

RECONMATIC – nový evropský projekt zaměřený na pokročilé technologie a postupy při nakládání se stavebním a demoličním odpadem v životním cyklu staveb

Ing. Jan Valentin, Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze

Ing. Václav Nežerka, Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze

doc. Ing. Pavel Tesárek, Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze

Prof. Juan A. Ferriz-Papi, University of Salford (UK)

Prof. Yong Wang, University of Manchester (UK)

Dr. Alfonso Arevalillo Roman, TECNALIA (Španělsko)

Souhrn

Stavební a demoliční odpad (SDO) tvořil v roce 2018 téměř 36 % celkového odpadu vyprodukovaného v Evropské unii. Postupně se daří zvyšovat míru využití těchto odpadů, avšak převážně pro účely s nízkou přidanou hodnotou. Proměnlivé složení a vlastnosti SDO podkopávají důvěru zákazníků, kteří dávají přednost primárním materiálům s certifikovanými vlastnostmi a mnohdy za konkurenceschopnější hodnotu/cenu. Cíle nulové spotřeby energie a nulového odpadu vedou k přehodnocení hodnotového řetězce odpadů, což vyžaduje hledání nových technologií pro snížení emisí uhlíku a objemu odpadů směrem k účinnějšímu a oběhovému systému. Tento příspěvek představuje nástin přístupů ke zlepšení nakládání s SDO, které budou rozvíjeny v rámci nově podpořeného projektu v programu Horizon Europe - projekt RECONMATIC. Tento projekt bude vyvíjet digitální a automatizovaná řešení na podporu pokročilého nakládání s SDO směrem k dosažení bezodpadového hospodářství a bude zkoumat aplikace technologií v různých fázích celého životního cyklu staveb. Technické otázky budou rozvíjeny v oblastech, jako je třídění materiálu, předdemoliční audity, selektivní dekonstrukce, postupy průběžného sledování vzniku a využití odpadu, stejně jako širší ekonomicko-sociální otázky, jako je obchodní model, zdraví a bezpečnost, udržitelnost a úroveň technologické připravenosti evropského trhu. RECONMATIC si klade za cíl nastolit změnu paradigmatu v oblasti nakládání s SDO tím, že pomůže stavebnímu průmyslu učinit krok ke změně v rozvoji oběhového hospodářství.

Klíčová slova: SDO; digitalizace; automatizace; životní cyklus; oběhové hospodářství; řízení nakládání s SDO

Úvod

Velikost stránky je A4, horní a dolní okraje 25 mm, levý a pravý okraj 15 mm. Veškeré písmo je fontem Ariel, řádkování jednoduché. Vlastní text příspěvku 11 bodů, zarovnaný do bloku, za názvy kapitol a mezititulky doporučujeme přidanou mezeru 6 bodů.

Stavebnictví představuje dlouhodobě jednoho z největších producentů odpadu na světě. Ročně se stavební činností a produkcí vygeneruje více jak 10 miliard tun stavebního a demoličního odpadu (SDO), který je do značné míry nadále ukládán na skládky, kde dle dostupných zdrojů zabírá 35-65 % kapacit těchto skládek [1]. Čína, Spojené státy (USA) a Evropská Unie (EU) přitom tvoří tři největší producenty SDO [2]. Zaměříme-li se na evropský kontinent, potom více jak třetina celkového množství vyprodukovaného odpadu v EU pochází ze stavebnictví, zatímco ve Velké Británii (budeme-li ji nyní již vnímat jako subjekt mimo EU) to v roce 2018 bylo dokonce 48,8 % [3]. Míra statisticky vykazovaného využití SDO v EU-28 činila v roce 2020 přibližně 90 % [4], avšak převážně pro účely s nízkou přidanou hodnotou (zasypávání), což obecně představuje jiný problém i výzvu současně, jež můžeme v souvislosti s touto skupinou odpadů sledovat. Bezesporu je povzbudivé, pokud tak vysoké číslo dokážeme využít, méně přívětivá je skutečnost, že do stavebních produktů vloženou ekonomickou či energetickou hodnotu tímto degradujeme. Zdaleka ne vždy to je nezbytné a jediné vhodné řešení, je

