Cirkulární výstavba: Model udržitelného modulárního rodinného domu z pohledu architektonické praxe

Circular Construction: A Sustainable Modular Family House Model from the Perspective of Architectural Practice

Sabina Havránková

Abstract:

Circular construction closes the loop between recycled building materials and their reuse in the secondary production. Long-term goals include the efficient use of materials and reducing the amount of construction waste. Another interest is reducing the carbon footprint of buildings and related measures. According to the Energy Performance of Buildings Directive, new buildings should report their global warming potential from 2030. Changes are desirable in all areas, from building use and operation in the context of the circular economy and the use of alternative energy sources to the end of a building's life and recycling. Building design has an important role in the life cycle of a building and provides an opportunity to find solutions with the principles of sustainable development. Steps to reduce resource consumption are changing the approach to the building design process. Circular buildings represent a valuable source of materials that can be reused. The modular production and construction system responds to the Design for Disassembly strategy, enabling the reuse of products, parts, and materials. The issue of comprehensively addressing circular construction and sustainability with the associated requirements for construction and buildings leads to consideration of its implementation in practice. Using applied research methods, an analysis and identification of relevant EU taxonomy and LCA principles is carried out. The synthetic design phase verifies the sustainability potential of a modular house through a model case study and defines areas that support circular and sustainable construction. In the evaluation phase, calculation data for these areas of the model are documented, including the carbon footprint based on the material characteristics of the model, indicators and specific design measures. Compliance with the requirements of sustainable circular construction and environmental efficiency is assessed. The conclusion summarizes the findings, benefits, strengths and weaknesses, practical applicability and recommendations for further research.

Keywords:

Circular construction, Sustainability, Modular architecture, Modularity in design, Modular construction, Urban structure, Built environment, Sustainable development.

HAVRÁNKOVÁ, Sabina (2026). Cirkulární výstavba: Model udržitelného modulárního rodinného domu z pohledu architektonické praxe. In: KUGL, Jiří, ed. Člověk, stavba a územní plánování 19. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. pp. 100–122. ISBN 978-80-01-07579-1. ISSN 2336-7687.
Článek je licencován pod licencí Creative Commons BY-NC-ND 4.0 (Uveďte autora-Neužívejte komerčně-Nezpracovávejte 4.0 Mezinárodní). Licenční podmínky: *http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.cs*

Cirkulární výstavba: Model udržitelného modulárního rodinného domu z pohledu architektonické praxe Sabina Havránková

1 Udržitelný rozvoj a cirkulární stavitelství

Udržitelný rozvoj představuje koncept usilující o vyvážený rozvoj společnosti s ohledem na ekonomické, sociální a environmentální aspekty tak, aby byly uspokojovány potřeby současnosti, aniž by byla ohrožena schopnost budoucích generací naplňovat vlastní potřeby. Životní prostředí nelze oddělit od ostatních oblastí lidského konání a jeho ochrana představuje nedílnou součást veškerých lidských činností (Agenda 21, 1999). Hlavním cílem je vytváření systému založeného na omezení nadměrné spotřeby, efektivním využívání zdrojů, podpoře doplňkových, alternativních a obnovitelných zdrojů energie a využívání technologií umožňujících minimalizaci vzniku odpadů a škodlivin. Součástí tohoto přístupu je také využívání recyklovatelných materiálů a surovin s menší ekologickou zátěží a ochrana životního prostředí prostřednictvím rovnováhy mezi třemi základními pilíři udržitelného rozvoje – ekonomickým, sociálním a environmentálním. Tyto pilíře by měly být rozvíjeny vyváženě s cílem uspokojovat potřeby současnosti, aniž by byla ohrožena schopnost budoucích generací naplňovat vlastní potřeby.

Cirkulární stavitelství vychází z principů cirkulární ekonomiky a klade důraz na minimalizaci plýtvání zdroji a prodloužení životnosti výrobků. Model cirkulárního stavitelství navazuje na udržitelný rozvoj s cílem předcházet surovinovým krizím, ke kterým inklinuje model lineární ekonomiky a hlavním smyslem je eliminace stavebního odpadu. Budovy jsou producentem až 39 % celkových emisí CO2, z nichž 28 % činí provozní emise (vytápění, chlazení, osvětlení) a 11 % zabudované emise uhlíku a emise související s materiály, výstavbou a procesy během životního cyklu budovy (WorldGBC, 2019).

V cirkulárním stavitelství se uzavírá smyčka mezi recyklovanými stavebními materiály a jejich opětovným využitím v sekundární výrobě. Změny jsou žádoucí ve všech složkách životního cyklu budovy. Od výroby stavebnin s upřednostňováním udržitelných materiálů, výstavbu a výrobu s optimalizací stavebních postupů, eliminaci znečištění staveniště a vzniku stavebního odpadu. Užívání budovy a provoz v kontextu s oběhovým hospodářstvím, využíváním alternativních obnovitelných zdrojů až po ukončení životnosti stavby a recyklaci. Proces návrhu zaujímá významné postavení v koloběhu života budovy a je prostorem pro hledání takových řešení, která budou komplexně reagovat na problematiku a budou v souladu s předsevzetím dostát principům udržitelného rozvoje.

2 Dopad výstavby, legislativa a širší kontext problematiky

Dlouhodobá strategie snižování emisí skleníkových plynů v Evropě vychází ze skutečnosti, že sektor budov se podílí přibližně 36 % na celkových emisích skleníkových plynů v EU. Mezi hlavní cíle patří renovace stávajícího fondu budov a postupný přechod k budovám s nulovými emisemi, do roku 2050 by mělo dojít k celkovému snížení emisí v Unii až o 80-95 % (Kabele, 2018). V České republice v roce 2023 představovala výroba elektřiny a tepla přibližně 32,6 % emisí CO_2, přičemž samotný provoz budov (vytápění, příprava teplé vody a vaření plynem mimo dodávky tepla z centrálních zdrojů) tvořil 8,3 % emisí CO_2, samotné budovy pro topení a ohřev vody v domácnostech, kancelářích a institucích (mimo dodávky z teplárny) a pro vaření plynem vyprodukovaly 8,3 % emisí CO2.

Dokument Agendy 21 pro udržitelnou výstavbu rozděluje v případě udržitelné výstavby dvě základní kategorie, spotřeba zdrojů a vlastnosti výrobků a budov. Používání místních materiálů eliminuje množství dopravy a poskytuje úsporu energií minimalizací dopravy jak při výstavbě, tak dekonstrukci. Zároveň by mělo být hospodářství s energiemi integrováno v systémech budov a vzájemně provázáno v úrovních zpětného zisku tepla a jeho akumulací (pomocí elektrických čerpadel, fotovoltaických článků, pasivních a hybridních technologií vytápění a chlazení, pasivních osvětlovacích systémů, nových akustických a tepelně izolační materiálů apod.) Šetrné nakládání s materiály představuje

pro stavební průmysl jeden z nejvýznamnějších motivů, kterým lze dosáhnout dlouhodobě udržitelného rozvoje s ohledem na dopad výstavby na životní prostředí a posílení environmentálního rozvoje ve prospěch celé společnosti. Vyžaduje zejména účinné využívání přírodních zdrojů v kombinaci s uzavřenými recyklačními systémy. Zohlednění aspektu trvanlivosti, snadné demontáže, standardizaci výroby aj. Z pohledu udržitelnosti by návrh budov měl umožňovat jejich opravitelnost a recyklovatelnost v průběhu životního cyklu, vyšší stupeň standardizace modularity konstrukčních prvků a dodržovat obecné zásady o vhodném umístění na pozemku, orientaci ke světovým stranám, kompaktní řešení tvaru budovy, dispoziční uspořádání vnitřních prostorů s respektem na provoz, dobrou tepelnou ochranu, optimalizaci poměru prosklených a plných ploch fasád, zajištění kvality vnitřního prostředí budov a mikroklima – vzduch, větrání, teplo, akustika, osvětlení (Agenda 21, 1999).

V České republice tvořily v roce 2018 stavební a demoliční odpady přibližně 48 % celkové produkce podnikových odpadů. Udržitelná výstavba spočívá dle alternativního modelu cirkulárního stavebnictví ve snaze udržovat budovy co nejdéle v provozu a na konci jejich životnosti materiály navrátit zpět do koloběhu jako zdroje surovin. V principu jde také o to, aby se již na počátku procesu navrhování stavby zvážil způsob maximálního využití životnosti stavby a recyklace stavebních materiálů nebo využití celých budov a dosažení cíle naplnění udržitelné výstavby uzavřením smyčky koloběhu stavebních materiálů.

2.1 Udržitelnost a legislativa

Legislativní rámec České republiky reaguje na požadavky udržitelného rozvoje prostřednictvím regulace využití území, která se uplatňuje pomocí územně plánovacích nástrojů a zákonů (př. zákon 286/2024 Sb.) Opatření předchází výstavbě jako takové a promítá se do omezení zastavěnosti pozemku, využití pozemku, stanovením podílu plochy zahrady, nezastavěných či zelených ploch. Tyto limity mají zajistit, že v Česku zůstane dostatek zelených ploch nezbytných pro zachování ekologické rovnováhy (framireal.cz). Dalším hodnotícím ukazatelem pro budovy je průkaz energetické náročnosti, který dle zákona 406/2000 Sb. musí být zpracován v konkrétních případech při nakládání s nemovitostmi a zároveň se plánuje zavedení povinnosti od roku 2027 dokládat průkaz například při koupit nebo uzavření nájemní smlouvy u všech typů staveb (PVK BUILD s.r.o., 2025). Souborem opatření jsou také národní strategie v kontextu podpory udržitelnosti týkající se budoucnosti jako Národní klimaticko-energetický plán (v procesu schvalování), Adaptační strategie ČR nebo Cirkulární Česko 2040.

Evropským politickým okruhem zájmu je snižování množství uhlíkové stopy související s naplněním závazku dekarbonizace sektoru budov do roku 2050, opatření jsou ukotvena v evropské Zelené dohodě (Budovy 21, 2024). Směrnice o energetické náročnosti budov IV (EPBD IV) je novou legislativou EU s cílem snížit energetickou náročnost budov a dosáhnout fondu budov s nulovými emisemi do roku 2050. Hlavní body směrnice se soustředí na standard nových budov s nulovými emisemi od roku 2030, pro veřejné stavby již od roku 2026. Renovaci stávajících budov, od roku 2027 postupné zavádění požadavků na povinné solární panely a využívání solární energie, od roku 2040 postupné ukončení používání kotlů na uhlí a zemní plyn ve všech budovách a další požadavky orientované na zkvalitnění vnitřního prostředí budov, digitalizaci a podporu mobility (Šebek, 2024).

2.2 Klíčové oblasti z pohledu stavebnictví

Mezi klíčové oblasti ve stavebnictví spadá energetická efektivita, snižování uhlíkové stopy, minimalizace znečištění, hospodaření s vodou, ochrana biodiverzity, materiály a odpady a oběhové hospodářství. Fáze, ve kterých lze ovlivnit environmentální dopady výstavby a provozu budov z pohledu jejich životního cyklu, zahrnují návrh, volbu materiálů a udržitelných opatření, způsob výroby a výstavby, provoz, údržbu a následnou

demontáž či recyklaci.

