



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Stavebná fakulta

Ing. Robert Provazník

Autoreferát dizertačnej práce

Optimalizácia objemovo-priestorových parametrov budov ako nástroj na zmiernenie klimatickej zmeny

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe
3659 Teória a konštrukcie pozemných stavieb

v študijnom odbore
stavebníctvo

Forma štúdia
denná

Miesto a dátum
v Bratislave dňa 31. 05. 2024



Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry

Predkladateľ: **Ing. Robert Provazník**
Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: **Mgr. art. Ing. Pavol Pilař, ArtD.**
Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Konzultant: **doc. Ing. arch. Jarmila Húsenicová, PhD.**
Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa o h

na Stavebnej fakulte STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava.

.....

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakulty

Optimalizácia objemovo-priestorových parametrov budov ako nástroj na zmiernenie klimatickej zmeny

Jedným zo súčasných globálnych rizík je klimatická zmena, na ktorú má dlhodobý výrazný dopad aj stavebný sektor a teda životný cyklus budov. Aktuálnou otázkou v tomto smere je znižovanie nielen prevádzkových, ale aj zabudovaných emisií s dlhodobou víziou výstavby uhlíkovo neutrálnych budov. Možnosťou ako docieľiť túto redukciu je zavedenie hraničných hodnôt podobne, ako je to dnes pre potrebu energie na prevádzku budovy. V praxi by to tak znamenalo využitie potenciálu prírodných materiálov, ktoré sú šetrné k životnému prostrediu i k samotnému užívateľovi budovy.

Práca sa zaoberá sledovaním vplyvu zjednodušených geometrických reprezentantov rodinných domov a ich materiálových variantov na hodnoty environmentálnych indikátorov. Cieľom je optimalizácia objemovo-priestorových parametrov budov, teda hľadanie optimálneho hmotového variantu vzhľadom na hodnoty environmentálnych indikátorov vzťahujúcich sa na referenčné priestorové parametre.

Optimization of volume-spatial parameters of buildings as a tool for mitigating climate change

One of the current global risks is climate change, on which the construction sector and thus the life cycle of buildings has a significant long-term impact. The current issue in this direction is the reduction of not only operational but also embodied emissions with a long-term vision of the construction of carbon neutral buildings. The possibility of achieving this reduction is the introduction of threshold values, similar to how it is today for the amount of operational energy of a building. In practice, this would mean using the potential of natural materials that are friendly to the environment and the user of the building.

The work concerns with monitoring the influence of simplified geometric representants of family houses and their material variants on the values of environmental indicators. The goal is to optimize the volumetric-spatial characteristics of buildings, i.e. the search for the optimal material variant with respect to the values of the environmental indicators related to the reference spatial unit.

Obsah

1	ÚVOD.....	5
2	ZHODNOTENIE SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA A STANOVENIE HYPOTÉZY.....	5
3	CIELE ZÁVEREČNEJ PRÁCE.....	6
4	METÓDY SKÚMANIA	6
5	METODIKA PRÁCE	7
5.1	Analýza teoretických poznatkov.....	7
5.2	Definovanie reprezentantov a determinanty ich výberu.....	7
5.2.1	Pôdorysná stopa reprezentantov.....	7
5.2.2	Podlažnosť reprezentantov.....	7
5.2.3	Tvar a sklon strechy reprezentantov.....	7
5.2.4	Vnútorne konštrukcie	7
5.3	Simplifikácia a modelovanie reprezentantov.....	8
5.4	Definovanie materiálových variantov	8
5.4.1	Systémové hranice	8
5.4.2	Charakteristika vstupných údajov a ich zdroje.....	8
5.5	Kalkulácia výsledných hodnôt – výpočtová kalkulačka	9
5.5.1	Vstupné údaje geometrie reprezentanta.....	9
5.5.2	Vstupné údaje materiálového variantu	9
5.5.3	Referenčné priestorové parametre reprezentanta.....	9
5.5.4	Výpočet plôch konštrukcií reprezentanta.....	10
5.5.5	Výpočet environmentálnych indikátorov.....	11
6	VÝSLEDKY PRÁCE	12
7	ZÁVER	16
7.1	Vyhodnotenie cieľov práce a naplnenia hypotézy	16
7.2	Prínosy práce.....	17
7.3	Odporúčania pre ďalší výskum.....	19
	VYBRANÉ ZDROJE A LITERATÚRA.....	20
	TVORIVÁ ČINNOSŤ AUTORA.....	20

1 Úvod

Architektonický priestor je vytvorený ľudskou stavebnou činnosťou, vymedzený architektonickými konštrukciami, ktoré sú tvorené stavebnými materiálmi. Materialita je pevnou súčasťou architektonického konceptu už v prvotných fázach projektu a v mierke samotnej budovy ovplyvňuje celkové formovanie a pôsobenie priestoru, jeho atmosféru, mikroklimu a v neposlednom rade aj zdravie človeka.

V širšom kontexte vplývajú použité materiály na životné prostredie a klimatickú zmenu formou zabudovaných emisií. Desiatky rokov sa kládol dôraz najmä na znižovanie potreby prevádzkovej energie, či už sa jednalo o obnovované budovy alebo novostavby. Opatrenia na zvýšenie energetickej hospodárnosti v praxi znamenali využívanie vysoko účinných technických zariadení, návrh v súlade s princípmi pasívneho dizajnu a najmä nárast hrúbky tepelnej izolácie. V dôsledku toho nielen narastá relatívny pomer zabudovanej energie, ale aj výdaj zabudovaných emisií budov v dôsledku väčšej spotreby materiálov. Plánom Európskej únie je výstavba uhlíkovo neutrálnych budov do roku 2050 a v súčasnosti sa tak do pozornosti dostáva aj znižovanie zabudovaných emisií.

Jednou z výziev v sfére stavebného sektoru sa stáva globalizácia, rastúci trend bývania v mestách ako aj v rodinných domoch. Na druhej strane je to nízka dostupnosť bývania na Slovensku, preľudnenosť domácností, decentralizácia (dekoncentrácia) bytovej výstavby a malé množstvo bytových jednotiek. Snaha riešiť tieto problémy však môže spôsobiť, že nová výstavba bude vytváraná najmä z materiálov, ktoré výrazným spôsobom škodia životnému prostrediu a navyše nereflektujú miestnu stavebnú kultúru pôvodne vychádzajúcu z lokálnych materiálov.

2 Zhodnotenie súčasného stavu poznania a stanovenie hypotézy

- Stavebníctvo je jedným z najväčších spotrebiteľov energií a pôvodcom emisií. Pozornosť sa v súčasnej dobe kladie na znižovanie zabudovaných emisií, vzhľadom na vysoko prevádzkovo efektívne nové budovy, ktoré majú stanovené cieľové hodnoty z hľadiska energetickej hospodárnosti.
- Z aktivít EU vyplýva snaha o stanovenie a dosahovanie cieľov uhlíkovej neutrality, čo v sektore stavebníctva znamená návrh, výstavbu a prevádzku uhlíkovo neutrálnych budov. Opatrenia, usmernenia a najmä spôsoby, ako k tejto problematike pristupovať a naplňať stanovené ciele, však zatiaľ nie sú zreteľné.
- Naša legislatíva vôbec nedefinuje pojem uhlíkovo neutrálna budova a minimálnym spôsobom pracuje s environmentálnymi kritériami výstavby nových budov, najmä z pohľadu zabudovanej energie a emisií.
- Najvhodnejším nástrojom na hodnotenie životného cyklu budov je v súčasnosti metóda LCA, ktorá má však stále mnohé nedostatky. Chýba jednotný spôsob kalkulácie, jednotiek, zdrojov údajov a spôsobe vyhodnotenia. Metóda je navyše zložitá, zdĺhavá a možnosť výpočtu sa naskytá až na konci projektovania.
- Systémová hranica „od kolísky po bránu“ zahŕňajúca fázu produktu (A1 – A3) v rámci životného cyklu budovy je zodpovedná za najväčšie množstvo zabudovaných emisií.
- Na našom území existujú lokálne materiály, ktoré majú potenciál nezvyšovať emisnú stopu v sektore stavebníctva, sú estetické a aplikovateľné v súčasnej architektúre, pričom zároveň nadväzujú na našu stavebnú kultúru.