však zpravidla nejjednodušší a hlavně ekonomicky nejméně náročné. Cíle stanovené Evropskou unií (70 % využití SDO do roku 2020) se podařilo splnit téměř všem evropským zemím, ale v souvislosti s novou Zelenou dohodou pro Evropu [5], rámcovou směrnicí EU o odpadech [6] a také ambicí dosáhnout v některých zemích do roku 2050 nulové úrovně odpadu [7] [8] se objevují zcela nové výzvy. To ukazuje na potřebu celkového zefektivnění přístupu k SDO, k postupům docílení konce odpadu či přeměny na vedlejší produkty a k vývoji nových řešení zdola nahoru, která mohou být účelně implementována průmyslem a mohou reálně podpořit dosažitelnost těchto cílů.

Využití technologických, digitálních a automatizovaných technik nebo procesů pro oběhové hospodářství ve stavebnictví může překonat výzvy, kterým momentálně čelí odvětví nakládání s SDO [9] ať již z hlediska předcházení vzniku odpadu, nebo efektivní separace a předcházení kontaminace různých druhů SDO navzájem, či pochopení značného potenciálu recyklace a opětovného použití, který ve stavebnictví zdaleka není vyčerpán. Inspirovat se můžeme v řadě jiných odvětví, kde se podobné přístupy v menší či větší míře daří postupně prosazovat a umožňuje to nový pohled na celé hodnotové řetězce. V uplatňování digitálních a automatizovaných řešení přitom existují mezery [10] [11], jež je třeba identifikovat a porozumět jim, aby bylo následně proveditelné cílené nasazení těchto nových trendů.

Cílem tohoto příspěvku je přiblížit čtenářům hlavní výzvy pro úspěšné zavedení zásad oběhového hospodářství v oblasti nakládání s SDO a nastínit možná digitální a automatizovaná řešení, která mají být postupně vyvinuta a praktickými aplikacemi ověřena v rámci projektu RECONMATIC, jenž je od poloviny roku realizován jako součást programu Horizon Europe.

Identifikované výzvy

SDO se vyznačuje tím, že má jeden z největších odpadových toků, protože převažují jeho vlastnosti odvozené od toho, jak vzniká (stavební výroba, demolice, produkce stavebních výrobků a konstrukcí), jako je velký objem a hmotnost. Současně však lze poměrně dobře předjímat, že díky vysokému podílu inertních materiálů způsobuje SDO ve vztahu ke svému objemu relativně nejmenší zátěž pro životní prostředí, a jednou z hlavních stinných stránek představují a týkají se logistiky (přepravy s druhotnými dopady na životní prostředí a například nadměrné zatěžování existující infrastruktury) a záboru půdy [12]. Ding et al. [13] odhadli, že dopad jedné tuny SDO odvezeného na skládku představuje přibližně 3,4 m³ skládkového prostoru, 512 kg emisí skleníkových plynů, 20 kg ztrát hnojiv a 57 m³ ztrát vody v půdě. Tento dopad nabírá na vážnosti a jisté dramatickosti s rozvojem a zaváděním nových a složitějších materiálů a výrobků, jako jsou plasty, silikony, moderní syntetické barvy atd., jejichž toxicita roste a jež mají vysoké emise zabudovaného uhlíku, při jejich zpracování či odstraňování na konci životnosti i v samotných výrobních procesech. Společně s kombinací mnoha různých materiálů, které se při výstavbě uplatní, činí z řízení nakládání s odpady skutečnou výzvu, s níž se stavební odvětví momentálně obtížně vyrovnává.

Třídění jednotlivých druhů odpadů, heterogenita v důsledku mnoha výrobků a součástí, z nichž se stavby skládají, stejně jako i degradace materiálu během životního cyklu stavby se stávají hlavními nedostatky pro zajištění kvality a akceptování druhotných materiálů ve stavebních výrobcích a konstrukcích. Potíže zhoršuje nejistota ohledně vlastností materiálu a nedostatek technických údajů, specifikací, postupů kontroly a zajištění kvality [9] [14]. Existuje přitom celá řada problémů spojených s identifikací prodloužení životnosti jednotlivých materiálů, s dosahováním snahy o zvýšení míry selektivní demolice/dekonstrukce, jakož i se snížením kontaminace a přítomnosti nečistot v konkrétních typech odpadů, resp. recyklovatelných materiálů (např. beton z demolic kontaminovaný sádkokartony, kusy plastů, dřeva apod.). Tato skutečnost pak brání přesnosti ve sledovatelnosti nebo předvídatelnosti stavebních a demoličních odpadů [15] z hlediska jejich další využitelnosti. To následně logicky podkopává důvěru zákazníků nebo potenciálních zpracovatelů recyklovatelných materiálů, což má za následek znehodnocení materiálu a jeho podhodnocené využití, nebo dokonce vede k ukládání na skládky, protože kontaminace neumožňuje jeho rozumné využití.