2.2.1 Využití území

Kromě provozních energetických potřeb mají budovy dopad na využívání půdy, materiálové prostředí (zdroje, suroviny) a vodu (oběhové hospodářství). Důsledkem rostoucího počtu obyvatel je trend, kdy se města stávají méně kompaktními a zároveň se za posledních 50 let prostor potřebný na osobu v evropských městech více než zdvojnásobil. Během let 1990-2000 zabral růst městských oblastí a související infrastruktury více než 8000 km2 (nárůst o 5,4 %). Rozrůstání měst vede také ke konkurenci s jinými způsoby využití půdy.

Problematika využití území ve vztahu k budovám a osídlení vede k růstu vzdálenosti mezi obytnými částmi od pracovních a rekreačních oblastí, což vede k rozšíření dopravy (zejm. automobilové a souvisejícímu znečištění). V průměru generuje doprava téměř 1/3 spotřeby energie a v Evropě je jednou z nejčastějších cesta mezi domovem a pracovištěm. Vyplývá tak existence přímé souvislosti mezi hustotou osídlení a průměrnou spotřebou energie na obyvatele, což ukazuje, že kompaktní města mají nižší náklady na energii. Příkladem je ekvivalent staré budovy v městské zástavbě se spotřebou energie 200 kWh/m2 pasivního domu se spotřebou 15 kWh/m2 na předměstí s dojížděním 10 000 km/rok autem za prací.

Tyto argumenty podporují myšlenku, že by se regulační orgány měly soustředit na zahušťování měst nikoliv v jádru, ale také na méně hustě osídlených okrajových oblastech, podporovat rozvoj prázdných prostor, brownfieldů a renovaci nebo nahrazování stávajících budov. Na druhé straně omezit rozrůstání měst a vyčerpávání venkova. Optimální úroveň hustoty osídlení se jeví mezi 50-150 osobami na hektar, zatímco vyšší hustota nepřináší významné snížení spotřeby energie, protože vyžaduje výškové budovy, které jsou energeticky náročné z hlediska provozní i zabudované energie. Vhodná kombinace využití území by měla vést ke kratším cestám mezi prací, domovem a volnočasovými aktivitami, eliminovat množství dopravy, zdvojování služeb a infrastruktury a přinést vyšší potenciál integrace se zachováním dodavatelské funkce (zdroje potravin a energie) venkovských oblastí (Masera, 2014).

2.2.2 Životní cyklus budovy

Přístup k navrhování a výstavbě založený na životním cyklu budovy posuzuje holisticky jednotlivé aspekty, aby bylo možné dosáhnout interdisciplinární integrace a současně zohlednit jednotlivé fáze životního cyklu budovy. Od začátku jsou zaváděny do plánovacího procesu nové poznatky a požadavky a implementovány účinné optimalizační techniky, kterými jsou například zpětná vazba a simulace variant. V praxi je tak často používán informační model budovy (BIM) pro začlenění udržitelného designu již v rané fázi projektu, kdy lze efektivně ovlivnit celkové investiční náklady budov.

Cílem je přeměnit budovy a jejich provoz na uhlíkově neutrální architekturu, která řeší problémy v širším kontextu negativních dopadů výstavby a provozu budov na životní prostředí z dlouhodobého hlediska a minimalizovat celkovou energetickou náročnost budovy v průběhu jejího životního cyklu. Jedná se o analýzu veškeré energie vložené do výroby budovy od počátku až do konce využití budovy. Pro těžbu, výrobu, přepravu, montáž, instalaci i demontáž stavebních materiálů je potřebná tzv. šedá nebo vložená energie. V rámci sledované analýzy největší množství 56 % připadá na nosnou konstrukci, 14 % na fasádu a 20 % na vnitřní vybavení. Analýza případových studií prokázala, že spotřeba energie budov během životního cyklu stavby závisí z 80-90 % na provozní energii a z 10-20 % na energii zabudované. Bylo uvedeno, že významné snížení provozní energie pomocí pasivních a aktivních technologií může vést ke zvýšení energie obsažené v materiálu (v důsledku energie spotřebované na výrobu izolace, trojskel, zařízení atd.) Propojením hodnocení energetického a životního cyklu lze tyto složky vyvážit například optimalizací tloušťky izolace nebo vhodným výběrem a návrhem velikosti oken atd. Dále

zohlednit možnost recyklace pro opětovné použití stavebních materiálů a prvků místo toho, aby se budova stala odpadem a minimalizovat negativní dopad výstavby tak, že všechny složky bude možné znovu plně využít v uzavřeném cyklu bez ztráty kvality. Bylo prokázáno, že přibližně 10-15 % vložené energie konvenční budovy lze získat zpět recyklací, přestože neexistuje uznávaná metoda a postup pro srovnání recyklačního potenciálu.

Součástí holistického zohlednění cílů znamená také, že kvantifikovatelné proměnné (např. energetická účinnost) jsou úzce spojeny s kvalitativními aspekty (např. forma budovy, image, tradiční stavební techniky). Plánovací proces by se měl snažit zaručit, že kvantifikované i kvalifikované aspekty budou zohledněny po celou dobu životnosti a jejich integrace bude probíhat v neustálém procesu. Různé příklady vzájemného propojení úvahy o životním cyklu budovy do stavebního procesu ukazují, že je nutná drastická změna ve způsobu řízení projektů a vyžadují lepší spolupráci specialistů zapojených do procesu, sdílení a výměnu informací již v rané fázi procesu navrhování pro praktický přínos vývoje (Masera, 2014).

2.3 Soudobé trendy ve stavebnictví

2.3.1 Inovace v oblasti materiálů a konstrukcí

Stavebnictví je druhým největším spotřebitelem surovin na světě. Volba materiálů má proto vliv nejen na dopad na životní prostředí, ale také může podpořit jejich opětovné použití. Recyklační potenciál materiálů zohledňuje energii (šedou, zabudovanou) potřebnou k výrobě materiálů. Spoje mezi komponenty a materiály musí umožňovat snadnou demontáž pro další použití nebo výměnu, zajistit recyklovatelnost a zpětný zisk surovin v celku, po částech nebo pro sekundární výrobu materiálů. Mělo by se předejít použití materiálů, které se vzájemně kontaminují a obtížně domontovatelnému řešení (Cheshire, 2016).

V oblasti vývoje materiálů je kladen důraz na integraci inovativních produktů a materiálů s potenciálem proměnit zátěž pro životní prostředí na aktivního producenta energie a přispět ke zlepšení environmentálních vlastností budov (bezúdržbovost, absorpce infračerveného záření pomocí aplikace oxidu titaničitého do barev, glazur, cementů). U exteriérových materiálů jako skla, nátěry, omítky a textilní materiály návrh pro čištění pouhým působením dešťové vody. Negativní vliv obálky budovy na vznik tepelných ostrovů a zvyšování okolní teploty uvolňováním tepla do venkovního ovzduší lze minimalizovat návrhem zelených střech a ozeleněním fasád a ochlazujícími prvky (například i obkladové materiály), které umožňují odrážet sluneční záření. Pokroky v nanotechnologii a vědecký vývoj otevírají možnosti pro zlepšení vlastností tradičních stavebních materiálů umožňující předcházení a vzniku organických a biologických filmů vedoucích k degradaci materiálů (Iannaconne, 2014).

2.3.2 Recyklace stavebních materiálů a problematika sekundárních zdrojů

Nevyhnutelnost využívání recyklovaných stavebních a demoličních odpadů v co nejvyšší míře je také v souladu s cirkulární ekonomikou ve stavebnictví. Tuto skutečnost je nutno respektovat nejenom při odstraňování staveb, ale také jejich budování tak, aby byly všechny použité materiály a komponenty na konci životnosti stavby v maximální míře recyklovatelné či opět přímo využitelné (Škopán, 2022).

Recyklovatelné stavební materiály se potýkají s problematikou kvality a cenové náročnosti. Největším problémem je velká nasákavost u cihelných recyklátů, která negativně souvisí s namrzavostí materiálu. Další vlastností bránící širšímu využití je poměrně nízká hodnota odolnosti proti drcení (dosahuje 70 %). U betonového recyklátu obecně platí, že má nižší objemovou hmotnost než přírodní kamenivo a vyšší nasákavost. Recyklovaný polystyren má nízký difuzní odpor způsobený možným průnikem vodní páry kanálky vytvořenými mezi původními částicemi recyklátu, avšak nabízí stejné možnosti

jako tradiční expandovaný polystyren při zateplování podlah, plochých střech či stropů.

Technologie recyklace stavebního a demoličního opadu je komplikovaný a náročný proces, v rámci kterého se stavební odpad přeměňuje na recyklát. Proces se neobejde bez kvalitních strojů a kvalifikovaných pracovníků a je závislý na kvalitě přijímaného stavebního odpadu. Případová analýza cenového rozdílu mezi použitím tradičních a recyklovaných stavebních materiálů u konkrétního rodinného domu zjistila téměř 20 % rozdíl v neprospěch recyklátů. Tento rozdíl je dán především nutností použít pomocné konstrukce pro jejich aplikaci. Jediný příznivý vliv zaznamenaly podklady zpevněných ploch z betonového recyklátu a foukaná celulóza pro zateplení stropu (Kuntová, 2017). Vyšší pořizovací náklady však nelze hodnotit izolovaně bez zohlednění environmentálních přínosů a dlouhodobých dopadů materiálového hospodářství.

2.3.3 Systém výstavby pro demontáž a dekonstrukci

Návrh pro dekonstrukci nebo demontáž zohledňuje budoucí demolici a demontáž stavebních prvků již ve fázi návrhu, čímž podporuje snižování množství odpadu a spotřeby zdrojů. Vhodná aplikace stavebních technologií a jejich úspěšná integrace do procesu návrhu usnadní větší znovupoužití stavebních komponentů. Oproti dekonstrukci umožňuje demontáž rozebrání komponentů bez poškození s ohledem na jejich opětovné použití.

Systém demontáže umožňuje rozebrání stavby od jednotlivých modulů až po dílčí části komponent (stropních, střešních či fasádních panelů). Koncept vychází z návrhu konstrukce a systému objektu, jehož části bude možné dříve či později rozebrat, opravit, nahradit a obnovit pro opětovné použití. Umožňuje zlepšování materiálové kvality a nabízí optimálnější scénář opětovného použití na úrovni spojů mezi jednotlivými moduly a částmi prvků, ze kterých se skládá. Demontáž systému poskytuje časovou flexibilitu a umožňuje případný růstu objektu v prostoru a čase s otevřeností k inovacím, čímž koresponduje s principy udržitelné výstavby.