- Na našom území je obrovský dopyt po nových bytových jednotkách a bývaní v rodinných domoch.
- I keď sa výsledky v rámci tejto tématiky v dostupných výskumoch mierne líšia, vieme na základe nich povedať, ktoré materiály sú šetrnejšie voči životnému prostrediu a ktoré menej. Rovnako vieme, ktoré konštrukcie budovy sú ťažiskovo problémom. Nie je však jasné, ako na hodnoty environmentálnych indikátorov vplývajú rozmery, tvar či proporcia budovy.
- Hypotéza: Geometria a materialita domov zásadným spôsobom definujú hodnotu environmentálnych indikátorov, ktoré priamo súvisia s ich vplyvom na životné prostredie. Táto hodnota sa nemení lineárne s veľkosťou domu, teda napríklad dvojnásobne väčší dom nemá dvojnásobne väčšiu hodnotu environmentálnych indikátorov.

3 Ciele záverečnej práce

Hlavný cieľ práce:

- Výpočet a vyhodnotenie vplyvu zjednodušených geometrických reprezentantov a materiálových variantov na hodnoty environmentálnych indikátorov v produktovej fáze A1-A3.
- Čiastkové ciele práce:
- Príspevok k hľadaniu limitnej hodnoty environmentálnych indikátorov rodinných domov.
- Definovanie percentuálneho podielu jednotlivých konštrukcií na hodnoty environmentálnych indikátorov a následná identifikácia najkritickejších z nich.
- Vytvorenie zjednodušenej kalkulačky hodnôt objemových a priestorových parametrov, vrátane hodnôt environmentálnych indikátorov.
- Vytvorenie drobného katalógu skladieb a ich environmentálnych profilov.

4 Metódy skúmania

Na dosiahnutie cieľov dizertačnej práce boli použité nasledovné metódy:

- Analýza teoretických poznatkov
- Charakteristika predmetu skúmania
- Definovanie reprezentantov a determinanty ich výberu
- Modelovanie a simplifikácia reprezentantov
- Definovanie materiálových variantov
- Kalkulácia výsledných hodnôt – výpočtová kalkulačka
- Štatistická metóda
- Syntéza a analógia výsledkov (v časti Výsledky práce, Diskusia a Záver)

5 Metodika práce

5.1 Analýza teoretických poznatkov

Za účelom dôsledného spracovania tézy práce boli systematicky analyzované jednotlivé tematické celky súčasného stavu riešenej problematiky u nás a vo svete prostredníctvom dostupnej literatúry a publikovaných vedeckých prác.

Ako nosný problém sme definovali vplyv stavebného sektoru na klimatickú zmenu, ktorá patrí medzi závažné globálne riziká. Následne sme spracovali súvisiace tematické celky, ktoré sa týkajú tohto vplyvu, respektíve majú potenciál ho zmeniť.

V časti zhodnotenie súčasného stavu poznania sme definovali najdôležitejšie zistenia vyplývajúce z analýz teoretických celkov.

5.2 Definovanie reprezentantov a determinanty ich výberu

5.2.1 Pôdorysná stopa reprezentantov

Rodinný dom, teda reprezentant so ZP 60m² reprezentuje súčasnejší, minimalistický prístup k bývaniu a zohľadňuje ekonomickú stránku dostupnosti bývania. Hodnota 120m² sa približuje k priemerným ZP v analyzovaných publikáciách. Maximálna zastavaná plocha reprezentanta je uvažovaná 180m², pričom vyššie hodnoty ZP môžeme pozorovať najmä pri výstavbe rodinných domov typu bungalov či viacgeneračných RD.

Pomocou násobkov výmer sme vedeli z výsledkov odčítať vplyv proporčnej zmeny veľkosti – rôzna ZP, rôzne rozmery, rovnaká proporcia pôdorysu. Zároveň sme pozorovali vplyv proporcie objektu – rovnaká ZP, rôzne rozmery.

Šírka a dĺžka reprezentantov vychádzali z definovaných zastavaných plôch a tvarovej variácie proporcie pôdorysu. Volili sme štvorcový a obdĺžnikový pôdory, pričom sme použili analógiu, kde nemeníme šírku dvoch a dvoch príbuzných reprezentantov, iba pracujeme so zmenou dĺžky (viď tab. 8).

Vďaka tomu sme mohli odpozorovať vplyv neproporčnej zmeny veľkosti – rôzna ZP, jeden dvojnásobný rozmer objektu.

5.2.2 Podlažnosť reprezentantov

Najčastejšie zaužívanými sú 1- a 2- podlažné rodinné domy, s ktorými zároveň uvažujeme v práci.

5.2.3 Tvar a sklon strechy reprezentantov

Pri sedlovej streche sme variovali sklon zastrešenia 30° a 45°. Pri valbovej streche sme uvažovali s jednotným sklonom 30°. Pri plochej streche sme zanedbali spádovanie strechy, nakoľko nie je pre výslednú hodnotu relevantné.

5.2.4 Vnútorne konštrukcie

Pre účely práce sme stanovili priemerný podiel hodnoty dĺžky nosných stien z podlažnej plochy na 15% a hodnoty dĺžky nenosných priečok na 20%. Výslednú plochu týchto konštrukcií potom dostaneme vynásobením dĺžky vnútorných nosných stien a priečok svetlou výškou podlažia.

5.3 Simplifikácia a modelovanie reprezentantov

Pomocou vzájomnej kombinácie jednotlivých parametrov vzniklo 40 geometrických reprezentantov. Výskumné vzorky boli spracované v 3D modelovacom programe v základných hmotách, ktoré používajú architekti v počiatkoch tvorby projektov.

5.4 Definovanie materiálových variantov

Na účely výpočtu environmentálnych indikátorov reprezentantov a vzájomné porovnanie materiálových variantov boli stanovené dva materiálové varianty, pričom prvým boli konvenčne využívané materiály používané v súčasnosti. Druhým zvoleným variantom boli, dnes už alternatívne, materiály využívané prevažne v minulosti, avšak s obrovským potenciálom pre aplikáciu v súčasnej architektúre. Tieto materiály majú nízku hodnotu environmentálnych indikátorov vzhľadom na pôvod surovín a menšiu mieru priemyselného spracovania.

Na sledovanie dopadu vplyvu reprezentantov na životné prostredie boli použité nasledovné environmentálne indikátory:

$PENRT_i$ – viazaná primárna energia (z neobnoviteľných zdrojov) konštrukcie reprezentanta na 1 m^2 tejto konštrukcie uvádzaná v kWh / m^2 . Keďže hodnoty v databáze sú udávané v $\text{MJ} / \text{referenčná jednotka}$, bolo potrebné hodnoty premeniť, pričom $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.