Opětovně použité a recyklované materiály jsou regulovány a nemají specifické technické překážky, ale tyto materiály čelí na trhu jasné konkurenci primárních materiálů (např. označení výrobku

harmonizovanou CE značkou má menší požadavky na sledovatelnost primárních materiálů). Další překážky jsou identifikovány v souvislosti s dostupností (pokud jde o jejich komercializaci a logistiku), ekonomikou nových výrobků (nákladová efektivita a ziskové marže, a to i s ohledem na rostoucí uplatňované poplatky za skládkování) a přijatelností konečnými zákazníky [12].

Kromě toho se nakládání s SDO stává výzvou pro malé a střední podniky [16], které jsou na jedné straně páteří průmyslu, na straně druhé mnohdy samy sebe nevystavují tlaku korporátních kultur a směřování k udržitelnosti. V neposlední řadě pak velmi často mají malou ekonomickou a lidskou kapacitu věnovat se zlepšování a rozvoji nových řešení. Subdodavatelské systémy pak představují další škodlivý faktor. Yu et al. [17] a Munaro et al. [18] identifikují vysokou roztržitost hodnotového řetězce odpadů a neefektivní spolupráci mezi zúčastněnými stranami, které často postrádají společné porozumění a vizi, což komplikuje rozvoj politik efektivní recyklace či opětovného využívání. Zjednodušeně řečeno lze říci, že jedni se snaží mnohdy nepotřebných produktů či materiálů zbavit pokud možno za minimální či nulové náklady, další se snaží je rozumně přeměnit, avšak s cílem generovat přitom přiměřený zisk. Třetí skupina pak obecně nedůvěřuje recyklovaným produktům nebo nechce akceptovat, že i produkt vzniklý recyklací je prodáván za nějakou hodnotu.

V neposlední řadě je důležité zdůraznit vysokou závislost na mechanizaci obsluhované lidmi a na velké míře manuální práce, kterou je stavebnictví charakteristické. Toto vysoce konzervativní odvětví je jen velmi pomalu přístupné inovacím, což ztěžuje zavádění nových technologií. Uplatnění a rozvoj digitálních řešení, ačkoli jsou v jiných odvětvích velmi úspěšná, jsou ve stavebnictví pomalá, protože nejsou zcela akceptována a integrována do procesů a technik používaných v tomto odvětví. Příkladem bezesporu je míra a rychlost, se kterou se daří ve stavebnictví prosazovat principy digitálního stavění, jež se obecně vymezují jako BIM (building information modelling/management).