Mezi hlavní principy systému spadá používání recyklovaných a recyklovatelných materiálů, minimalizace druhů materiálů a používání bezpečných a netoxických materiálů, eliminace kompozitních materiálů, sekundárních povrchových úprav materiálů, počtu různých typů komponent, opotřebených dílů, chemických spojů a nerozebíratelných výrobků ze stejného materiálu. Jedná se o otevřený systém se zaměnitelnými díly, modulární konstrukcí a montážní technologie kompatibilní se standardními stavebními postupy, oddělené konstrukce opláštění, vnitřních stěn a rozvodů. Přístup je umožněn ke všem částem budovy a komponentům, minimalizace spojovacích prvků a odolných spojů zajišťuje snadnou a opakovatelnou montáž a demontáž objektu a částí. Trvalá identifikace každého komponentu a standardizace dílů, aplikace prefabrikovaných a lehkých materiálů, definice míst demontáže, skladování a zajištění náhradních dílů, uchování informací o výrobě budovy a montážním procesu poskytuje variabilitu a flexibilitu systému. (Cheshire, 2016).

2.4 Aplikace principů cirkulární výstavby v architektonické praxi

2.4.1 Modulární výstavba jako nástroj cirkulární výstavby

Modulární výstavba představuje jeden z možných přístupů k naplnění principů cirkulární výstavby zejména díky možnosti prefabrikace, optimalizaci výrobního procesu a potenciálu budoucí demontáže a opětovného využití konstrukčních prvků. Samotná prefabrikace však automaticky nezajišťuje cirkulární principy. U modulárních systémů je základem cirkulárního hospodářství zejména návrh montážních spojů na úrovni jednotlivých systémů i subsystémů stavby, materiálová skladba konstrukcí a možnost jejich následné demontáže.

Tyto předpoklady vytvářejí vhodné podmínky pro prodloužení životního cyklu staveb, opětovné využití konstrukčních částí a efektivnější nakládání se stavebními

materiály. Modulární výstavba spočívá ve výrobě jednotlivých stavebních částí mimo staveniště v prostředí tovární haly. Komponenty jsou sestaveny do prostorových modulů a připraveny k převozu ve vysokém stupni dokončenosti. Modul je tak považován za základní stavební jednotku objektu. Následně je jednotka přepravena na místo stavby, kde dochází k montážnímu spojení jednotlivých modulů do výsledného stavebního celku.

Díky výrobě mimo staveniště umožňuje modulární systém efektivnější kontrolu kvality, omezení materiálových ztrát a optimalizaci využití zdrojů během výrobního procesu i samotné výstavby. Z hlediska cirkulární ekonomiky je významným aspektem především princip konstrukční reverzibility. Konstrukční reverzibilita, tedy schopnost konstrukce být v budoucnu rozebrána bez významného poškození jednotlivých částí, které lze následně znovu využít, upravit nebo recyklovat. Modulární konstrukční systémy proto vytvářejí vhodné podmínky pro prodloužení životního cyklu budov a podporují přechod od tradičního lineárního modelu výstavby k modelu založenému na opětovném využití materiálů a konstrukčních prvků.

V závislosti na míře prefabrikace lze modulární výstavbu rozdělit na dva základní systémy. První systém využívá konstrukční díly (např. stěnové nebo stropní panely) jako předem vyrobené části domu, druhý systém představuje prostorové moduly, které jsou ve výrobě kompletně vybaveny (instalacemi, povrchovými úpravami a dalšími stavebními částmi). Na staveništi pak dochází pouze k osazení modulů na předem připravenou základovou konstrukci a k montážnímu spojení jednotlivých modulů.

2.5 Hodnoticí rámec návrhu z pohledu environmentální udržitelnosti

2.5.1 EU taxonomie

Pomocí nástroje EU Taxonomie lze posoudit a zvolit návrhová opatření projektu z hlediska environmentální udržitelnosti. Plnění kritérií postupně snižuje rizikovost návrhu. Mezi hlavních šest cílů, které se týkají sektoru stavební a realitní činnosti a aktivity výstavby nových budov spadá zmírnění změny klimatu (mitigace), přizpůsobení se změně klimatu (adaptace), udržitelné využívání a ochrana vodních zdrojů, přechod na oběhové hospodářství (cirkulární ekonomika), prevence a omezování znečištění (ovzduší, vody a půdy) a ochrana a obnova biologické rozmanitosti a ekosystémů (ec.europa.eu). Pro případovou analýzu modulárního rodinného domu, uvedenou v následující kapitole, představuje modulární výstavba přínos z hlediska naplnění jednoho z hlavních cílů EU taxonomie, kterým je přechod na oběhové hospodářství podporující principy cirkulární ekonomiky. EU taxonomie poskytuje rámec umožňující systematicky hodnotit environmentální aspekty návrhu a ověřit jejich soulad s principy udržitelné a cirkulární výstavby.

3 Metodika a postup

Cílem výzkumu je posouzení souladu návrhového modelu architektonického konceptu modulárního rodinného domu s principy cirkulární výstavby a širšího konceptu udržitelnosti. Metodika využívá metodu případové studie (case study) a je založena na analýze modelového případu z architektonické praxe. Z teoretické stránky modelový případ poskytuje komplexní vhled do problematiky související s udržitelností návrhu. Cílem je analýza oblastí, ve kterých lze v rané fázi návrhu vyhodnotit dopad vlivu na udržitelnost a uplatnit udržitelná návrhová opatření. Výzkum zahrnuje analýzu hlavních oblastí zájmu podle legislativních rámců a environmentálních opatření. Základem je sběr dat a informací souvisejících s řešenou problematikou a dotčených národních i mezinárodních předpisů. Následuje identifikace oblastí a okruhů zájmu s modelovým případem, pro které jsou stanoveny vstupní návrhové parametry budovy (včetně předběžných výpočtů) a výčet podmínek (či návrhových opatření), které jsou definovány předpisy, nařízeními nebo doporučenými předpoklady vedoucí k návrhu udržitelných

budov. Výstupem je posouzení návrhového modelu, vyhodnocení získaných dat a výpočtů a ověření souladu se stanovenými cíli.

3.1 Analýza

Analýza se opírá o sběr dat a informací souvisejících s problematikou udržitelné a cirkulární výstavby. Hlavní analyzované oblasti v souvislosti s cirkulárním stavitelstvím a udržitelností budov zahrnují environmentální aspekt dopadu výstavby, dále využitelnost území, uhlíkovou stopu stavby s ohledem na použité materiály, aplikaci soudobých trendů ve výstavbě s požadavky na flexibilitu, mobilitu a montážní způsob výstavby s možností šetrné demontáže. Opatření vedoucí k udržitelnému návrhu budovy (požadavky na technické vybavení domu, návrh obnovitelných zdrojů energie, hospodaření s odpadní vodou a oběhové hospodářství, využití recyklovatelných materiálů v interiéru, exteriéru a dalších souvisejících klíčových oblastí). Dílčím výsledkem je stanovení základních výpočtových parametrů a zpřesnění udržitelných návrhových opatření paralelně s procesy životního cyklu budovy.

3.1.1 Postup analýzy

Analytická část je zahájena rozdělením hodnocených oblastí dle jednotlivých fází životního cyklu stavby. Analýza identifikuje klíčové oblasti a okruhy zájmu z hlediska principů udržitelné a cirkulární výstavby a stanovuje přístup k jejich posouzení v rámci procesu návrhu. Pro jednotlivé oblasti jsou vymezeny souvislosti mezi návrhovými rozhodnutími a jejich potenciálním přínosem pro udržitelnost. U vybraných oblastí jsou uvedeny výpočty podporující jejich posouzení.

3.1.2 Aplikace analýzy na návrhový model

Případová studie vychází z návrhového modelu modulárního rodinného domu, který slouží jako podklad pro posouzení vybraných aspektů udržitelnosti a cirkulární výstavby. Analýza je uplatněna na jednotlivé části návrhu v návaznosti na standardní proces architektonického navrhování, jehož součástí jsou také běžně zpracovávané návrhové podklady a technické výpočty. Tyto podklady jsou následně posuzovány ve vztahu k principům udržitelné a cirkulární výstavby. Vstupní údaje u vybraných technických výpočtů vycházejí z konstrukčního řešení navrženého v souladu s požadavky na energetickou hospodárnost budov. Výsledky těchto výpočtů poskytují doplňující informace o technických parametrech návrhu nebo slouží jako podklad pro rozhodování při volbě návrhových opatření.

3.2 Syntéza

Fáze zahrnuje identifikaci oblastí shody návrhových opatření s modelovým případem. Jedná se o souhrnný výčet návrhových charakteristik modelu v kontextu udržitelných principů. Výstupem je tabulka s informacemi o návrhovém modelu, která je rozdělena na okruhy zájmu dle metodiky EU Taxonomie pro posouzení projektu z hlediska environmentální udržitelnosti.

3.3 Hodnocení

Závěrečná část vyhodnocuje míru splnění hodnoticích kritérií definovaných metodikou EU Taxonomie. Součástí hodnocení je také posouzení modelového návrhu z hlediska souladu s principy udržitelnosti v jednotlivých fázích životního cyklu budovy – od návrhu, výroby a výstavby přes provoz až po ukončení životnosti, demolici a recyklaci.

4 Analytická část

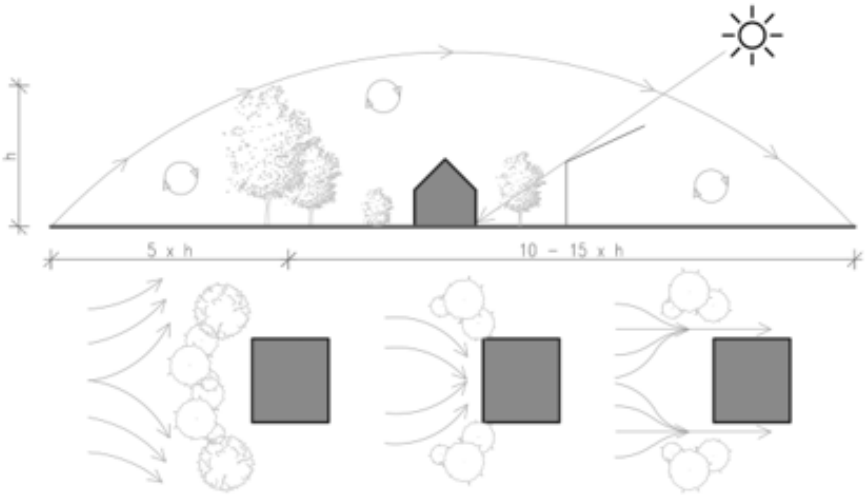
Analytická část je zahájena specifikací zadání, způsobem využití objektu a charakteristikou budoucích uživatelů. Zohledňuje předpokládanou obsazenost objektu, věcné a časové vazby související s jeho využitím a dostupností. Součástí procesu

návrhu je také vzájemná spolupráce a výměna informací mezi investorem a architektem, v dalších stupních projektové dokumentace pak včasná koodrinace mezi projektanty profesí, specialisty, dodavateli konstrukčních systémů, výrobci technologických zařízení a dalšími subjekty.