- GWP_i – potenciál otepľovania konštrukcie reprezentanta na 1 m^2 tejto konštrukcie uvádzaný v $\text{kg CO}_2 \text{ ekv.} / \text{m}^2$
- AP_i – potenciál okysľovania konštrukcie reprezentanta na 1 m^2 tejto konštrukcie uvádzaný v $\text{kg SO}_2 \text{ ekv.} / \text{m}^2$. Keďže hodnoty v databáze sú udávané v $\text{mol H}^+ \text{ ekv.} / \text{referenčná jednotka}$, bolo potrebné hodnoty premeniť, pričom $1 \text{ kg SO}_2 \text{ ekv.} = 31,3 \text{ mol H}^+ \text{ ekv.}$

5.4.1 Systémové hranice

Pri kalkulácii vplyvu budov na životné prostredie pomocou metódy LCA je nevyhnutné zadefinovať si systémové hranice v rámci životného cyklu (Nwodo and Anumba, 2019). Vo výskume sme uvažovali s hodnotami troch environmentálnych indikátorov pre systémovú hranicu „od kolísky po bránu“ („Cradle to gate“) vzhľadom na to, že je v rámci nej možné spoľahlivo čerpať relatívne presné dáta (Malmqvist et al., 2011). Zároveň má najzásadnejší vplyv na hodnotu environmentálnych indikátorov reprezentanta (Tozan *et al.*, 2023)(Röck, Balouktsi and Ruschi Mendes Saade, 2023). Systémová hranica „od kolísky po bránu“ zahŕňa fázu produktu A1-A3, teda zásobovanie surovinami, dopravu do výroby a samotnú výrobu produktu (resp. stavebného materiálu).

5.4.2 Charakteristika vstupných údajov a ich zdroje

Hodnoty environmentálnych indikátorov jednotlivých materiálov boli čerpané z voľne dostupnej online databázy oekobaudat.de (ÖKOBAUDAT, 2023). Údaje v nej sú v súlade s normou EN 15804+A2 a boli vytvorené na základe údajov GaBi (Sphera Solutions GmbH, 2023). Databáza je spoľahlivým a dôveryhodným zdrojom údajov environmentálnych indikátorov, vzhľadom na ich pravidelnú aktualizáciu a možnosť vyhľadania pôvodu dát. Čerpané boli hodnoty pre systémovú hranicu „od kolísky po bránu“ („Cradle to gate“), ktorá zahŕňa fázy životného cyklu A1-A3.

5.5 Kalkulácia výsledných hodnôt – výpočtová kalkulačka

Pre čiastočne automatizovaný výpočet bola vytvorená výpočtová kalkulačka, kde je potrebné zadať vstupné údaje geometrie reprezentanta a zvoliť materiálový variant, pričom zvyšné hodnoty sú vypočítané automaticky.

5.5.1 Vstupné údaje geometrie reprezentanta

Pre korektné prevedenie výpočtu bolo potrebné do vytvorenej výpočtovej kalkulačky dosadiť vstupné hodnoty geometrie každého z reprezentantov. Boli definované na základe časti „5.3 Definovanie reprezentantov a determinanty ich výberu“ tejto práce.

Zoznam vstupných údajov geometrie reprezentanta:

- s_{RD} – šírka objektu [m]
- d_{RD} – dĺžka objektu [m]
- v_M – svetlá výška miestnosti [m]
- X_{PP} – počet podlaží [-]
- X_{TS} – tvar strechy [-]
- X_{SS} – sklon strechy [°]

5.5.2 Vstupné údaje materiálového variantu

Výberom požadovaného materiálového variantu (kolónka X_{MV}) výpočtová kalkulačka automaticky dosadí hrúbky konštrukcií a zároveň preberá hodnoty environmentálnych indikátorov príslušných skladieb konštrukcií, pričom všetky hodnoty aplikuje pri ďalších výpočtoch.

5.5.3 Referenčné priestorové parametre reprezentanta

- A_{ZP} – zastavaná plocha [m²]

$$A_{ZP} = s_{RD} \times d_{RD} \quad (5.1)$$

- A_{PP} – podlahová plocha [m²]

$$A_{PP} = X_{PP} \times A_{ZP} \quad (5.2)$$

- A_{UP} – úžitková plocha [m²]

$$A_{UP} = A_{PP} - ((A_{OK_{OS}} \times X_{PP}) + A_{VK_{NS}} + A_{VK_{NP}}) = A_{PP} - \left\{ \left[\left((2 \times s_{RD}) + (2 \times (d_{RD} - (2 \times h_{OS}))) \right) \times h_{OS} \right] \times X_{PP} \right\} + [(0,15 \times A_{PP}) \times h_{NS}] + [(0,20 \times A_{PP}) \times h_{NP}] \quad (5.3)$$

- V_{OP} – obostavaný priestor [m³]

Výpočtový vzorec obostavaného priestoru pre reprezentanta s plochou strechou:

$$V_{OP} = A_{ZP} \times (h_p + (v_M \times X_{PP}) + (h_{SK} \times (X_{PP} - 1))) \quad (5.4)$$

Výpočtový vzorec obostavaného priestoru pre reprezentanta so sedlovou strechou:

$$V_{OP} = [A_{ZP} \times (h_p + (v_M \times X_{PP}) + (h_{SK} \times (X_{PP} - 1)))] + \left[d_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right)}{2} \right) \right] \quad (5.5)$$

Výpočtový vzorec obostavaného priestoru pre reprezentanta s valbovou strechou:

$$V_{OP} = \left[A_{ZP} \times (h_p + (v_M \times x_{PP}) + (h_{SK} \times (x_{PP} - 1))) \right] + \left\{ \left[d_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right)}{2} \right) \right] - \left[2 \times \left(\frac{\left(s_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right) \right) \times \left(\frac{s_{RD}}{2} \right)}{3} \right) \right] \right\} \quad (5.6)$$

▪ Faktor tvaru

$$FT = \frac{\sum P_{OK}}{V_{OP}} \quad (5.7)$$

5.5.4 Výpočet plôch konštrukcií reprezentanta

▪ P_{OK_OS} – plocha obvodových stien [m²]

Výpočtový vzorec plochy obvodových stien pre reprezentanta s plochou strechou:

$$P_{OK_OS} = \left\{ \left[(2 \times s_{RD}) + (2 \times (d_{RD} - (2 \times h_{OS}))) \right] \times [(v_m \times x_{PP}) + 0,5] \right\} - P_{OK_O} \quad (5.8)$$

Výpočtový vzorec plochy obvodových stien pre reprezentanta so sedlovou strechou:

$$P_{OK_OS} = \left\{ \left[(2 \times s_{RD}) + (2 \times (d_{RD} - (2 \times h_{OS}))) \right] \times (v_m \times x_{PP}) \right\} + \left\{ 2 \times \left[\frac{s_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right)}{2} \right] \right\} - P_{OK_O} \quad (5.9)$$

Výpočtový vzorec plochy obvodových stien pre reprezentanta s valbovou strechou:

$$P_{OK_OS} = \left\{ \left[(2 \times s_{RD}) + (2 \times (d_{RD} - (2 \times h_{OS}))) \right] \times (v_m \times x_{PP}) \right\} - P_{OK_O} \quad (5.10)$$