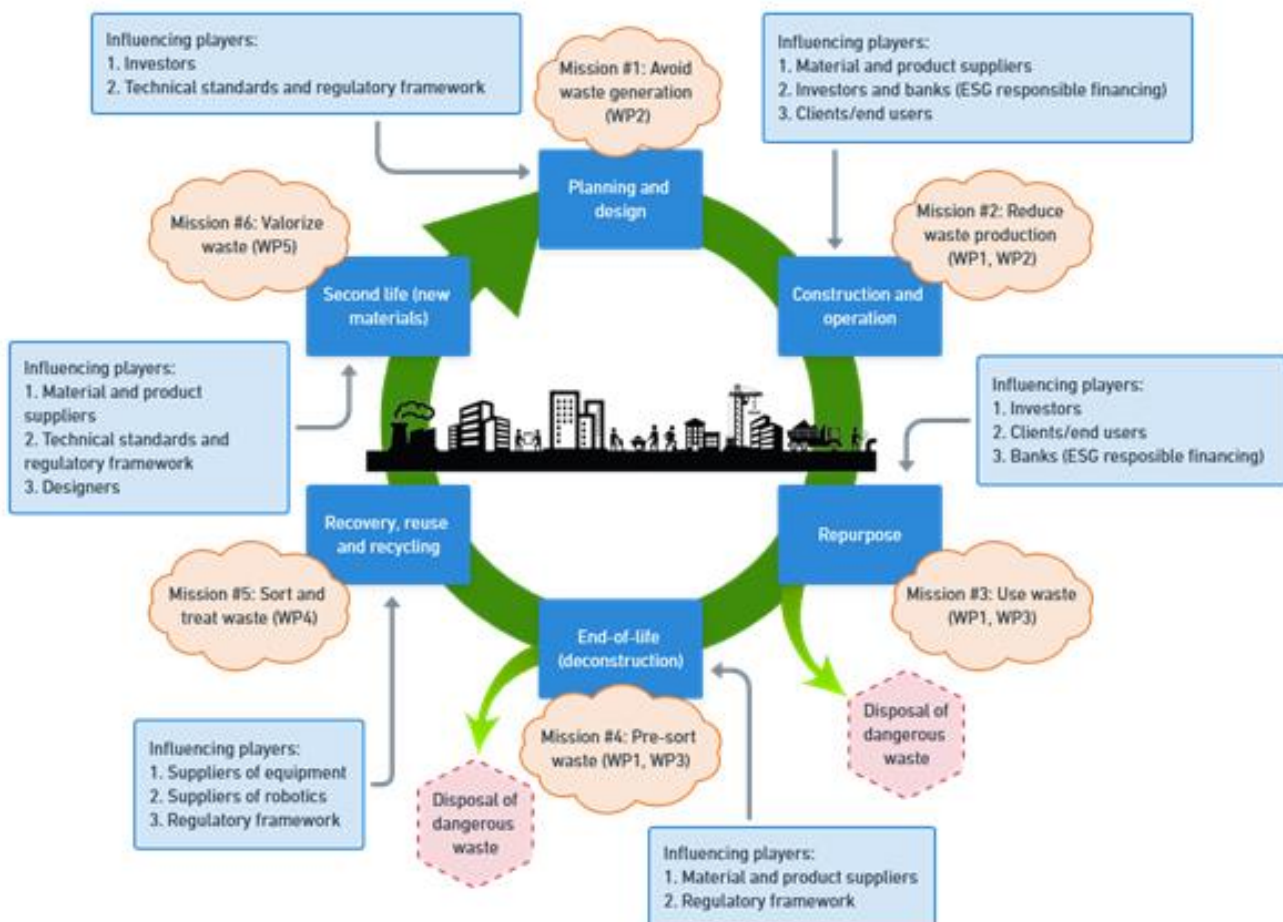
Projekt RECONMATIC – jeho vize a cíle

Ajayi et al. [19] identifikoval pět hlavních faktorů, které je třeba změnit ve stavebnictví: (i) povýšit princip „do for waste“ do roviny obecného předpokladu a přístupu změny; (ii) změnit kulturu nespolečné spolupráce mezi zúčastněnými stranami zapojenými do hodnotového řetězce odpadů; (iii) rozdělení odpovědnosti předcházení odpadu mezi projektanty a zhotovitele; (iv) změnit zažitá přesvědčení o nevyhnutelnosti odpadů; a (v) minimalizovat konzervatismus, který zpravidla podkopává inovativní myšlení. Mezinárodní asociace pro tuhé odpady v této souvislosti zdůrazňuje potřebu širokého zapojení a spolupráce zúčastněných stran [20]. Tyto závěry lze přitom přímo aplikovat nejen na vnitřní trh EU, ale i na konkrétní stav a podmínky v ČR.

Relevantní je zavádění automatizace a digitálních řešení v hodnotovém řetězci odpadů a nakládání s SDO. Mnoho digitálních technologií (např. GIS systémy, informační modelování budov (BIM), 3D tisk nebo analýza geoprostorových dat [10]) se vyvíjí v různých částech stavebnictví, ale v oblasti nakládání s SDO zatím chybí. Purchase et al. [21] uvádí, že je možné překonat technické překážky v hodnotovém řetězci odpadů integrací inovativních řešení. Oluleye et al. [11] identifikuje pokročilé technologie a inteligentní nástroje pro podporu rozhodování o způsobech nakládání s SDO v rámci oběhového hospodářství, včetně efektivního využívání umělé inteligence (AI), virtuální reality (VR) či rozšířené reality (AR), procesů a aplikací na principu blockchainu, kybernetické bezpečnosti, robotiky atd.

