handbook to a Building Circular Economy*. London : RIBA, 2021. 9781859459545.

José-Luis Gálvez-Martos, a další. 2018. Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation & Recycling*. 2018, Sv. 136, 0921-3449.

Kanters, Jouri. 2020. Circular Building Design: An Analysis of Barriers and Drivers for a Circular Building Sector. *Buildings*. 2020.

Leising, Eline. 2018. Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool. *Journal of Cleaner Production*. 2018, 176.

Liu, Zhen. 2015. A BIM-aided construction waste minimisation framework. *Automation in Construction*. 2015, Sv. 59.

LIU, ZHEN. 2014. *BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) AIDED WASTE MINIMISATION FRAMEWORK*. 2014.

Lukman, A. Akanbi. 2018. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018, 129.

Md. Uzzal Hossain, a S. Thomas Ng. 2018. Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy: An analytical review. *Journal of Cleaner Production*. 2018, 205.

Mhatre, Purva. 2021. Circular economy in built environment – Literature review and theory development. *Journal of Building Engineering*. 2021, 35.

Ministerstvo životního prostředí. 2021. *Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040*. 2021.

Osobajo, Oke. 2020. A systematic review of circular economy research in the construction industry. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2020.

PS Udržitelnost. 2021. 7 tezí ČKA pro udržitelnou architekturu. [Online] duben 2021. [Citace: 21. Květen 2021.] <https://www.cka.cz/cs/cka/kontakty/pracovni-skupiny/ps-udrizitelnost>.

Rahla, Kamel Mohamed, Mateus, Ricardo a Braganca, Luis. 2021. Implementing Circular Economy Strategies in Buildings—From Theory to Practice. *Applied System Innovation*. 2021, 26.

Raworth, Kate. 2017. *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. místo neznámé: Chelsea Green Publishing, 2017. 1603586741.

Rios, Irel Carolina De los a Charnley, Fiona J.S. 2017. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production*. 2017.

Röck, Martin. 2020. Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*. 2020, 258.

The Ellen MacArthur Foundation. Reimagining our buildings and spaces for a circular economy. [Online] <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/built-environment/overview>.

Till, Jeremy. 2009. *Architecture Depends*. místo neznámé: MIT Press, 2009.

Tuomo Joensuu, Harry Edelman, Arto Saari. 2020. Circular economy practices in the built environment. *Journal of Cleaner Production*. 10. 12 2020.

Yu, Yifei. 2022. Circular economy in the construction industry: A review of decision support tools based on Information & Communication Technologies. *Journal of Cleaner Production*. 2022, 349.