▪ P_{OK_O} – plocha otvorov (okná a dvere) [m²]

$$P_{OK_O} = 0,1 \times A_{VP} \quad (5.11)$$

▪ P_{OK_S} – plocha strechy [m²]

Výpočtový vzorec plochy strechy pre reprezentanta s plochou strechou:

$$P_{OK_S} = s_{RD} \times d_{RD} \quad (5.12)$$

Výpočtový vzorec plochy strechy pre reprezentanta so sedlovou strechou:

$$P_{OK_S} = 2 \times \left\{ \left[\frac{\left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right)}{\sin \alpha} \right] \times d_{RD} \right\} \quad (5.13)$$

Výpočtový vzorec plochy strechy pre reprezentanta s valbovou strechou:

$$P_{OK_S} = 2 \times \left\{ \left[\frac{s_{RD} \times \left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right)}{2} \right] + \left[\frac{(d_{RD} + (d_{RD} - s_{RD})) \times \left(\frac{s_{RD} \times \tan \alpha}{2} \right)}{2} \right] \right\} \quad (5.14)$$

▪ P_{OK_P} – plocha podlahy na teréne [m²]

$$P_{OK_P} = s_{RD} \times d_{RD} \quad (5.15)$$

▪ P_{VK_NS} – plocha vnútorných nosných stien [m²]

$$P_{VK_NS} = (0,15 \times A_{PP}) \times v_M \quad (5.16)$$

- P_{VK_NP} – plocha nenosných priečok [m^2]

$$P_{VK_NP} = (0,20 \times A_{PP}) \times v_M \quad (5.17)$$

- P_{VK_SK} – plocha stropu [m^2]

$$P_{VK_SK} = (x_{PP} - 1) \times (s_{RD} \times d_{RD}) \quad (5.18)$$

5.5.5 Výpočet environmentálnych indikátorov

- $PENRT_X$ – viazaná primárna energia (z neobnoviteľných zdrojov) celej plochy konštrukcie reprezentanta [GJ]

$$PENRT_X = P_i \times PENRT_i \quad (5.19)$$

- GWP_X – potenciál globálneho otepľovania celej plochy konštrukcie reprezentanta [t CO₂ ekv.]

$$GWP_X = P_i \times GWP_i \quad (5.20)$$

- AP_X – potenciál okysľovania celej plochy konštrukcie reprezentanta [kg SO₂ ekv.]

$$AP_X = P_i \times AP_i \quad (5.21)$$

- $PENRT$ – viazaná primárna energia (z neobnoviteľných zdrojov) reprezentanta [GJ]

$$PENRT = \sum PENRT_X \quad (5.22)$$

- GWP – potenciál globálneho otepľovania reprezentanta [t CO₂ ekv.]

$$GWP = \sum GWP_X \quad (5.23)$$

- AP – potenciál okysľovania reprezentanta [kg SO₂ ekv.]

$$AP = \sum AP_X \quad (5.24)$$

- $PENRT_{UP}$ – viazaná primárna energia (z neobnoviteľných zdrojov) reprezentanta na 1m² jeho úžitkovej plochy [GJ]

$$PENRT_{UP} = \frac{PENRT}{A_{UP}} \quad (5.25)$$

- GWP_{UP} – potenciál globálneho otepľovania reprezentanta na 1m² jeho úžitkovej plochy [t CO₂ ekv.]

$$GWP_{UP} = \frac{GWP}{A_{UP}} \quad (5.26)$$

- AP – potenciál okysľovania reprezentanta na 1m² jeho úžitkovej plochy [kg SO₂ ekv.]

$$AP_{UP} = \frac{AP}{A_{UP}} \quad (5.27)$$

6 Výsledky práce

Výsledky boli v zmysle hlavného cieľa vzájomne porovnávané a hodnotené vzhľadom na vzťah referenčných objemovo-priestorových parametrov reprezentantov, najmä úžitkovej plochy A_{UP} a materiálovej varianty X_{MV} , čiastočne aj faktoru tvaru FT, a hodnoty environmentálnych indikátorov EI, konkrétne primárnej zabudovanej energie získanej z neobnoviteľných zdrojov (zabudovanej energie) PENRT, potenciálu globálneho otepľovania (zabudovaných emisií) GWP a potenciálu okysľovania AP. Bolo možné pozorovať vplyv geometrie reprezentantov (šírka, dĺžka, podlažnosť, tvar zastrešenia) a vplyv materiálovej skladby na hodnoty environmentálnych indikátorov.

Možno konštatovať, že najlepšie hodnoty dosahujú dvojpodlažní reprezentanti, či už z geometrického hľadiska, ale aj v rámci jednotlivých materiálových variantov. Naopak, najnepriaznivejšie hodnoty dosahujú, rovnako vo všetkých prípadoch, jednopodlažné domy. V prípade $PENRT_{UP}$ a AP_{UP} dosiahli najlepšie hodnoty reprezentanti s najväčšou zastavanou plochou a naopak. Rozdiel nastal iba v prípade hodnoty GWP_{UP} , teda zabudovaných emisií, u reprezentantov s alternatívnymi materiálovými variantmi, kde má najpriaznivejšiu hodnotu rodinný dom s najmenšou zastavanou plochou. Treba dodať, že tomuto javu výrazne napomáha aj počet podlaží.