Lze uvažovat a identifikovat přednosti a potenciály jednotlivých výše uvedených technologií, s jejichž pomocí by bylo možné dosáhnout hmatatelných zlepšení v oblasti nakládání s SDO. Proto konsorcium projektu RECONMATIC identifikuje jako důležité zaměřit se na následující hlavní cíle: (1) tok SDO musí být efektivně minimalizován; (2) produkováný SDO musí být účelně zpracován a lépe kontrolován v celém životním cyklu, aby bylo možné jeho využití pro nové výrobky s vyšší přidanou hodnotou, se správnou sledovatelností a zajištěním kvality. Zvláštní důraz je kladen na identifikaci potřeb všech zúčastněných stran zapojených do hodnotového řetězce, který se vznikem, nakládáním a přeměnou stavebního a demoličního odpadu souvisí, a na poskytování sledovatelných informací se všemi nezbytnými certifikáty nebo obdobnými technickými dokumenty, jak je požaduje stavebnictví. Přijatá řešení by měla být integrovaná a snadno akceptovatelná pro všechny zúčastněné strany.

S ohledem na existující evropské normy a poznatky předešlých analýz hodnotového řetězce odpadů [1] [7] [11] [12] [15] je možné stanovit vztah mezi fázemi celého životního cyklu existujících staveb a hodnotovým řetězcem odpadů (obrázek 1). Tento vztah byl využit ke stanovení úkolů projektu RECONMATIC a k identifikaci určujících subjektů, jež mohou procesy související s optimálním řízením SDO ovlivnit a které se budou podílet na jejich integrované realizaci. Z těchto úvah konsorcium RECONMATIC odvozuje cíle prezentované na obrázku 2, jejichž zajištění bude klíčové pro dosažení nadřazeného obecného cíle generování nulového odpadu do roku 2050.



Obrázek 1. Fáze životního cyklu budovy či infrastrukturní stavby z hlediska oběhového hospodářství, identifikace úkolů projektu RECONMATIC v hodnotovém řetězci odpadů a klíčových aktérů



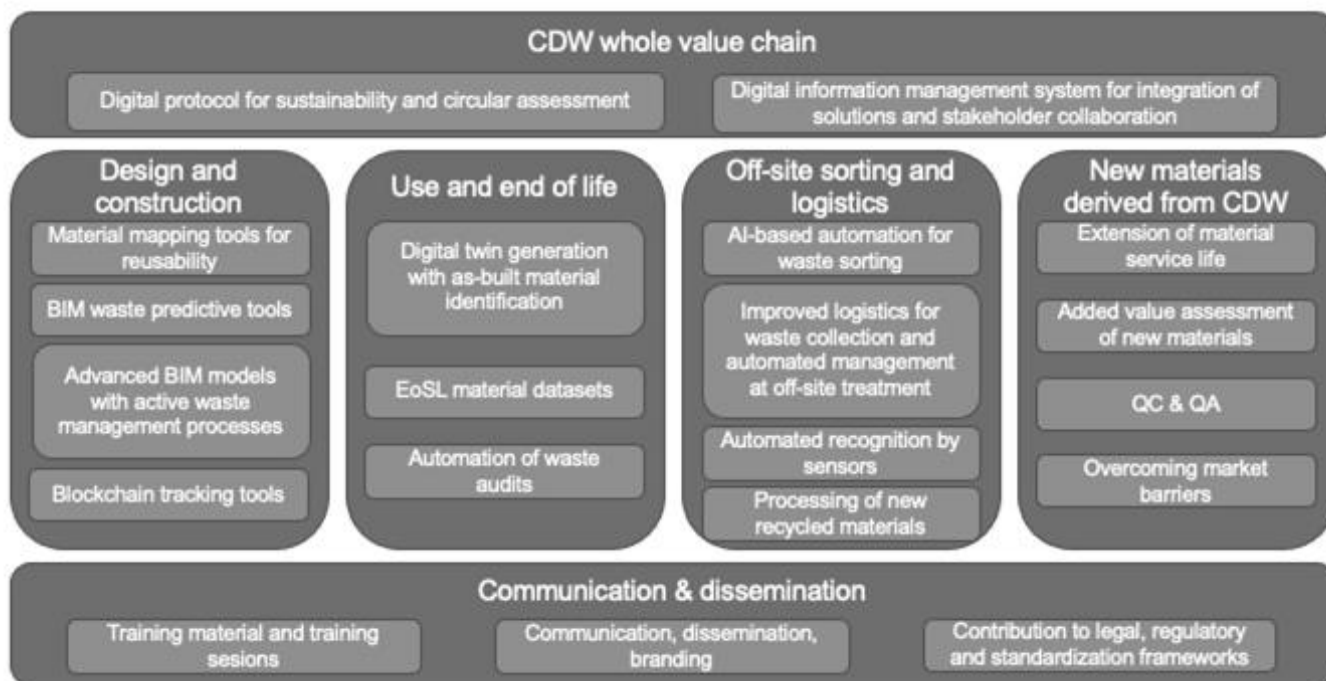
Obrázek 2. Cíle projektu RECONMATIC odvozené z jeho hlavního zaměření