4.1 (A) Záměr a návrh objektu

4.1.1 Lokalita, situace a vnější mikroklima

Okruh zájmu: Udržitelný návrh respektuje krajinný ráz a adekvátně reaguje na stávající urbanistickou strukturu, využití území, morfologii terénu a vhodnou orientaci budovy i jednotlivých místností ke světovým stranám, veřejnému prostoru nebo zahradě. Zohledňuje vazby na okolní zástavbu a přírodní prvky, zejména možné stínění sousedními objekty a vegetací, zastavěnost území, hustotu zalidnění, dopravní dostupnost a napojení na technickou infrastrukturu. Součástí návrhu je také posouzení vlivu okolních zdrojů hluku a znečištění. Umístění objektu na pozemku ve vztahu k okolní zástavbě, krajině a morfologii terénu ovlivňuje lokální mikroklima, zejména proudění vzduchu, tepelné ztráty a tepelný komfort v okolí i uvnitř budovy. Vhodná práce s vegetací může zmírnit negativní účinky větru a přispět k regulaci teplotních podmínek. Výsadba stromů a zeleně může v letním období poskytovat přirozené stínění, zatímco v zimním období umožňuje využití solárních zisků.



Obr. 1 – Umístění domu a vliv vnějšího mikroklimatu (zdroj: autor dle WATERFIELD, 2011)

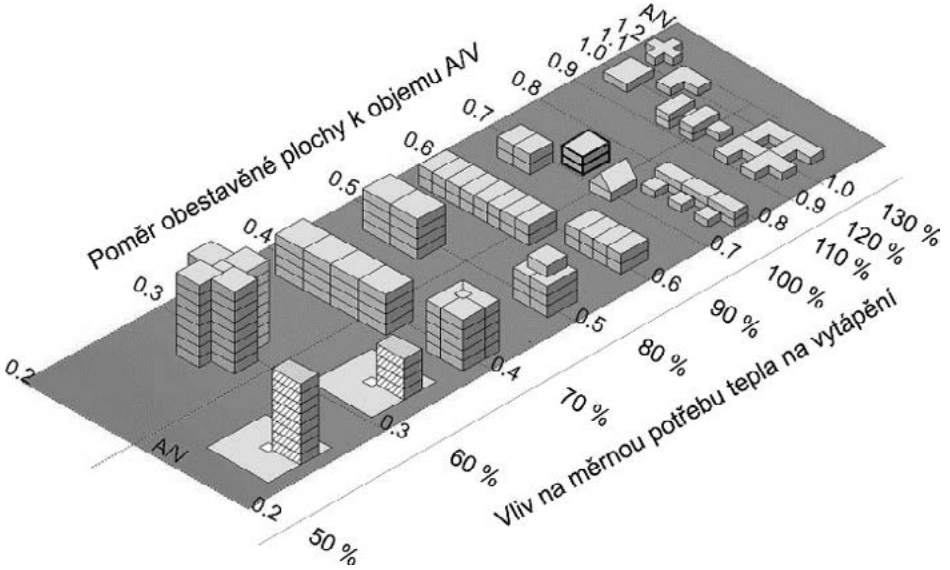
➔ Ověření návrhem situace (ve vztahu k okolí a terénu) a vnějšího mikroklimatu

Přínos a význam: Vhodná orientace domu, vztah k okolní zástavbě, práce s morfologií terénu a formování vnější vegetace jsou představují klíčové složky, které jsou zásádní pro vytvoření mikroklimatu kolem budovy. Společně přispívají k efektivnímu využití a posílení vnějších a příchodních vlivů s dopadem až na samotné vnitřní prostředí návrhu. Dobrá dopravní dostupnost a obslužnost lokality může omezit dopravní náročnost.

4.1.2 Kompaktnost tvaru

Okruh zájmu: Kompaktnost tvaru budovy je dána její velikostí a proporcemi, zejména poměrem šířky, délky a výšky objektu. Tvar budovy ovlivňuje její energetickou náročnost i působení vnějších klimatických vlivů, například ochranu proti účinkům

větru nebo možnosti vytvoření chráněných venkovních prostorů. Minimalizace výčnělků, složitých konstrukčních detailů a ochlazovaných ploch vzhledem k objemu objektu přispívá ke snížení tepelných ztrát a omezení vzniku tepelných mostů. Jednoduchá a kompaktní hmota, například ve tvaru kvádru s plochou nebo pultovou střechou, umožňuje efektivnější návrh obálky budovy a optimalizaci energetických zisků a ztrát. Energetickou bilanci lze dále podpořit vhodným řešením fasádního a střešního pláště, například využitím vegetačních prvků. Kompaktnost objektu se hodnotí pomocí poměru plochy obálky budovy „A“ [m²] (včetně střechy a styku objektu se zemí) k objemu budovy „V“ [m³]. Poměr obestavěné plochy A/V vyjadřuje vliv geometrie objektu na měrnou potřebu tepla na vytápění.



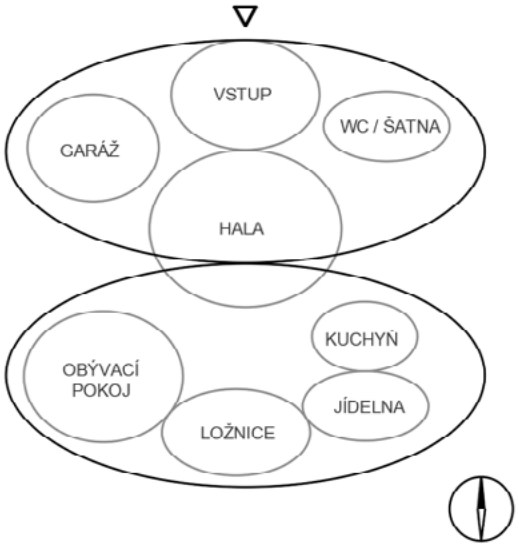
Obr. 2 – Vliv poměru obestavěné plochy na vytápění (zdroj: stavba.tzb-info.cz, upraveno)

➔ Výpočet kompaktnosti tvaru: (A [m²] / V [m³]) x 100 [%]

Přínos a význam: Pomocí poměru plochy obálky budovy k jejímu objemu (A/V), vyjádřeného pro účely porovnání v procentech, lze stanovit vliv geometrie objektu na jeho energetickou efektivitu z hlediska potřeby tepla na vytápění. Z uvedeného obrázku referenčních budov vyplývá, že nižší hodnota tohoto poměru představuje kompaktnější a energeticky efektivnější tvar budovy. Naopak vyšší hodnoty poukazují na méně kompaktní geometrii s větším podílem ochlazovaných ploch vzhledem k objemu objektu, což může vést ke zvýšení měrné potřeby tepla na vytápění.

4.1.3 Zónování a dispozice

Okruh zájmu: Zónování dispozice podporuje efektivní využití plochy bytu ve vztahu k orientaci domu, tepelným zónám (temperované a vytápěné prostory) a provozním požadavkům uživatelů. Návrh zohledňuje uspořádání prostorů, možnost jejich variabilního využití a případnou flexibilitu dispozice s ohledem na proměnlivé potřeby uživatelů.



Obr. 3 – Preferované zónování z hlediska orientace domu (zdroj: autor dle WATERFIELD, 2011)

➝ Ověření návrhem funkční dispozice a zónováním prostorů

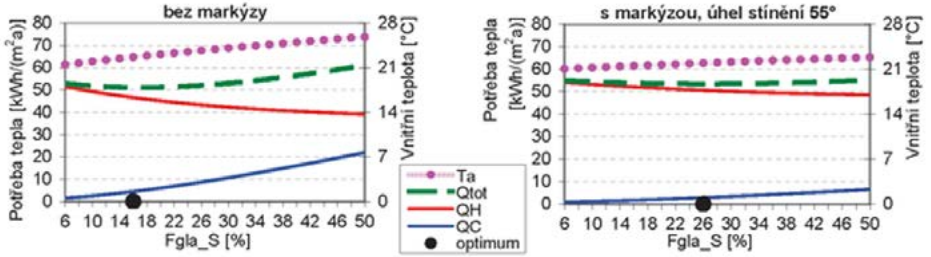
Přínos a význam: Pomocí vhodného zónování dispozice a umístění pobytových místností ve vztahu ke světovým stranám lze efektivně využít přirozené světelné a tepelné zisky. Sdružování prostorů s podobnými tepelnými požadavky přispívá k efektivnějšímu využití zdrojů vytápění a současně podporuje hospodárné využití vnitřních ploch.

4.1.4 Konstrukce, systém a materiály

Okruh zájmu: Návrh konstrukčního systému pro demontáž a opětovné využití stavebních dílů a prvků. Volba materiálů zohledňuje jejich environmentální dopad, možnost recyklace a budoucího opětovného využití. Preferovány jsou materiály s nižší zabudovanou uhlíkovou stopou a konstrukční řešení umožňující oddělení jednotlivých vrstev a komponentů bez jejich výrazného poškození. Omezeno by mělo být použití materiálů s vysokou energetickou náročností výroby nebo obtížnou recyklovatelností (například některé druhy kompozitních materiálů či stříkaných pěnových izolací). Vhodné izolační materiály představují například výrobky na bázi celulózy, minerálních vláken, recyklovaných materiálů, korku nebo přírodních vláken. Základní volba konstrukčního systému, materiálů a skladeb tvoří výchozí podklad pro návrhový výpočet zabudované uhlíkové stopy.

➝ Návrh konstrukčního systému umožňující demontáž, vhodných skladeb a spojů

Přínos a význam: Materiálová charakteristika nosné konstrukce, způsob výroby a konstrukční systém objektu významně ovlivňují možnosti opětovného využití materiálů a stavebních prvků na konci životního cyklu stavby. Vhodné jsou systémy umožňující opakovanou demontáž na úrovni konstrukčních spojů i jednotlivých subsystémů, které zachovávají materiálovou hodnotu prvků a umožňují jejich opětovné využití, opravu nebo recyklaci. Tento přístup podporuje principy cirkulárního stavitelství



Obr. 4 – Závislost měrné potřeby tepla a vnitřní teploty na prosklení jižní fasády FglaS % pro variantu „průměrný, NED" s prosklením severní, východní a západní fasády 5 %; QH potřeba tepla na vytápění, QC potřeba tepla na chlazení, Qtot celková potřeba tepla = QH + QC, Ta nejvyšší průměrná měsíční vnitřní teplota v roce (zdroj: stavba.tzb-info.cz)

4.1.5 Obálka budovy a výplně otvorů

Okruh zájmu: Návrh obálky budovy a výplní otvorů zahrnuje aplikaci inovativních materiálů a technologií (samočisticí povrchy, zelené střechy a fasády nebo ochlazující prvky snižující přehřívání budovy). Součástí návrhu je také řešení vnějšího stínění (např. rolety nebo žaluzie), které přispívá k regulaci tepelných zisků. Významnou roli hraje velikost, typ zasklení a poloha okenních otvorů ve vztahu k orientaci budovy a ploše fasád, které ovlivňují tepelný komfort interiéru i potřebu vytápění a chlazení. Důležitými požadavky jsou omezení tepelných mostů, zajištění vzduchotěsnosti obálky budovy, vhodná hodnota součinitele prostupu tepla výplní otvorů (Ug) a optimalizace návrhu zasklení. Strategické umístění oken, zejména na jižní fasádě, může v podmínkách mírného klimatu přispět ke zvýšení pasivních solárních zisků a snížení potřeby tepla na vytápění.