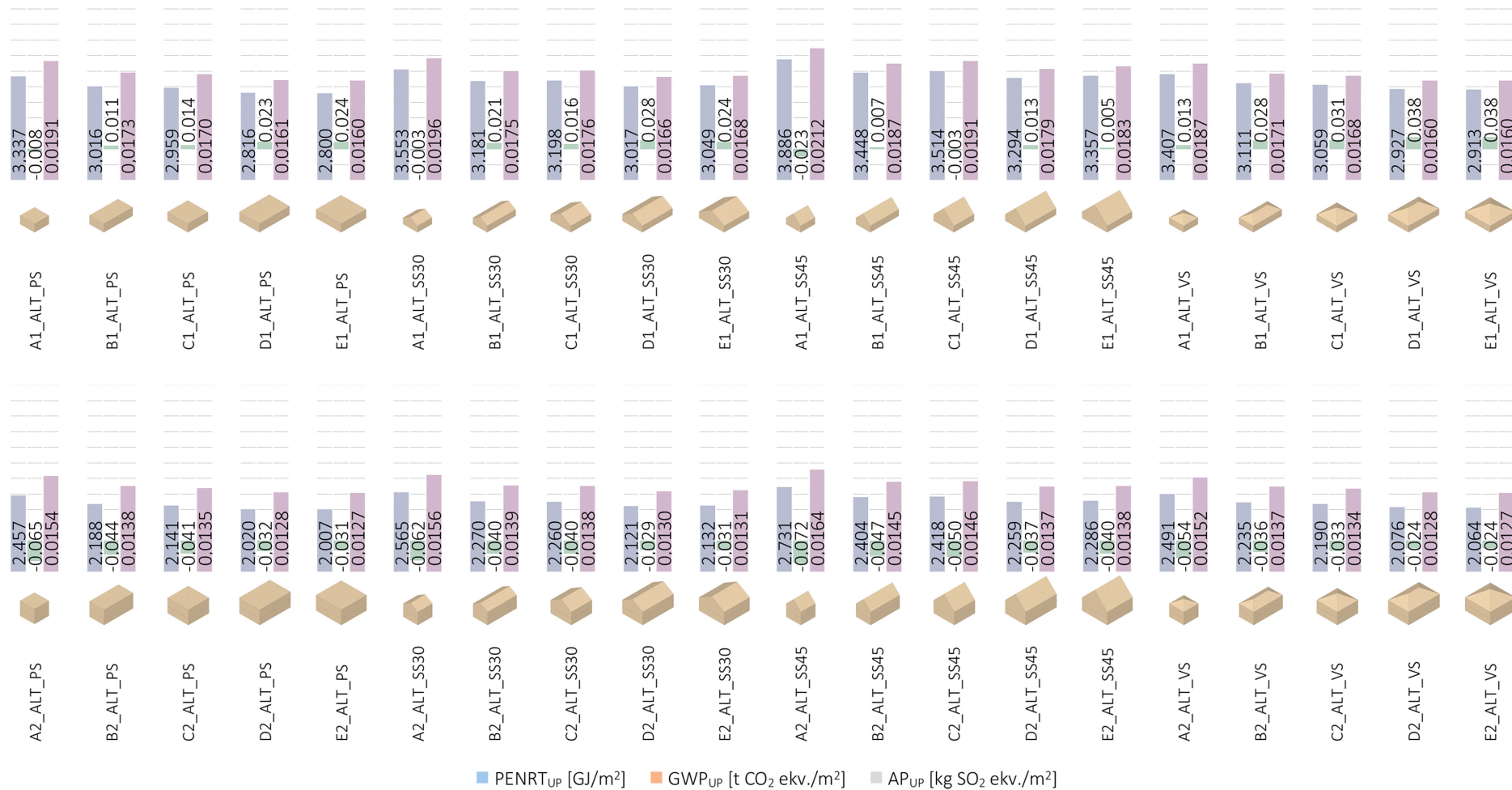
Z hľadiska primárnej zabudovanej energie z neobnoviteľných zdrojov a okysľovania pôdy je teda najefektívnejšie navrhovať dvojpodlažné rodinné domy s veľkou zastavanosťou. Z pohľadu zabudovaných emisií platí to isté pre konvenčný materiálový variant. Pri alternatívnych materiáloch je výsledok otázný, avšak rozdiel medzi hodnotami najlepšieho a najhoršieho reprezentanta nie je tak výrazný, preto keď sa pozrieme na všetky tri environmentálne indikátory, javí sa aj v tomto prípade ako najvýhodnejšie uvažovať s dvojpodlažným rodinným domom s preferenciou väčšej zastavanej plochy.

Pri pozorovaní výsledných hodnôt $PENRT_{UP}$ je hodnota najnepriaznivejšieho reprezentanta až 3x vyššia. Pri GWP_{UP} je tento rozdiel takmer presne 500 kg CO₂ ekv. na 1 m² ÚP. Táto hodnota predstavuje 1/6 emisnej stopy priemerného Slováka za celý rok. Hodnota AP je viac ako dvojnásobná.

STU



Obr. 1: EI_{UP_kon} [%] – Environmentálne indikátory na $1m^2$ užitočnej plochy A_{UP} všetkých reprezentantov s konvenčnými materiálmi / autor



Obr. 2: EI_{UP_alt} [%] – Environmentálne indikátory na 1m² užítrovej plochy A_{UP} všetkých reprezentantov s alternatívnymi materiálmi | autor

▪ Vplyv veľkosti pôdorysu reprezentantov s rôznou A_{ZP}

Pri reprezentantoch s rôznou zastavanou a úžitkovou plochou, avšak s rovnakou pôdorysnou proporciou môžeme pozorovať najvýraznejšie zlepšenie hodnôt EI_{UP} pri konvenčných materiáloch pri najväčšom z reprezentantov, ktorý ma trojnásobne väčšiu A_{ZP} . Priaznivejšie hodnoty dosahuje aj pôdorysne najväčší reprezentant s alternatívnymi materiálmi. Treba spomenúť, že porovnávané domy majú výrazne rozdielnu zastavanú aj úžitkovú plochu.

▪ Vplyv proporcie pôdorysu reprezentantov s rovnakou A_{ZP}

Zlepšenie hodnôt pri zmene proporcie pôdorysu reprezentantov s rovnakou A_{ZP} je relatívne malé. Najvýraznejšie je pri konvenčných materiáloch pri domoch s menšou zastavanou plochou.

▪ Vplyv podlažnosti reprezentantov s rovnakou A_{ZP} a rôznou A_{UP}

Pri rovnakej zastavanosti a pridaní jedného podlažia môžeme pozorovať efektívnejšie hodnoty v prospech dvojpodlažných domov. Najvýraznejšie zlepšenia sú pri reprezentantovi s konvenčnými materiálmi s najmenšou výmerou. Je potrebné poznamenať, že pridaním podlažia sa zásadným spôsobom mení úžitková plocha domu.

▪ Vplyv podlažnosti reprezentantov s rôznou A_{ZP}

Zmena podlažnosti pri rovnakej resp. podobnej úžitkovej ploche, vzhľadom na rôzne priestorové nároky skladieb obvodovej steny a vnútorných konštrukcií, má relatívne zásadný vplyv na hodnoty EI vzhľadom na to, že sa úžitková plocha takmer nemení. Môžeme pozorovať výrazne lepšie hodnoty v prospech dvojpodlažných reprezentantov, významným je najmä zmena GWP_{UP} u domov s alternatívnymi materiálmi.

▪ Vplyv zastrešenia reprezentantov

Tvar zastrešenia má výrazný vplyv na hodnoty EI , pričom najvýraznejšia zmena nastáva pri konvenčných materiáloch. Pri tomto variante sa javí ako najvýhodnejšia valbová strecha z hľadiska hodnôt zabudovaných energií a emisií. Vo vzťahu k hodnote okysľovania je najvhodnejšia plochá strecha. Pri alternatívnych materiáloch je to zas naopak. Celkový rozdiel hodnôt zabudovaných emisií v prípade alternatívnych materiálov však nie je tak výrazný. V oboch prípadoch je najvýhodnejší faktor tvaru pri 45° sedlovej streche.

▪ Vplyv materiálového variantu

Z pozorovania všetkých hodnôt možno konštatovať, že najzásadnejší vplyv na veľkosť hodnôt environmentálnych indikátorov má voľba materiálového variantu reprezentanta. Pri menších rodinných domoch dokážeme ušetriť takmer polovicu zabudovanej energie z neobnoviteľných zdrojov a zabudované emisie dosahujú vo väčšine prípadov záporné hodnoty. Priaznivejšia je rovnako úžitková plocha domu.

▪ Korelácia výsledných hodnôt FT a EI

Vzťah prevádzkových a zabudovaných vplyvov možno čiastočne pozorovať vývojom hodnôt faktoru tvaru FT a environmentálnych indikátorov EI reprezentantov. Výsledné hodnoty boli zoradené do grafov najprv podľa hodnôt EI a následne podľa hodnôt FT. Najmenšia a najväčšia z hodnôt bola zvýraznená v grafoch na nasledujúcich stranách. Môžeme konštatovať, že najpriaznivejšia hodnota FT sa, najmä pri alternatívnej materiálovej variante, väčšinou približuje najpriaznivejšej hodnote EI. Pri najnepriaznivejšej hodnote FT v súvislosti s konvenčnými materiálmi pozorujeme rovnaký stret hodnôt.