Přehled implementace v rámci projektu RECONMATIC

Hlavním cílem projektu RECONMATIC je testovat, ověřovat a integrovat inovativní řešení a nástroje pro nakládání s SDO v rámci celého životního cyklu budov a infrastrukturních staveb a řešit tak výzvu, aby se stavebnictví v Evropě postupně stalo v nadcházejících 20-30 letech odvětvím s nulovým odpadem, odpovědným k přírodním zdrojům a s nízkou spotřebou energie. Klíčovým aspektem je právě porozumění potřebnosti celoživotního pohledu na stavby a řízení odpadové problematiky tímto prismaem, tedy, kde je to možné budoucímu vzniku odpadu předcházet, pokud vzniká, tak jej minimalizovat a pokud při dosažení konce života musí vzniknout, tak mít připravený plán pro další životní cyklus. Tohoto cíle bude dosaženo zavedením následujících metod, nástrojů nebo řešení:

- Digitální nástroje pro sledování a správu materiálů / stavebních výrobků a SDO.
- Automatizovaná řešení pro dekonstrukci a třídění odpadu.
- Meziodvětvová holistická řešení pro efektivní využívání zdrojů zahrnující výrobce stavebních materiálů (např. beton, keramika, sádra atd.).
- Prokazatelná účinnost předchozích řešení v reálných případových studiích.
- Hodnocení udržitelnosti těchto řešení.
- Vzdělávací/školící podklady, normy, politiky a osvědčené postupy pro dosažení cílů nulového odpadu.

Uvedená řešení prostupují čtyřmi hlavními intervenčními fázemi nakládání s SDO (projektování a výstavba; použití a konec životnosti; třídění a logistika mimo staveniště; a nové materiály získané z SDO ideálně s vyšší přidanou hodnotou) a obecnými otázkami ovlivňujícími celý hodnotový řetězec odpadů (tj. sledovatelnost a hodnocení, školení a šíření informací). Struktura RECONMATIC je znázorněna na obrázku 3.



Obrázek 2. Struktura zaměření projektu RECONMATIC (BIM: Building Information Modelling; EoSL: End-of-service life; QC: Quality control; QA: Quality assurance)

RECONMATIC identifikuje a postupně zavede reálně dosažitelné nové technologie, z nichž mnohé jsou již úspěšně implementovány v jiných odvětvích, jako je automobilový průmysl, letecký průmysl, digitální komunikace nebo obecná průmyslová výroba, s cílem dosáhnout přechodu z úrovně

technologické připravenosti TRL 4 (technologie ověřená v laboratořích) na úroveň TRL 7 (demonstrace prototypu systému v provozních podmínkách).