➝ Výpočet prosklení fasády: Fgla [%] = poměr plochy prosklení k ploše fasády

Přínos a význam: Návrh obálky domu a výplní otvorů ovlivňuje tepelné zisky a ztráty budovy. Výpočet upozorňuje na vliv velikosti okenních otvorů a slouží jako parametr pro optimalizaci jejich návrhu s ohledem na energetickou efektivitu objektu. Řešení fasády zohledňuje orientaci ke světovým stranám, velikost otvorů, kvalitu výplní otvorů a doplňkové konstrukce. Správným návrhem detailů zároveň předchází vzniku tepelných mostů.

4.1.6 Technické zázemí, technologie, zdroje tepla a obnovitelné energie

Okruh zájmu: Koncepce vytápění, chlazení a větrání objektu, zajištění kvality vnitřního prostředí, práce s tepelnými ztrátami a zisky objektu, použití vhodných tepelně-izolačních materiálů a využití systémů zpětného získávání tepla (např. rekuperace odpadního tepla pomocí mechanického větrání). Návrh zdroje tepla pro vytápění a ohřev teplé vody (tepelná čerpadla, geotermální energie), využití solární energie (např. fotovoltaických systémů) a případně energie z povrchové nebo podzemní vody. Součástí návrhu je také využití chytrých technologií pro řízení vnitřního prostředí a efektivní regulaci teploty. Posouzení skladeb stavebních konstrukcí z hlediska prostupu tepla a šíření vodní páry.

➝ Výpočet tepelné ztráty prostupem: Qp = Σ(U * A *) * (qai – qae) [W]

➝ Výpočet tepelné ztráty větráním: Qvv = cvz * n * V / 3 600 * (qai - qae) [W]

Přínos a význam: Oblast je klíčová pro návrh technického řešení budovy (vytápění, chlazení a větrání), které zajišťuje požadovaný komfort vnitřního prostředí. Uvedené výpočty stanovují potřebu tepla pro návrh vhodného zdroje vytápění na základě tepelně-technických vlastností obálky budovy a použitých konstrukčních skladeb. Udržitelný návrh využívá obnovitelné zdroje energie a systémy podporující efektivní hospodaření s energií, které jsou součástí celkové koncepce technického zázemí domu.

4.1.7 Zabudovaná uhlíková stopa

Okruh zájmu: Zabudovaná uhlíková stopa představuje celkové emise skleníkových plynů, které vznikly během životního cyklu budovy. Od zisku surovin, přes výrobu stavebních materiálů (beton, ocel, dřevo, izolace atd.), dopravu, výstavbu až po demolici a likvidaci. Nejedná se o emise spojené s provozem objektu, ale o zabudované emise. Snížení uhlíkové stopy lze dosáhnout použitím materiálu s nižší uhlíkovou stopou, eliminací množství materiálu (optimalizace velikosti budovy či vhodnou volbou základů a konstručního materiálu), využití lokálních zdrojů, použití recyklovaných materiálů a stavebních prvků. Výpočet uhlíkové stopy dle stanovení materiálové charakteristiky (evimat.cz).

- ➝ Výpočet zabudované uhlíkové stopy (dle volby konstrukčního systému a skladeb)

Přínos a význam: Zabudovaná uhlíková stopa je prozatím parametrem pozbývající jednoznačnou kategorizaci výsledku (z důvodu absence dat, referenčního modelu apod.) Výpočet není standardní náležitostí při návrhu domu a aktuálně nedefinuje směrodatný závěr. V budoucnu se ale může stát důležitým faktorem při posuzování udržitelnosti návrhu, protože snižování uhlíkové stopy je soudobým tématem v mnoha odvětvích a průmyslu.

4.2 (B) Výstavba a výroba objektu

Okruh zájmu: Oblast související s volbou materiálového řešení konstrukce, druhem konstrukčního systému a způsobem výroby a výstavby objektu je zásadní pro naplnění principů udržitelné výstavby. Spočívá ve volbě vhodného konstrukčního systému již v rané fázi návrhu stavby a v hospodárném využívání stavebních materiálů během výrobního a montážního procesu.

- ➝ Dopad výroby a výstavby objektu v souladu s principy cirkulárního stavitelství

Přínos a význam: Uplatnění šetrných stavebních materiálů a konstrukčních systémů, omezení negativních vlivů výstavby na staveniště a okolí, efektivní využití vody a energie a minimalizace doby výstavby. Modulární a prefabrikované systémy mohou současně omezit vznik stavebního odpadu a umožnit efektivnější nakládání s materiály již během výroby.

4.3 (C) Provoz a údržba během životního cyklu udržitelného návrhu budovy

Okruh zájmu: Provoz a údržba zahrnují efektivní využívání energie a vody, hospodaření s odpadní vodou a teplem, minimalizaci produkce odpadu a zajištění zdravého a komfortního vnitřního prostředí po celou dobu užívání stavby. Pravidelná obnova stavebních konstrukcí a jednotlivých prvků přispívá k prodloužení životnosti budovy a zachování její funkčnosti. Součástí je také údržba technických systémů a zařízení objektu, která souvisí s efektivním využíváním obnovitelných zdrojů energie a vhodně zvolených materiálů.

- ➝ Pravidelná obnova stavebních materiálů, kontrola kvality a facility management

Přínos a význam: Navržená opatření podporují efektivní hospodaření s energií a vodou, snižují provozní náklady a přispívají k omezení uhlíkové stopy budovy. Současně podporují principy oběhového hospodářství prostřednictvím prodlužování životnosti konstrukcí a materiálů. Facility management (pravidelná údržba, prohlídky, kontroly, včasné řešení oprav a zajištění provozuschopnosti budovy) pomáhá zachovat kvalitu technických systémů a prodlužuje životnost stavby.

4.4 (D) Ukončení životnosti stavby a demolice

Ukončení životnosti stavby zahrnuje postupy vedoucí k opětovnému využití stavebních prvků, materiálů a jejich recyklaci. Zásadní je návrh konstrukčního systému umožňujícího demontáž, minimalizace vzniku stavebního odpadu a omezení negativních

dopadů na životní prostředí při ukončení životního cyklu budovy.

- ➝ Demontáž a recyklace stavebních materiálů po ukončení životnosti stavby

Přínos a význam: Principy udržitelného návrhu přesahují samotnou životnost budovy a zahrnují také fázi jejího ukončení. Návrh umožňující demontáž podporuje opětovné využití konstrukcí a stavebních prvků nebo šetrnou recyklaci materiálů, čímž přispívá k uzavírání materiálových toků v rámci cirkulárního stavitelství.

4.5 Výčet okruhů zájmu analýzy návrhu

A		**návrh objektu**	v rané fázi flexibilní a variabilní, lze přizpůsobovat a měnit, reaguje na požadavky uživatele, věcné a časové vazby, investiční plán, související komplexní problematiku vč. výstavby atd.
1	situace	lokalita, území a vnější mikroklima	krajinný ráz, urbanistická struktura, využití území, územní analýza, dopravní a technická infrastrutkura, vazby v okolí, zastavěnost a hustota, stínění sousedních budov, zdroje hluku atd.
		orientace ke světovým stranám	orientace návrhu ke světovým stranám, k zahradě, okolní zástavbě, veřejných prostranství, vůči zdrojům hluku a znečištění, optimální pozice obytných místností a vedlejších prostorů atd.
2		optimalizace tvaru (kompaktnost)	poměr plochy obálky budovy (včetně střechy objektu i styku objektu se zemí) ku objemu budovy, minimalizace výčnělků, jednoduchost tvaru apod.
3		zónování a dispozice	zónování dispozice pro efektivní využití prostoru plochy návrhu budovy, ve vztahu k vytápění a zdrojům v budově, shluky menších prostorů, využití prvků optického zvětšení prostorů apod.
4	konstrukce	konstrukce a konstrukční systém	optimalizace poloh nosných prvků, dimenze nosných prvků ve vztahu k efektivnímu využití materiálů, návrh a typ konstrukce pro návrh skladby a výpočet zabudované uhlíkové stopy
		materiály, skladby a konstrukce	volba materiálů pro snadnou recyklaci, opětovné použití a s možností demontáže stavby, potřeba zohlednit zpětný zisk surovin a stavebních prvků ve vztahu k návrhu a výstavbě
5	obálka	obvodový plášť	inovativní materiály pro povrchovou vnější úpravu fasády (samočistící, odolné) a eliminaci tepelných ostrovů (zelené střechy), zapojení obálky budovy s okolím atd.
		výplně otvorů a návrh prosklení	volba vhodných výplní otvorů, návrh vhodné velikosti oken vzhledem k místnosti, výškám parapetu atd., optimalizace polohy, poměr prosklení fasády, opatření pro stínění fasády
6	technologie / tz	technologie a technické zázemí	koncepce vytápění, chlazení, větrání, práce s kondicí vzduchu, tepelnými ztrátami a zisky objektu, izolační materiály, technologie (výrobní) atd.
		zdroje tepla a obnovitelné zdroje	koncepce vytápění, solární zisky, obnovitelné zdroje energií, způsob ohřevu tepla a vody, tepelná pohoda vnitřního prostředí atd., optimalizace vytápěných a temperovaných prostorů
7		zabudovaná uhlíková stopa	ve vztahu k hlavnímu konstrukčnímu materiálu, konstrukcí podlah, střechy, stropů, stěn (tvořící až 56 % emisí), obálky budovy (až 14 %), vybavení (až 20 %) atd.
B		**výstavba a výroba**	ekologické materiály, eliminace hluku a znečištění staveniště a okolí výstavby, efektivní využití vody a energie, minimalizace času výstavby, demontážní systém výroby a výstavby
C		**provoz a údržba**	efektivní a šetrné využití energie a vody během životního cyklu, využití odpadní vody a tepla, minimalizace vzniku odpadů, redukce uhlíkové stopy, obnovitelné a kvalitní materiály apod.
D		**ukončení stavby, demolice**	ukončení životního cyklu budovy, demontáž a recyklace, snadná demontáž, recyklace materiálů a maximalizace opětovného použití stavebních prvků a celých dílů

Obr. 5 – Identifikace okruhů zájmu od návrhu po ukončení životnosti (zdroj: autor)

5 Aplikace analýzy na návrhový model modulárního domu

Pro aplikaci analýzy udržitelnosti návrhu je využit návrhový model rodinného domu s modulárním konstrukčním systémem stavby umožňující demontáž na úrovni systému i jednotlivých subsystémů. Objekt je navržen k trvalému bydlení. Jedná se o rodinný dvojdům se dvěma nadzemní podlažími, bez podsklepení, tvořený dvěma bytovými jednotkami pro celkem 6 až 8 osob, zastavěná plocha objektu činí 170 m², hrubá podlahová plocha 280 m² a objem domu 980 m³ (z toho 120 m³ tvoří základová konstrukce). Analýza návrhového modelu postupuje dle sledu jednotlivých oblastí definovaných v tabulce Obr. 5. „Identifikace okruhů zájmu od návrhu po ukončení životnosti".