- Podiel konštrukcií na hodnotách EI

Najzásadnejší vplyv na hodnotách environmentálnych indikátorov majú obalové konštrukcie budov, či už u konvenčnom alebo alternatívnom materiálovom variante. Preukázateľne najvýraznejší vplyv má zakladanie stavby. U dvojpodlažných reprezentantov nasledujú väčšinou obvodové steny alebo strecha, pri jednopodlažných je to prevažne strecha. Ďalšie, najmä vnútorné konštrukcie, s výnimkou stropu pri dvojpodlažných reprezentantoch, preukazujú relatívne malý percentuálny podiel, približne od -7 – 8% na hodnotách environmentálnych indikátorov.

7 Záver

7.1 Vyhodnotenie cieľov práce a naplnenia hypotézy

Na základe výsledných hodnôt možno považovať hypotézu práce za potvrdenú. Vplyv zmeny geometrie a tvarovania je znateľný, pričom nárast alebo úbytok hmoty domu nie je v priamej úmere s hodnotou EI. Tento jav je spôsobený rozdielnou mierou vplyvu jednotlivých konštrukcií a ich rozličného percentuálneho podielu v skladbe reprezentanta na základe jeho vstupných geometrických a priestorových parametrov. Zásadnejší vplyv na hodnoty EI má zmena materiálovej varianty. V prípade, že je úbytok či zväčšenie hmoty domu v rámci návrhu nežiadúce, možno zabudované vplyvy kompenzovať voľbami materiálov s priaznivými hodnotami EI.

- Hlavný cieľ práce: Výpočet a vyhodnotenie vplyvu zjednodušených geometrických reprezentantov a materiálových variantov na hodnoty environmentálnych indikátorov v produktovej fáze A1–A3; **splnené**

Boli vypočítané a vyhodnotené environmentálne indikátory všetkých reprezentantov, vrátane referenčných plošných a priestorových parametrov. Výsledky predstavujú identifikáciu miery vplyvu geometrie a materiálovej skladby rodinných domov na životné prostredie.

Sledované hodnoty súvisia s úvahami a rozhodovacím procesom v úvodných fázach architektonicko-konštrukčného navrhovania. Pri zodpovednom navrhovaní sa architekt alebo projektant usiluje zvoliť optimálny koncept. Vzhľadom na to, že do návrhu vstupuje množstvo premenných a dopady rozhodnutí sú často protichodné, cieľom práce bolo preukázať mieru súvisu medzi tokom energií a emisiami, formou porovnania faktoru tvaru a environmentálnych indikátorov. Keďže rozmery, proporcie, tvar a materialita rodinného domu sú často integrálnou súčasťou konceptu, je nevyhnutné, aby jedným z rozhodovacích faktorov pre ich voľbu, bolo aj environmentálne kritérium.

V rámci hlavného cieľa práce bola kvantifikovaná miera vplyvu premenných vstupných údajov geometrie reprezentanta (rozmery, tvar zastrešenia, uhol zastrešenia, podlažnosť, proporcia) a materiálových variantov (konvenčné alebo alternatívne materiály) na hodnoty environmentálnych indikátorov.

▪ Čiastkové ciele práce:

Príspevok k hľadaniu limitnej hodnoty environmentálnych indikátorov rodinných domov; **splnené**

Pomocou výsledných hodnôt sme identifikovali najpriaznivejších a najmenej priaznivých reprezentantov rodinných domov z pohľadu spotreby energií, emisnej záťaže a okysľovania prostredia. Výpočet vytvoril podklad pre ďalšie úvahy nad stanovením limitov EI najmä pre rodinné domy, ale aj stavebný sektor. Najefektívnejšie hodnoty dosahovali dvojpodlažní reprezentanti, prevažne s najväčšou zastavanou plochou, s výnimkou zabudovaných emisií GWP, kde dosahoval najpriaznivejší výsledok rovnako dvojpodlažný reprezentant, avšak s najmenšou zastavanosťou.

Definovanie percentuálneho podielu jednotlivých konštrukcií na hodnoty environmentálnych indikátorov a následná identifikácia najkritickejších z nich; **splnené**

Pri výpočte hodnôt EI sme definovali aj podiel jednotlivých konštrukcií rodinného domu. Výsledky vychádzajú z pozorovania výsledných hodnôt a stanovenia percentuálneho zastúpenia pri každom z reprezentantov. Najzásadnejší vplyv majú obalové konštrukcie budov v oboch materiálových variantoch. Preukázateľne najvýraznejší vplyv má zakladanie stavby, následne obvodové steny a strecha.

Vytvorenie zjednodušenej kalkulačky hodnôt objemových a priestorových parametrov, vrátane hodnôt environmentálnych indikátorov; **splnené**

Vytvorenie drobného katalógu skladieb a ich environmentálnych profilov; **splnené**

7.2 Prínosy práce

▪ Prax

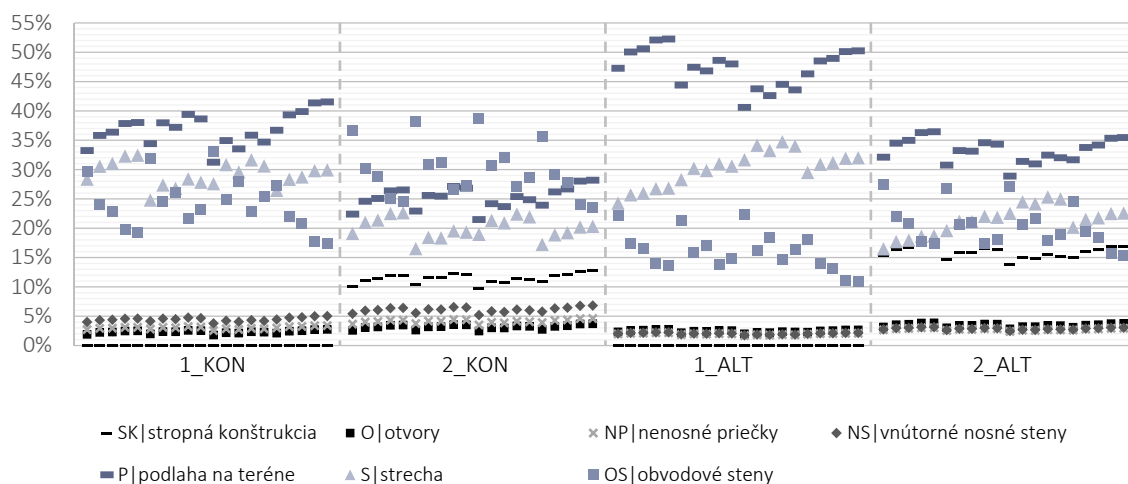
Za odborný prínos v procese projektovania možno považovať presah uchopenia témy do roviny navrhovania, s cieľom zapojenie hodnotenia dopadu budov na životné prostredie vo fáze formovania konceptu rodinného domu. Výpočtom a zhodnotením výsledkov sa podarilo identifikovať, akými spôsobmi tvarovania hmoty domu a výberom vhodných materiálov je možné znižovať hodnoty EI.