Rozvíjené inovace budou řešeny v různých fázích životního cyklu staveb a tedy s různou perspektivou z hlediska existence/generování či možnosti předcházení vzniku SDO a budou zahrnovat účast všech příslušných a v procesu životního cyklu se vyskytujících stran, včetně výrobců stavebních produktů, projektantů, dodavatelů stavebních a demoličních prací, developerů a správců nebo zpracovatelů odpadů. Pro účinné usnadnění minimalizace nebo snížení vzniku odpadů a maximalizaci míry využití odpadů směrem ke konečnému cíli oběhového hospodářství je nezbytné vyvinout nástroje pro spolupráci, digitální aplikace a rozmanitou škálu automatizovaných systémů, jak je znázorněno na obrázku 3. Bude vyvinut digitální nástroj pro hodnocení oběhového hospodářství a udržitelnosti technologií, který pomůže výrobním či stavebním společnostem vyhodnotit dopady zavádění jimi nově rozvíjených technologií.

Projekt RECONMATIC je čtyřletý (2022-2026), ale očekává se, že jeho dopady budou dlouhodobé. Očekává se, že zvolené přístupy „zdola nahoru“, které budou uplatněny a v jednotlivých řešeních akcentovány, umožní dosáhnout snížení produkce odpadů i emisí CO₂ (přispějí především ke snížení emisí zabudovaného uhlíku). Dalšími očekávanými dopady je podstatné zvýšení využití SDO (minimálně 80 % využití vyprodukovaného objemu, 50 % opětovného použití) a nové hodnotové řetězce a udržitelné obchodní modely pro oběhové hospodářství ve stavebnictví prostřednictvím mobilizace a odstraňování překážek mezi meziodvětvovými aktéry, kteří se zapojují do různých fází životního cyklu staveb. Očekává se, že poznatky získané z nástrojů vyvinutých v rámci projektu RECONMATIC mohou ve výsledku být přínosem pro politiky a regulační rámce „shora dolů“ k dosažení cílů nulové produkce odpadu na úrovni jednotlivých členských zemí a regionů napříč EU.

RECONMATIC je klíčovou příležitostí k urychlení dvojího ekologického a digitálního přechodu výrobního a stavebního odvětví. To nejen zvýší produktivitu a inovační kapacitu, ale poskytne atraktivnější a bezpečnější pracovní příležitosti pro zvyšování kvalifikace v oblasti nakládání s vysoce hodnotným CDW a může vytyčit věrohodnou cestu ke klimaticky neutrálnímu, oběhovému a digitalizovanému stavebnictví.

Závěr

Systém efektivního řízení nakládání CDW čelí mnoha výzvám díky značně fragmentovanému, víceoborovému a konzervativnímu sektoru stavebního průmyslu. RECONMATIC identifikuje řadu příležitostí k rozvoji nových a udržitelných obchodních modelů a zlepšeného řízení hodnotových řetězců prostřednictvím implementace digitálních a automatizovaných řešení zahrnujících funkčně automatizované nástroje pro spolupráci mezi jednotlivými účastníky (datová platforma, blockchainové aplikace apod.), datové knihovny a digitální aplikace. Tyto nástroje překonají překážky v rámci odvětví, které jsou dědictvím mnoha fází životního cyklu vybudovaných aktiv (budov a infrastrukturních staveb) a zapojení mnoha zúčastněných stran, jež mnohdy vnímají připravované či realizované a spravované dílo rozdílnými pohledy a s odlišnými přístupy nebo očekáváními.

Nástroje, které budou postupně vyvinuty v rámci řešení projektu RECONMATIC, budou během realizační fáze prakticky aplikovány a vyhodnoceny v přibližně šesti demonstračních studiích/aplikacích.

Poděkování

RECONMATIC je projekt realizovaný v rámci programu Horizon Europe a financovaný Evropskou komisí (HORIZON-CL4-2021-TWIN-TRANSITION-01-11, projekt 101058580), doplněný záručním fondem UKRI (britské ministerstvo výzkumu a inovací). Projektové konsorcium tvoří 23 partnerů ze zemí EU (Česká republika, Španělsko, Itálie, Řecko a Kypr), Spojeného království a Číny. Vyjádřené názory a stanoviska jsou názory a stanovisky autorů a nemusí nutně odrážet názory a stanoviska Evropské unie nebo UKRI, proto za ně nelze nést odpovědnost.