5.1 Návrh

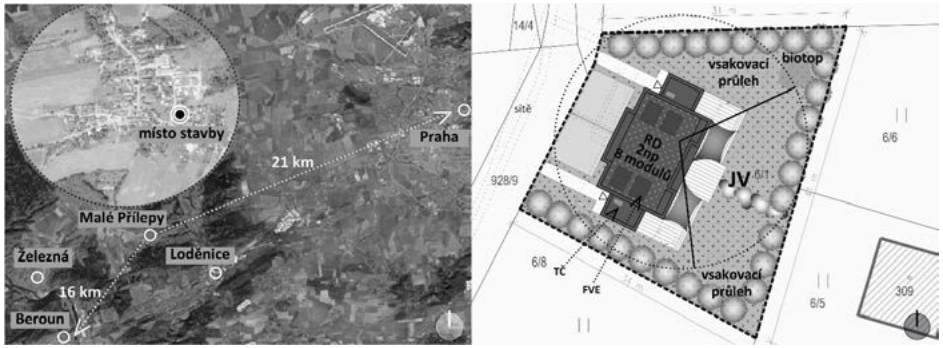
5.1.1 (A1) Situace a lokalita

Pozemek se nachází v zastavěné části obce Malé Přílepy. Lokalita je charakteristická zástavbou převážně solitérně stojících rodinných domů v typickém vesnickém prostředí s návsí. Parcela je součástí zemědělského půdního fondu (bonitovaná půdně ekologická

jednotka 4.12.12 III. třídy ochrany, jedná se o málo produkční půdu). Pozemek je zasíťován.

→ ověření návrhem situace (ve vztahu k okolí a terénu) a vnějšího mikroklimatu

Vyhodnocení: Pozemek je vhodný pro navrhovaný typ zástavby vzhledem k charakteru okolní struktury a dostupnosti technické infrastruktury. Návrh respektuje orientaci ke světovým stranám, vazbu na okolní zástavbu a využívá vegetační prvky pro podporu příznivého mikroklimatu. Umístění objektu na pozemku umožňuje vhodné dispoziční řešení ve vztahu k oslunění a okolní zástavbě.



Obr. 6 – Situace širších vztahů a Situace a orientace návrhu (zdroj: autor)

5.1.2 (A2) Objem a tvar domu

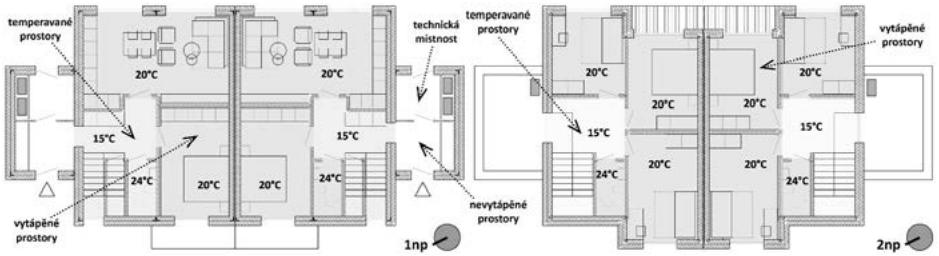
Základním tvarem je modul o ploše 9,6 x 3,6 m. Celková plochy obálky je 590 m² a objem domu činí 980 m³. Forma domu je tvořena kvádrem složeným ze 4 modulů, ke kterému po stranách přiléhá modul sloužící jako vstupní prostor (zádveří) se zázemím.

→ Výpočet kompaktnosti tvaru: A [m²] / V [m³] = 590 / 980 = 0,602 = 60 %

Vyhodnocení: Kompaktnost tvaru udává poměr 0,602, který odpovídá přibližně 60% podílu obálky budovy vzhledem k jejímu objemu a ovlivňuje měrnou potřebu tepla na vytápění. Z hlediska energetické efektivity vytápění vnitřních prostor se jedná o výhodný tvar domu.

5.1.3 (A3) Dispoziční řešení

Návrh je rozdělen na dva byty. V prvním nadzemním podlaží se nachází prostor pro společný pobyt (obývací pokoj s jídelnou a kuchyní), druhé nadzemní podlaží tvoří klidová zóna s ložnicemi. Vstupní prostor se zázemím je řešen jako nevytápěný prostor v samostatné přístavbě navazující na hlavní objem domu. Centrální komunikační prostor bytu je temperovaný a propojuje jednotlivé místnosti. Vytápěné prostory jsou soustředěny do středu dispozice návrhu. Ložnice v prvním nadzemním podlaží umožňuje flexibilní využití jako pokoj pro hosty, variabilně jako pracovna nebo v budoucnu jako součást vícegeneračního bydlení.



Obr. 7 – Dispozice návrhu 1NP a 2NP a Zónování prostorů (zdroj: autor)

→ Ověření návrhem funkční dispozice a zónováním prostorů

Vyhodnocení: Dispoziční řešení respektuje funkční požadavky bydlení a vhodně reaguje na orientaci objektu vůči pozemku a okolní zástavbě. Zónování vytápěných, temperovaných a nevytápěných prostorů podporuje energeticky efektivní provoz objektu a přispívá ke snížení tepelných ztrát.

5.1.4 (A4) Konstrukce a konstrukční systém

Modulární dům je navržen pro systém suché montované výstavby objektu. Výstavba objektu je zahájena na místě stavby osazením modulů na předem připravené základy a montážním spojením jednotlivých modulů. Jedná se o ocelový skelet (dle výrobce) o rozměru modulu 9,6 × 3,6 m a světlé výšce 2,6 m. Skladba konstrukce obvodové stěny (dle dodavatele systému) je tvořena tepelnou izolací (pro výpočet PIR), trapézovým plechem PES (tl. 0,5 mm), tepelnou izolací (pro výpočet PIR) a deskami sádrovláknitého typu (pro výpočet deska Fermacell tl. 12,5 mm). Skladba podlah je tvořena tepelnou izolací a podlahovou konstrukcí dle využití místnosti stanovenou dodavatelem systému KOMA Modular (komamodular.cz)

Návrhové skladby dle dodavatele

Rám – nosná konstrukce ze svařovaného ocelového rámu z žárově zinkovaných profilů

Střecha – nízkoenergetický standard: krytina (střešní fólie EPDM), izolace (minerální vata 90 mm + PUR panel 170 mm), interiér (podhled), součinitel prostupu tepla – 0,13 W/m²K

Stěna – nízkoenergetický standard: opláštění (ALU prosklená stěna nebo PUR panel 200 mm), povrchová úprava (PES 25), izolace (PUR panel 200 mm), interiér (obklad nebo výmalba), součinitel prostupu tepla – 0,13 W/m²K

Podlaha – nízkoenergetický standard: konstrukce (svařovaný ocelový rám), izolace (PUR panel 170 mm + polystyren 70 mm), podlaha (Fermacell 2E22), podlahová krytina (koberec nebo PVC), součinitel prostupu tepla – 0,12 W/m²K

→ Návrh konstrukčního systému umožňující demontáž, vhodných skladeb a spojů

Vyhodnocení: Konstrukční systém umožňuje demontáž a parametry skladeb konstrukcí odpovídají nízkoenergetickému standardu.

5.1.5 (A5) Fasáda a výplně otvorů

Fasádní obklad ze dřeva (povrchová úprava) je kombinován s omítkou. Výplně skleněných otvorů jsou zaskleny trojitým izolačním sklem s Ug = 0,6 W/m²K, přičemž celkový součinitel prostupu tepla výplní otvorů činí 1,1 W/m²K (výpočtové hodnoty dle základního technického listu dodavatele, komamodular.cz). Plocha prosklení S(gl) [m²] je 30, plocha fasády S(f) [m²] činí 300, míra prosklení dosahuje 10 %. Pro exponovanou jihovýchodní fasádu s 25% mírou prosklení je s ohledem na orientaci a přiléhající obytné prostory navrženo vhodné stínění okenních otvorů dle závislosti měrné potřeby tepla a vnitřní teploty na míře prosklení.

→ Výpočet prosklení fasády: Fgla [%] = S(gl) [m²] / S(f) [m²] = 30 / 300 = 0,10 = 10 %

→ Jižní fasáda: Fgla [%] = S(gl) [m²] / S(f) [m²] = 3 / 63 = 0,05 = 5 %

→ Exponovaná JV fasáda: Fgla [%] = S(gl) [m²] / S(f) [m²] = 28 / 110 = 0,25 = 25 %

Vyhodnocení: Návrh vhodně pracuje s umístěním okenních otvorů ve vztahu k vnitřnímu využití a poloze obytných místností. U exponované fasády je vzhledem k orientaci a přilehlým hlavním obytným prostorům doporučeno navrhnout vhodné stínicí opatření.

5.1.6 (A6) Koncepce technického řešení

Koncepce technického řešení zahrnuje zónování vytápěných a temperovaných prostorů, návrh fotovoltaického systému pro využití solární energie (optimalizace velikosti FVE dle energetických potřeb provozu objektu), návrh vytápění pomocí

tepelného čerpadla vzduch/voda s výkonem stanoveným výpočtem, návrh akumulace dešťové vody a návrh systému nuceného větrání s rekuperací tepla (opatření ke snížení tepelných ztrát větráním, účinnost rekuperace 75 % podle údajů dodavatele).