▪ Veda

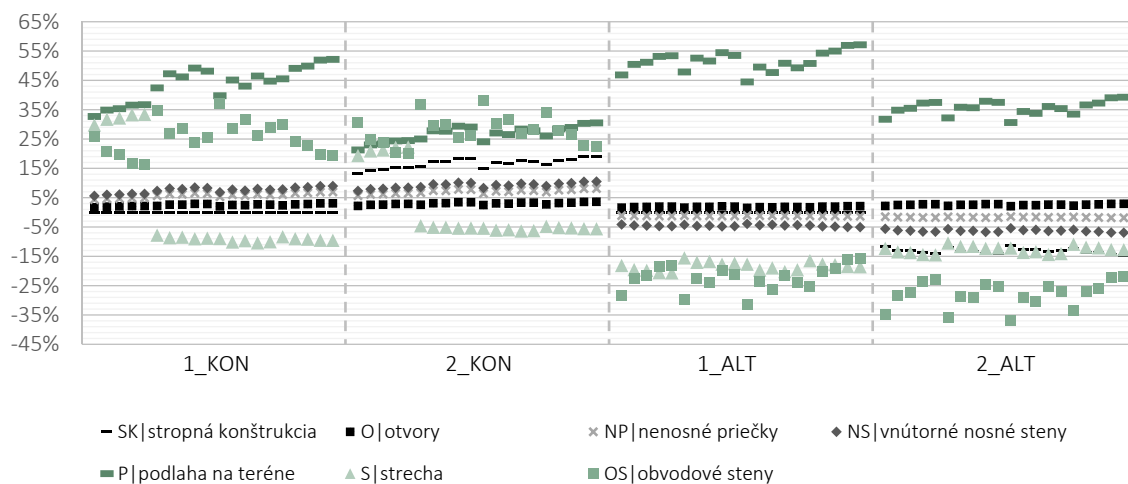
Za vedecký prínos práce možno považovať vytvorenie metodiky výpočtu EI rodinných domov v zjednodušenej forme, teda determinovanie a simplifikáciu ich reprezentantov. Následné vyhodnotenie a systematické porovnávanie výsledných hodnôt interpretuje kritických reprezentantov a vytvára podklad pre stanovenie limitných hodnôt EI. Zároveň otvára otázku vzťahu FT a EI, teda prevádzkových a zabudovaných vplyvov budov. Vďaka výsledným hodnotám bolo možné pozorovať aj percentuálny podiel jednotlivých konštrukcií na hodnotách EI reprezentanta. Porovnaním materiálových variantov bolo zároveň preukázané, že historicky využívané lokálne materiály (v práci nazývané ako alternatívne) majú potenciál aplikácie v súčasnej architektúre z pohľadu snahy o zmierňovanie prehlbovania problematiky klimatickej zmeny, dosahovania cieľov uhlíkovej neutrality budov a celkového zmierňovania negatívneho dopadu budov na životné prostredie.

▪ Pedagogika

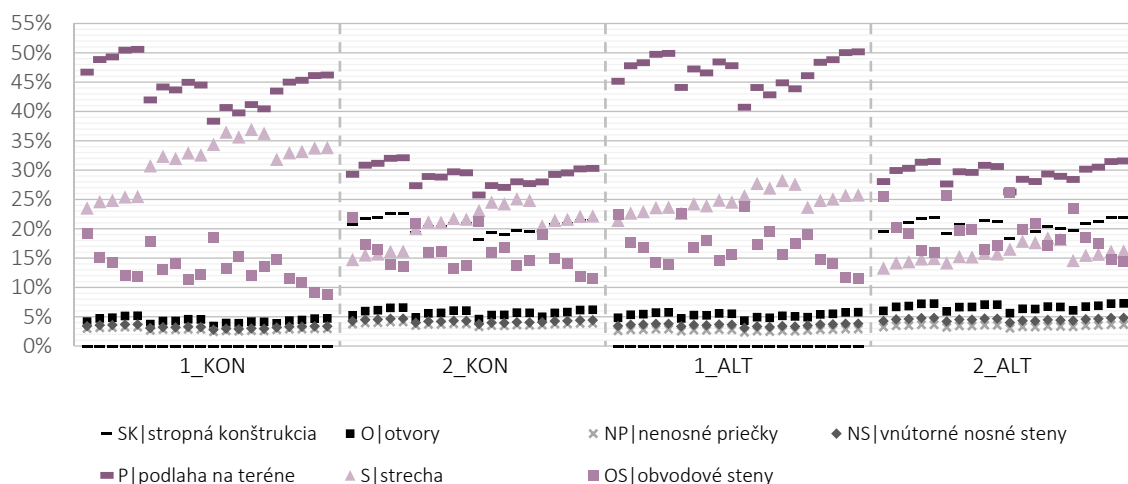
Za účelom potenciálneho využitia pre pedagogiku, ale aj prax, bola vytvorená kalkulačka s možnosťou zadania rozmerov domu, voľby jeho geometrie, zvolenia skladieb konštrukcií a následného automatického výpočtu hodnôt environmentálnych indikátorov, referenčných priestorových parametrov a plôch konštrukcií reprezentanta.



Graf 1: $PENRT_x$ [%] – Percentuálny podiel primárnej zabudovanej energie z neobnoviteľných zdrojov pre jednotlivé konštrukcie | autor



Graf 2: GWP_x [%] – Percentuálny podiel hodnôt zabudovaných emisií pre jednotlivé konštrukcie | autor



Graf 3: AP_x [%] – Percentuálny podiel hodnôt potenciálu okysľovania pre jednotlivé konštrukcie | autor

7.3 Odporúčania pre ďalší výskum

▪ Oblasť architektúry

V práci boli sledovaní iba vybraní reprezentanti rodinných domov, pričom ich množstvo môže byť násobne vyššie. Takisto by bolo možné definovať väčšie množstvo materiálových variantov. V tomto smere je možné ďalej prehĺbovať poznanie a sledovať dopad geometrie objektu a použitých materiálov na hodnoty EI. Výskumné aktivity v oblasti architektúry by mohli hlbšie prehĺbovať pozorovanie vzťahu stavebnej kultúry a environmentálneho dopadu budov pre udržateľné zachovanie stavebnej kontinuity na našom území.

▪ Oblasť urbanizmu

Urbanistické riešenie je potrebné navrhovať a hodnotiť vzhľadom na množstvo iných požiadaviek, pričom emisie sú iba jednou zo zložiek determinantov jeho kvality. Zjavne výhodnejšie sú objekty s menšou zastavanou plochou, ktoré zaberajú menej plochy v rámci parcely. Zároveň sa javí ako vhodnejšie uvažovať s menším z rozmerov domu orientovanému smerom k uličnému profilu, vďaka čomu sú dopravné vzdialenosti kratšie. K ďalším výskumom vzťahu urbanizmu a emisií je potrebné pristupovať interdisciplinárne a zapájať odborníkov v oblasti simulácií energetickej náročnosti (Allan *et al.*, 2022), ale aj architektúry, urbanizmu, dopravy a ďalších.

▪ Oblasť inžinierskych odvetví

Z pohľadu výberu najvhodnejších materiálov je treba dbať aj na teplotné, vlhkostné, akustické, prípadne ďalšie fyzikálno-technické kvality. V súčasnosti trávi väčšina ľudí prevažnú väčšinu času v interiéri, ktorého prostredie vymedzujú, obklopujú a najmä ovplyvňujú stavebné materiály. Podnetný v tomto smere by bol výskum zapodievať sa súvislosťami environmentálnych indikátorov materiálov a kvalitatívnymi aspektmi vnútorného prostredia, ktoré možno kvantifikovať. Spojenie pocitu z materiálov síce nie je kvantifikovateľná veličina, je však dôležité dbať na to, ako na nás tieto materiály pôsobia zdravotne a psychologicky – v publikáciách na danú tému je tento fenomén označovaný ako „well-being“. Rovnako by bolo vhodné prehĺbiť poznanie o vzťahu zabudovaných a prevádzkových vplyvov v rámci životného cyklu budov.