Použitá literatura

- [1] K. Kabirifar, M. Motjahedi, C. Wang, V. Tam, "Effective construction and demolition waste management assessment through waste management hierarchy; a case of Australian large construction companies", *Journal of Cleaner Production*, vol. 312, p. 127790, 2021.
- [2] C. Zhang, M. Hu, F. Di Maio, B. Sprecher, X. Yang y A. Tukker, "An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe", *Science of Total Environment*, vol. 803, p. 149892, 2022.
- [3] Eurostat, "Generation of waste by economic activity", [online]. Zdroj: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00106__custom_2913753/default/table?lang=en.
- [4] Eurostat, "Recovery rate of construction and demolition waste", [online]. Zdroj: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm040/default/table?lang=en.
- [5] European Commission, "The European Green Deal", Brussels, 2019.
- [6] European Parliament, "Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste", *Official Journal of the European Union*, vol. L 150, pp. 109-140, 14th June 2018.
- [7] K. Adams, «Zero avoidable waste in construction: what we mean by it and how best to interpret it,» Robert Pearce & Jane Thronback of the Construction Products Association, 2020.
- [8] Government of the Netherlands, "Circular Dutch economy by 2050", [online]. Zdroj: <https://www.government.nl/topics/circular-economy/circular-dutch-economy-by-2050>.
- [9] A. Shojaei, R. Ketabi, M. Razkenari, H. Hakim y J. Wang, "Enabling a circular economy in the built environment sector through blockchain technology", *Journal of Cleaner Production*, vol. 294, p. 126352, 2021.
- [10] S. Sepasgozar, D. Mair, F. Tahmasebinia, S. Shirowzhan, H. Li, A. Richter, L. Yang y S. Xu, "Waste management and possible directions of utilising digital technologies in the construction context", *Journal of Cleaner Production*, vol. 324, p. 129095, 2021.
- [11] B. Oluleye, D. Chan, A. Saka y T. Olawumi, "Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions", *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, p. 131927, 2022.
- [12] J. Gálvez-Martos, D. Styles, H. Schoenberger, B. Zeschmar-Lahl, "Construction and demolition waste best management practice in Europe", *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 136, pp. 166-178, 2018.
- [13] Z. Ding, G. Yi and V. H. T. Tam, "A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China", *Waste Management*, vol. 51, pp. 130-141, 2016.
- [14] M. Adams, T. Fu, A. Guerra Cabrera, M. Morales, J. B. I. O. Ideker, "Cracking susceptibility of concrete made with coarse recycled concrete aggregates", *Construction and Building Materials*, vol. 102, no. Part 1, pp. 802-810, 2016.
- [15] T. Joensuu, H. Edelman, A. Saari, "Circular economy practices in the built environment", *Journal of Cleaner Production*, vol. 276, p. 124215, 2020.
- [16] M. Ramos and G. Martinho, "Influence of construction company size on the determining factors for construction and demolition waste management", *Waste Management*, vol. 136, pp. 295-302, 2021.
- [17] Y. Yu, V. Junjan, D. Yazam and M. Iacob, "A systematic literature review on Circular Economy Implementation in the construction industry: a policy-making perspective", *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 183, p. 106359, 2022.
- [18] M. Munaro, S. Tavares y L. Braganca, "Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment", *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, p. 121134, 2020.
- [19] S. Ajayi, L. Oyedele, O. Akinade, M. Bilal, H. Owolabi, H. Alaka, K. Kdiri, "Reducing waste to landfill: A need for cultural change in the UK construction industry", *Journal of Building Engineering*, vol. 5, pp. 185-193, 2016.
- [20] ISWA, "Solid Waste: Guidelines for Successful Planning [WWW Document]", 2012. [Online]. Zdroj: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/abrelpe_iswa_solid_waste_guidelines_for_successful_planning_2012.pdf. [Accessed June 2022].
- [21] C. Purchase, D. Al Zulayq, B. O'Brien, M. Kowalewski, A. Berenjian, A. Tarighaleslami, M. Seifan, "Circular economy of construction and demolition waste: A literature review on lessons, challenges, and benefits", *Materials*, vol. 15, n° 1, p. 76, 2021.
- [22] European Commission, "A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe", Brussels, 2020.