- ➝ Výpočet tepelné ztráty prostupem: Qp = Σ(U * A *) * (qai – qae) [W]
- ➝ Výpočet tepelné ztráty větráním: Qvv = cvz * n * V / 3 600 * (qai - qae) [W]

Tepelné ztráty prostupem a větráním

U – součinitel prostupu tepla v W/m²K (stěna: 0,13; střecha 0,12; podlaha 0,12; otvory 1,1)
A – plocha konstrukce v m² (stěna: 300; střecha 170; podlaha 170; otvory 30)
qai – výpočtová teplota interiéru, (výpočtová oblast = 20,6 °C)
qae – výpočtová teplota exteriéru, (výpočtová oblast = -17 °C, pro podlahu +5°C)
cvz – měrná tepelná kapacita vzduchu, přibližně 1 250 J/(m³K)
n – intenzita výměny vzduchu, uvažována 0,5 1/h
V – objem budovy v m3 (980 m³)
Qp = Σ(U * A *) * (qai – qae) [W] = cca 4,2 kW
Qvv = cvz * n * V / 3 600 * (qai - qae) [W] = cca 5,8 kW

Výpočet roční potřeby energie na vytápění (pokrytí tepelných ztrát)

Evp = [Qp * (qais - qaes)] * τ * d / (qai - qae) / 1 000 [kWh/a]
Evv = [Qvv * (qais - qaes)] * τ * d / (qai - qae) / 1 000 [kWh/a]
qais – průměrná teplota interiéru během otopného období, (výpočtová oblast = 20,6°C)
qaes – průměrná teplota exteriéru během topného období, (výpočtová oblast = 3,8°C)
τ – počet hodin vytápění denně, obvykle se volí 16 hodin pro reálnou potřebu
τ – počet hodin větrání denně, cca 5 hodin pro reálnou potřebu
d – počet dnů topné sezóny (pro výpočet 180 dní)
(qai – qae) – rozdíl vnitřní a vnější teploty
Evp = [Qp * (qais - qaes)] * τ * d / (qai - qae) / 1 000 [kWh/a] = cca 9 800 kWh
Evv = [Qvv * (qais - qaes)] * τ * d / (qai - qae) / 1 000 [kWh/a] = cca 2 300 kWh

Vyhodnocení: Navržené technické řešení vytápění, chlazení a větrání zajišťuje komfort vnitřního prostředí s využitím obnovitelných zdrojů energie. Součástí koncepce je tepelné čerpadlo, fotovoltaický systém a systém nuceného větrání s rekuperací tepla. Dispoziční zónování společně s návrhem skladby obálky budovy s vhodnými tepelněizolačními vlastnostmi přispívají ke snížení energetické náročnosti objektu.

5.1.7 (A7) Zabudovaná uhlíková stopa

Dle navržených skladeb konstrukcí byl proveden příklad posouzení zabudované uhlíkové stopy obálky budovy na skladbě obvodové stěny.

ρ [kg/m³] – objemová hmotnost (dle materiálu, například z webu envimat.cz)
plošná hmotnost [kg/m²] – ρ x tloušťka vrstvy
GWP [kg CO2 ekv./kg] – svázané emise CO_2 (dle materiálu, například z webu envimat.cz)
uhlíková stopa vrstvy – GWP x plošná hmotnost
posuzovaný životní cyklus – délka horizontu životního cyklu materiálu (50 let)
počet cyklů LCA – délka návrhové životnosti (1 = jeden posuzovaný cyklus, horizont 50 let)
WLC uhlíková stopa – Whole Life Carbon, uhlíková stopa za celý životní cyklus

pořadí	vrstva	tloušťka vrstvy	objemová hmotnost ρ	plošná hmotnost	GWP	uhl.stopa vrstvy - výroba	posuzovaný živ. cyklus	počet cyklů LCA	WLC uhlíková stopa v celém životním cyklu
skladba modulární konstrukce									
1.	PIR izolace (polyuretan)	0,2	20	4	4,8451	19,3804	50	1	19,3804
2.	Trapézový plech PES tl. 0,5 mm	0,0005	7850	3,925	2,0924	8,21267	50	1	8,21267
4.	Pb profil 4 mm (100x100 mm)	0,004	7850	31,4	2,0924	65,70136	50	1	13,140272
5.	PIR izolace (polyuretan)	0,2	20	4	4,8451	19,3804	50	1	19,3804
6.	deska Farmacell 12,5 mm	0,0125	1000	12,5	0,2929	3,66125	50	1	3,66125
								celkem	63,774992
opláštění - dřevěná fasáda									
	materiál - př. Rhombus 25 mm	0,025	600	15	0,1873	2,8095	50	1	2,8095
								celkem	2,8095

Obr. 8 – Výpočet zabudované uhlíkové stopy skladby obvodové modulární stěny (zdroj: autor)

- ➝ Výpočet WLC (Whole Life Carbon) v životním cyklu stavby

Vyhodnocení: Výpočet zabudované uhlíkové stopy byl aplikován na skladbu obvodové stěny. Pro komplexní posouzení by bylo nutné obdobným způsobem vyhodnotit také konstrukce podlah, stropů, střech a dalších zabudovaných stavebních prvků. Výsledky by následně bylo vhodné porovnat s referenčním modelem, například tradiční zděnou stavbou, což by umožnilo objektivněji posoudit environmentální přínosy navrženého modulárního řešení. V současné době není hodnocení zabudované uhlíkové stopy v České republice standardní součástí projektové dokumentace ani jednotně kategorizováno, proto má provedený výpočet především orientační charakter.

5.2 (B) Modulární výstavba a výroba objektu

Výroba modulárního systému probíhá prefabrikací modulů ve výrobní hale mimo staveniště. Následná výstavba spočívá v montáži modulů na místě stavby, kde jsou osazeny na předem připravené základy. Modulární systém umožňuje flexibilní úpravy, rozšíření a variabilitu využití objektu v průběhu životního cyklu stavby (viz výše v kapitole 2.4.1. Modulární výstavba jako nástroj cirkulární výstavby).

- ➝ Dopad výroby a výstavby objektu v souladu s principy cirkulárního stavitelství

Vyhodnocení: Uplatnění modulárního systému stavby podporuje principy cirkulárního stavitelství zejména díky možnosti budoucí demontáže, prefabrikaci ve výrobním prostředí, omezení vzniku stavebního odpadu na staveništi, úprav či opětovného využití jednotlivých modulů.

5.3 (C) Provoz a údržba během životního cyklu

Návrh počítá s pravidelnou údržbou, kontrolou provozu technického vybavení a obnovou konstrukcí prodlužující životnost stavby. Součástí koncepce je také využití udržitelných a obnovitelných zdrojů energie během provozu objektu a preference recyklovatelných materiálů v konstrukcích a zabudovaných prvcích. Modulární systém umožňuje demontáž, obnovu a případnou výměnu nefunkčních komponentů.

- ➝ Pravidelná údržba, obnova stavebních prvků a kontroly provozu

Vyhodnocení: Při dodržení navržených opatření, provozních podmínek a pravidelné údržby má objekt potenciál zachovat požadované vlastnosti, prodloužit svou životnost a podporovat principy udržitelnosti během celého životního cyklu.

5.4 (D) Ukončení životnosti stavby a demolice

Montážní systém výroby a výstavby modulárního domu umožňuje rozebrání stavby pomocí demontáže a podporuje možnost opětovného využití stavebních materiálů a jednotlivých dílů po ukončení životnosti objektu.

- ➝ Demontáž a opětovné využití stavebních materiálů po ukončení životnosti stavby

Vyhodnocení: Navržený systém stavby podporuje principy cirkulárního stavitelství díky možnosti demontáže, opětovného využití a následné recyklace stavebních materiálů.

6 Syntéza a vyhodnocení případového modelu

Pro syntézu a posouzení návrhového modelu z hlediska udržitelnosti je využit nástroj EU Taxonomy Compass (volně dostupný na webových stránkách ec.europa.eu), který slouží jako podklad pro orientaci v požadavcích EU Taxonomie. Následující tabulka (Obr. 9 „Charakteristika a doplnění parametrů návrhu dle EU Taxonomie“) shrnuje dotčené oblasti hodnocení, jejich obecnou charakteristiku a doplňuje je o konkrétní návrhová opatření vycházející z předchozí analýzy modelového případu.

6.1 Posouzení pomocí EU Taxonomie

Hodnocený návrhový modelový případ udržitelného rodinného modulárního domu spadá dle EU Taxonomie do sektoru stavebnictví a realitní činnosti a aktivity konstrukce novostaveb. Jednotlivé cíle EU Taxonomie jsou posuzovány z hlediska kritérií „substantial contribution“ (významný příspěvek) a „do not significant harm“ (nezpůsobení významné škody). Významný příspěvek k dané aktivitě a sektoru lze v rámci hodnocení uplatnit pouze u vybraných cílů (1, 2 a 4), zatímco u ostatních cílů lze prostřednictvím návrhových opatření zejména omezit potenciální negativní dopady.

	Cíle EU Taxonomie EU Taxonomy Compass	Zkrácená charakteristika oblastí pro plnění kritérií dle EU Taxonomie	příspěvěk dle modelového případu
1 + / DNSH	Zmírnění dopadů na změnu klimatu (mitigace)	omezení toku sklenikových plynů zachycujících teplo do atmosféry, snižování emisí CO2 (zabudované i provozní uhlíkové stopy) a spotřeby energie budovy, výroba energie z obnovitelných zdrojů a obnovitelné energie (fotovoltaika, geotermální vrty, tepelná čerpadla, dálkové chlazení a vytápění), návrhy pasivních budov, rekonstrukce (zateplení, výměna oken, přiměřené procento prosklení budovy, instalace rekuperace, optimalizace návrhu vzduchotechniky, vytápění a chlazení, použití ekologických chladiv (GWP > 50), využití inteligentních technologií (montoring, ovládání).	fotovoltaika, rekuperace, teplné čerpadlo, optimlizace prosklení fasády, opatření proti přehřívání (stínění, markýzy, venkovní rolety), optimalizace tvaru a zónování budovy ve vztahu k vytápění a využití prostorů
2 + / DNSH	Příspěvěk k přizpůsobení se změně klimatu (adaptace)	Adaptace reaguje na již stávající stav klimatu a přijímá opatření k přizpůsobení se současným a budoucím dopadům změny klimatu. Mezi adaptační opatření spadá zajištění tepelného komfortu v budově, vhodnost volby povrchů a využití odrazivosti, modrozelená infrastruktura (zadržování vody pomocí zelených střech, zelených pláštů fasády, s přesahem návrhu až po oběhové hospodářství vody ve vztahu k řešení okolí domu a použití zatravňovacích pásů, akumulace a zadržování vody), ochrana biodiverzity a zeleně, jímání srážkových vod.	vnější mikroklima, zelená střecha jímání dešťový vod, vodní biotop (zahradní jezírko), zasakovací průleh, různé druhy rostlin a zeleně
3 DNSH	Udržitelné využívání a ochrana vodních zdrojů	úspora pitné vody (stanovení spotřeby vody instalovaných zařízení, automatických senzorů nebo časovačů pro omezení průtoku, zařizovacích předmětů s certifikací), využití dešťové vody a šetrné nakládání s odpadními vodami (čištění odpadních vod ze staveniště, akumulace a zálivka dešťovou vodou, modrozelená infrastruktura).	jímání dešťových vod, vodní biotop na zahradě, zasakovací průleh, interiér - baterie a průtoky, nádržky apod.
4 +	Přechod na oběhové hospodářství (cirkulární ekonomika)	stavební a demoliční odpad je zpracován v souladu s právními předpisy EU o odpadech, příprava materiálů k opětovnému použití nebo recyklaci stavebního demoličního odpadu činí nejméně 90 %, prokazuje se hlášením, GWP budovy posouzeno v celém životním cyklu budovy, návrh a technologie podporují cirkulární ekonomiku, dekonstrukci, použití primárních surovin je minimalzováno a nahrazeno sekundárními, použití materiálů splňuje limity procentuálního rozložení (sekundárních a primárních zdrojů), opětovné použití elektroinstalací atd., uchování informací o budově	modulární systém pro demontáž, výpočet GWP, recyklované a recyklovatelné materiály (př. beton pro zpěvněné plochy) a pro návrh skladeb, vybavení interiéru ze sekundárních materiálů), přírodní materiály fasádního obkladu
5 DNSH	Prevence a omezování znečištění ovzduší, vody nebo půdy	materiály splňují zkušební podmínky proti kontaminaci ovzduší, v ponteciálně kontaminovaných lokalitách bylo misto podrobeno šetření, sou přijata opatření ke snížení hluku, prachu a emisí znečišťujících látek během stavebních nebo údržbových prací, k výrobě nejsou použity látky jako rtuť a další dle uvedných směrnic	nejedná se o potenciálně kontaminovanou lokalitu, materiály musí být nezávadné (není předmětem analýzy)
6 DNSH	Ochrana a obnova biologické rozmanitosti a ekosystémů	nová stavba není postavena jednom z následujících míst: orná a zemědělská půda se střední až vysokou úrodností půdy a podzemní biodiverzitou, zelené plochy s uznávanou vysokou hodnotou biologické rozmanitosti a pozemky, které slouží jako stanoviště ohrožených druhů (flóry a fauny), na pozemcích odpovídající definici lesa	jedná se pozemek s málo produkční půdou