Vybrané zdroje a literatúra

Allan, J. *et al.* (2022) ‘Operational and embodied emissions associated with urban neighbourhood densification strategies’, *Energy and Buildings*, 276(March 2023), p. 9. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112482>.

Nwodo, M.N. and Anumba, C.J. (2019) ‘A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach’, *Building and Environment*, 162. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.106290>.

ÖKOBAUDAT (2023) *Standardized database for ecological evaluations of buildings*. Available at: <https://www.oekobaudat.de/> (Accessed: 10 February 2024).

Röck, M., Balouktsi, M. and Ruschi Mendes Saade, M. (2023) ‘Embodied carbon emissions of buildings and how to tame them’, *One Earth*, 6(11), p. 9. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.10.018>.

Sphera Solutions GmbH (2023) *LCA Databases, LCA GaBi Databases*. Available at: <https://lcadatabase.sphera.com/> (Accessed: 23 October 2023).

Tozan, B. *et al.* (2023) ‘Mitigating carbon emissions of single-family houses: Assessing the need for a limit value’, *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(15). Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/15/152019>.

Tvorivá činnosť autora

▪ Publikačná činnosť

Kn | FAI | X1 – PROVAZNÍK, Robert. ONLINE2020 – 1. vyd. – Bratislava (Slovensko) : Slovenská technická univerzita v Bratislave. Spektrum STU , 2021. – 146 s. – ISBN 978-80-227-5156-8

Kp | AFD | V2 – PROVAZNÍK, Robert. Potenciál využitia prírodných materiálov v súčasnej architektúre v kontexte klimatickej zmeny. In: *Advances in architectural, civil and environmental engineering 31 – 1. vyd.* – Bratislava (Slovensko) : Spektrum STU, 2021. – ISBN 978-80-227-5150-6, s. 388-394

Kz | O1 – PROVAZNÍK, Robert. id 2022 – 1. vyd. – Bratislava (Slovensko) : Slovenská technická univerzita v Bratislave. Spektrum STU, 2022. – 203 s. – ISBN 978-80-227-5268-8

Kn | FAI | V1 – PROVAZNÍK, Robert. id 2021 – 1. vyd. – Bratislava (Slovensko) : Pre-um, 2021. – 115 s. – ISBN 978-80-89954-05-6

Kp | U2 – PROVAZNÍK, Robert, HANZL, Jakub, KAŠIAROVÁ, Anežka, GOČA, Martin. Museum of emotions. In: *Architectural Emotions: Designing Experiences That Provoke Feelings – 1. vyd.* – Virtuálny priestor. Buildner Publishing, 2024. – ISBN 978-9934-8964-5-3, s. 96-97

Kp | V2 – PROVAZNÍK, Robert. Analýza pojmov a procesov týkajúcich sa uhlíkovo neutrálnych budov. In: *Advances in architectural, civil and environmental engineering 32 – 1. vyd.* – Bratislava (Slovensko) : Spektrum STU , 2022. – ISBN 978-80-227-5251-0, s. 373-378

Kp | V2 – PROVAZNÍK, Robert | Vplyv materiálov a veľkosti stavby na množstvo zabudovaných emisií. In: *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering 33 – 1. vyd.* – Bratislava (Slovensko) : Spektrum STU , 2023. – ISBN 978-80-227-5378-4, s. 282-290

▪ Umelecká činnosť

XYV – SALNEROVÁ, Soňa, KUŠNÍROVÁ, Lucia, PROVAZNÍK, Robert, GUNIŠOVÁ, Barbora. Bytový súbor Parková - súťažný návrh. – Hlavné mesto SR Bratislava (Slovensko) : Archinfo. – [2020]

XVV – SALNEROVÁ, Soňa, KUŠNÍROVÁ, Lucia, CSERNÁKOVÁ, Margaréta, DETKO, Michal, NEDOBOVÁ, Miroslava, PROVAZNÍK, Robert. Byt Koliba - malý, Bratislava – súkromný klient. – [2020]

XVV – SALNEROVÁ, Soňa, KUŠNÍROVÁ, Lucia, CSERNÁKOVÁ, Margaréta, DETKO, Michal, NEDOBOVÁ, Miroslava, PROVAZNÍK, Robert. Byt Koliba - veľký, Bratislava – súkromný klient. – [2020]

ZVV – ARNOULD, Matthias Marcel Jean, PROVAZNÍK, Robert, VATRALOVÁ, Michaela. Turistická útulňa Jozefa Maka - víťazný súťažný návrh / 1.-3. miesto – (Slovensko) : Archinfo. – [2021]

XVV – SALNEROVÁ, Soňa, KUŠNÍROVÁ, Lucia, GUNIŠOVÁ, Barbora, HAVIAR, Dominik, GALUŠKOVÁ, Lucia, NEDOBOVÁ, Miroslava, PROVAZNÍK, Robert. Idea pre Magnu - súťažný návrh č. 40 – (Slovensko) : Archinfo. – [2021]

UD | VI | SR3 – PROVAZNÍK, Robert, ARNOULD, Matthias Marcel Jean. Sauna v stodole. – (Slovensko) : Archinfo. – [2023]

UD | VI | EM3 | 3 – PROVAZNÍK, Robert, ARNOULD, Matthias Marcel Jean, VATRALOVÁ, Michaela. Útulňa Jozefa Maka. – Bratislava (Slovensko) : CONECO RACIOENERGIA 2023, 22.03.2023-25.03.2023. – [2023]

UD | VI | EM2 | 3 – PROVAZNÍK, Robert, HANZL, Jakub, KAŠIAROVÁ, Anežka, GOČA, Martin. Múzeum emócií "Shift". – Virtuálny priestor : Museum of Emotions, 2023. – [2023]

UD | VI | SN2 – PROVAZNÍK, Robert. Gánkový dom – súťažný návrh. – Bratislava (Slovensko) : Slovenská agentúra životného prostredia. – [2023]

UD | VI | EM3 | 3 – PROVAZNÍK, Robert, ARNOULD, Matthias Marcel Jean. Záhradný domček, Lubina. – Obec Lubina (Slovensko). – [2022]

UV | KU | EM3 | 2 – PROVAZNÍK, Robert, ŠČIGULINSKÝ, Martin. Umelecká činnosť pedagógov na KARCH 2022. – Bratislava (Slovensko) : CONECO RACIOENERGIA 2023, 22.03.2023-25.03.2023. – [2023]

UD | VI | EM2 | 3 – PROVAZNÍK, Robert, ŠČIGULINSKÝ, Martin, RUHIG, Roman, BRÁNICKÝ, Filip. Výstavný stánok Coneco. – Bratislava (Slovensko) : CONECO RACIOENERGIA 2023, 22.03.2023-25.03.2023. – [2023].

UV | KU | SR2 – PROVAZNÍK, Robert. Application of prefabrication in contemporary architecture of apartment houses. – Bratislava (Slovensko), 13.06.2022-25.06.2022.

UV | KU | SR2 – PROVAZNÍK, Robert, DÚBRAVKA, Peter, NÁDASKÁ, Zuzana. Application of prefabrication in the contemporary architecture of municipal buildings. – Pribinova 36, 821 09 Bratislava (Slovensko) : Eurovea.