Obr. 9 – Charakteristika a doplnění parametrů návrhu do tab. dle EU Taxonomie (zdroj: autor)

→ Doplnění návrhových opatření do tabulky pro porovnání souladu s EU taxonomií

6.2 Celkový architektonický koncept modelu udržitelného domu



Obr. 10 – Celkový koncept návrhu udržitelného modulrního domu (zdroj: autor)

6.3 Celkové vyhodnocení udržitelnosti návrhu

Pro analýzu udržitelnosti návrhu byl vybrán model modulárního rodinného domu, který díky způsobu výroby, výstavby a zvolenému konstrukčnímu systému reaguje na principy udržitelného stavitelství a cirkulární výstavby. Pro posouzení modelového případu byl využit přístup identifikace návrhových opatření navazujících na cíle EU Taxonomie.

Na základě analýzy jednotlivých částí návrhu byla identifikována opatření podporující udržitelnost návrhu. Právě fáze návrhu stavby, zahrnující volbu konstrukčního systému, materiálového řešení, koncepce technického vybavení a dalších parametrů, je zásadní pro uplatnění principů udržitelného stavitelství. Byly stanoveny konkrétní parametry návrhu, které se podílejí na celkové koncepci technického řešení a vybavení objektu, a zároveň byly identifikovány oblasti, které mohou ovlivnit výslednou udržitelnost již v rané fázi návrhu.

Pomocí nástroje EU Taxonomie byly vymezeny relevantní oblasti hodnocení (cíle EU Taxonomie) a k nim přiřazena konkrétní návrhová opatření, která mají potenciál podpořit udržitelnost návrhu. Přestože nástroj poskytuje konkrétní požadavky a způsoby řešení jednotlivých oblastí, neposkytuje jednoznačné celkové vyhodnocení míry udržitelnosti návrhu, například prostřednictvím hodnoticí škály nebo souhrnného ukazatele. Umožňuje však identifikovat oblasti, kterých se jednotlivá opatření týkají, a potvrzuje význam návrhových opatření při naplňování stanovených environmentálních cílů.

7 Závěr

Cílem práce bylo ověření a posouzení vlivu volby konstrukce, konstrukčního systému, způsobu výroby a výstavby objektu ve vztahu k udržitelnosti a návrh konceptu udržitelného modulárního rodinného domu z pohledu architektonické praxe. Dále byly identifikovány dotčené oblasti, okruhy zájmu a návrhová opatření uplatnitelná v procesu návrhu novostaveb. Pomocí EU Taxonomie byl ověřen vztah modulárního systému výstavby k principům cirkulárního hospodářství, které představuje jeden z významných cílů tohoto nástroje. Dílčím cílem bylo také stanovení širších oblastí souvisejících s navrhováním staveb a analýza životního cyklu stavby v kontextu principů udržitelné výstavby a cirkulárního stavitelství.

Bylo zjištěno, že udržitelný návrh přesahuje samotnou fázi realizace stavby a zahrnuje celý její životní cyklus od výroby a výstavby až po ukončení životnosti. Ve všech těchto fázích se významně promítá přístup uplatněný již v rané fázi návrhu. Návrhová opatření ovlivňují životní cyklus budovy a souvisejí se správným usazením stavby na pozemku, vztahem ke krajině a území, efektivním využitím dispozice, volbou konstrukčního systému, způsobem výroby a výstavby, využitím obnovitelných zdrojů energie, hospodárným nakládáním se zdroji, šetrným využíváním vody, volbou materiálů a dalšími opatřeními podporujícími udržitelnost.

Bylo ověřeno, že koncept modelu pozitivně reaguje na současné trendy v oblasti udržitelného stavitelství a odpovídá požadavkům na demontáž konstrukcí a systémů v souladu s principy cirkulárního stavitelství. Vyhodnocení návrhových opatření podle principů EU Taxonomie doplňuje posouzení životního cyklu stavby. Pro komplexnější hodnocení modulární výstavby a životního cyklu modulární stavby by bylo vhodné využít porovnávací metodu například s tradičním způsobem výstavby a doplnit další parametry, data a výsledky analýzy.

Navazující výzkum by mohl směřovat k implementaci datových parametrů do digitálního 3D modelu nebo k rozšíření hodnocených oblastí, které nebyly touto prací zahrnuty. Doplnění dalších dat a informací do navrženého konceptu by mohlo přispět k jeho větší komplexnosti. Vzhledem k postupnému zavádění opatření zaměřených na snižování uhlíkové stopy však v současnosti není možné jednoznačně stanovit komplexní hodnocení udržitelnosti návrhu, jelikož dosud není zaveden jednotný obecně platný systém hodnocení budov v této oblasti. Vytvoření datové základny by mohlo v budoucnu umožnit efektivnější porovnávání jednotlivých návrhů a usnadnit orientaci v problematice udržitelného navrhování staveb. Dostupnost relevantních informací by zároveň umožnila efektivnější práci s návrhovými opatřeními vedoucími k naplnění stanovených cílů udržitelnosti budov.

8 Diskuze

Diskuze vede k zamyšlení nad vymezením nejvýznamnější oblasti, která má vliv na udržitelnost ve vztahu k cirkulárnímu hospodářství. Recyklace stavebních dílů i materiálů je identifikována jako jedna z nejvlivnějších složek vedoucích k dodržení principů udržitelnosti a ke splnění kritéria cirkulárního oběhového hospodářství ve stavitelství a stavebním průmyslu.

Článek byl podpořen grantem SGS24/017/OHK1/1T/11 „Modulární architektura" a vznikl v návaznosti na absolvování kurzu celoživotního vzdělávání: „Udržitelná architektura v praxi" pod vedením garantek Ing. Kateřiny Eklové a Prof. Ing. Renáty Schneiderové Heralové, Ph.d.

Literatura

AGENDA 21. (1999). Agenda 21 on sustainable construction [online]. CIB Reporting Publication, s. 237. ISBN: 90-6363-015-8. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4675.pdf

BUDOVY 21. (2024). Uhlíková stopa budov: Jsme připraveni na zavedení nových pravidel? [online]. budovy21.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://www.budovy21.cz/gwp-kulaty-stul/

ENVIMAT. Katalog materiálů [online]. envimat.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: http://www.envimat.cz/materialy

EUROPEAN COMMISSION. (2025). EU Taxonomy Navigator [online]. ec.europa.eu. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/350/view

FRAMIREAL. Nový stavební zákon cílí na udržitelný rozvoj. Podporuje zahrady i mobilní domky. [online]. framireal.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://www.framireal.cz/novy-stavebni-zakon-cili-na-udrzitelny-rozvoj-podporuje-zahrady-i-mobilni-domky-1

HRUBÝ, Libor. (2016). Umístění, tvar a rozvržení místností pasivního domu [online]. stavba.tzb-info.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13877-umisteni-tvar-a-rozvrzeni-mistnosti-pasivniho-domu

CHESHIRE, David. (2016). Building Revolutions. London: Riba Publishing, s. 66, 94-99. ISBN: 978-1-85946-645-2

IANNACCONE, Giuliana. (2014). Innovative Technologies Solutions. In: Smart-ECO Buildings 2020/2030. Innovative Technologies for Resource Efficient Building. PoliMi SpringerBriefs, DOI: 10.1007/978-3-319-00269-9__3, s. 37-55. ISSN: 2282-2577

KABELE, Karel. (2018). Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3) [online]. tzb-info.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3

KOMA MODULAR. Technický list [online]. komamodular.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://www.koma-modular.cz/assets/downloads/KOMA-MODULAR/Technicke-popisy/Technicky-popis-M3.pdf

KUNTOVÁ, Kamila. (2017). Recyklovatelné stavební materiály [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. [cit. 18.11.2025]. s. 11-17, 65. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/handle/10467/69341

MASERA, Gabriele. (2014). Holistic Design Applying Innovative Technologies. In: Smart-ECO Buildings 2020/2030. Innovative Technologies for Resource Efficient Building. PoliMi SpringerBriefs, DOI: 10.1007/978-3-319-00269-9__2,s. 13-33. ISSN: 2282-2577

PVK BUILD s.r.o. (2025). Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) – povinnost a cena v roce 2025 [online]. tzb-info.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/28914-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-penb-povinnost-a-cena-v-roce-2025

SOJKOVÁ, Kateřina. (2011) Vliv oken a jejich stínění na tepelnou bilanci domů s odlišnými parametry. 4 Výsledky a diskuze [online]. tzb-info.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/8098-vliv-oken-a-jejich-stineni-na-tepelnou-bilanci-domu-s-odlisnymi-parametry

ŠEBEK, Václav. (2024). Nová legislativa a plánování v místní energetice [online]. smocr.cz. [cit. 18.11.2025]. s. 8. Dostupné z: https://www.smocr.cz/Shared/Clanky/14672/5-1-vaclav-sebek-seven-nova-legislativa-a-planovani-v-mistni-energetice.pdf

ŠKOPÁN, Miroslav. (2022). Recyklace stavebních a demoličních odpadů ve světle nových právních předpisů [online]. zpravy.ckait.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z:

https://zpravy.ckait.cz/vydani/2022-01/recyklace-stavebnich-a-demolicnich-odpadu-ve-svetle-nove-legislativy/
WATERFIELD, Patrick. (2011). The Energy Efficient Home. UK: The Crowood Press, s. 11-17. ISBN: 978-1-84797-259-0
WORLDGBC. (2019). Bringing embodied carbon upfront [online]. worldgbc.cz. [cit. 18.11.2025]. Dostupné z: https://worldgbc.s3.eu-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/09/22123951/WorldGBC__Bringing__Embodied__Carbon__Upfront.pdf

Informace o autorce

Ing. arch. Sabina Havránková
Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra architektury
sabka.havrankova@gmail.com