

Oponentský posudok dizertačnej práce

Názov práce: **Specifika návrhu budov z recyklovaných stavebných hmot**

Doktorand: **Ing. arch. Petr Dobrovolný**

Vedúca práce: **doc. Ing. Ivana Žabičková, CSc.**

Pracovisko: **Fakulta architektury VUT v Brně, Ústav stavitelství**

Oponent: **doc. Ing. arch. Henrich Pifko, PhD.**

Dizertačná práca Ing. arch. Petra Dobrovolného s názvom „Specifika návrhu budov z recyklovaných stavebných hmot“ ma zaujala aktuálnou témou i metodikou spracovania. Rozsah vyše dvesto strán na prvý pohľad trochu vyľaká, zodpovedá však obvyklým štandardom – tretinu z neho totiž tvoria rôzne prílohy. Samotný text práce má 129 strán, 96 obrázkov, 5 diagramov, 6 tabuliek, 3 vzorce a 54 položiek odkazov na pramene). Práca je členená štandardným spôsobom, voči jazykovej úrovni nemám (s výnimkou pár rušivých preklepov) výhrady, prílohy dokumentujú riešenie skutočne detailne.

Aktuálnosť témy

Životný cyklus budov si mnohí architekti všímajú už dlhšie, jeho poslednej fáze však zriedka venujú pozornosť, recykláciu či nakladanie s odpadom považujú za mimoarchitektonický problém. Jedným z prínosov tejto práce je, že naň upozorňuje a dáva ho do kontextu práce projektanta. Správne je zdôraznenie potreby prechodu od lineárneho hospodárstva k obehovému, čo dokumentujú aj odkazy na legislatívu.

Metódy a ciele práce

Názov práce i riešiteľské pracovisko evokujú chápanie cieľa práce v rovine architektonickej, toto je však formulované až ako tretí cieľ práce, do popredia je posunuté skúmanie možností použitia recyklovaných stavebných materiálov skôr z konštrukčného a ekonomického hľadiska – to odrážajú aj pomerne obecné formulované hypotézy.

Metódy práce sú popísané len stručne. Research by design je v architektúre vhodnou výskumnou metódou, zaslúžil by si tu však precíznejšiu charakteristiku, aby bolo jasné, ako prispeje k získaniu nových poznatkov a naplneniu cieľov práce. Zdá sa mi, že to rieši viac analýza modelového objektu (s nadväznou syntézou získaných poznatkov) než jeho samotný návrh.

Obsah práce a poznámky k nemu

Stručný úvod práce popisuje problém nakladania s odpadmi. Ostatné hľadiská udržateľnosti, ktoré súvisia s témou práce, tu nie sú zmienené, no niektorým z nich sa autor venuje neskôr.

Prvá kapitola sa venuje aktuálnemu stavu riešenej problematiky. Stav vedeckého poznania je zhrnutý veľmi stručne (jedna strana textu) a skôr v rovine vymenovania pracovísk a autorov než vo forme prezentácie a kritického zhodnotenia ich poznatkov a názorov.

Analýza problému (druhá kapitola) je rozsiahlejšia. Pri materiálových tokoch v stavebníctve (2.1) sa dozvedáme množstvo štatistických dát o prvotných aj druhotných surovinách, ktorých význam pre riešenie cieľov práce mi unikol, no posúdeniu vplyvu týchto materiálových tokov na udržateľnosť, klímu či životné prostredie sa tu autor nevenuje. Práve z takéhoto posúdenia sa pritom dnes často odvodzuje, prečo voliť určité riešenia, a je veľmi užitočné aj pri exaktnom posudzovaní alternatív návrhu. Prehľad recyklovaných stavebných hmôt z demolícií objektov (2.2) je jasný a zhŕňa „hlavný prúd“ recyklácie v stavebníctve, bokom ostal skutočný upcycling („stavenie z odpadu“) či využitie nestavebných odpadov pri výstavbe (spomenuté je penové sklo, no už nie napr. celulózové izolácie). Analýza legislatívy (2.3) sa sústreďuje na predpisy o odpadoch, no možno by bolo zaujímavé pozrieť aj na aktuálne dokumenty týkajúce sa environmentálnej stránky – Európsku zelenú dohodu, Plán obnovy, návrh taxonomie... Ďalšia časť práce (2.4) hľadá súvis medzi návrhom budovy a produkciou /využitím odpadu. S využitím odpadov úzko súvisí posúdenie životného cyklu budov, LCA a LCC sú tu v jednej vete spomenuté, no autor sa tejto metodike viac nevenuje a samotný životný cyklus budovy chápe dosť zjednodušene (viď diagram 1 – mimochodom, všetky diagramy sú z hľadiska pridanej informačnej hodnoty veľmi skromné). Pozitívne hodnotím výber príkladov „dobrej praxe“, uvítal by som tu však precíznejšie odkazy na zdroje.

Princípy navrhovania budov z recyklovaných stavebných hmôt (2.5) som očakával skôr medzi výsledkami než medzi východiskami práce. Medzi environmentálnymi („ekologickými“) hľadiskami výberu stavebných materiálov postrádam dnes veľmi dôležité viazané emisie skleníkových plynov ($\text{CO}_{2\text{-ekv}}$), ale i viazané emisie $\text{SO}_{\text{x-ekv}}$ a viazanú primárnu energiu, ako aj zváženie skutočnosti, či je materiál z obnoviteľného zdroja. Pri hodnotení realizácií stavieb z recyklovaných stavebných hmôt (2.6) ma zarazilo, že ako prvý (a jediný český) príklad je uvedené zasypanie nevyužívaného sklepa betónovou a tehlovou dŕťou. Autor spochybňuje zaradenie budov s opätovným využitím celých prvkov medzi stavby s využitím recyklovaných materiálov (s čím by som polemizoval), vzápätí však takéto budovy uvádza medzi prezentovanými príkladmi.

Tretia kapitola predstavuje už spomenuté ciele, hypotézy a metódy práce. Má necelé dve strany.

Štvrtá časť je nazvaná „Výsledky dizertačnej práce“, začína návrhom modelovej stavby (4.1). Autor sa tu sústreďuje na využitie recyklátu z betónu a tehál v jednoduchom objekte. O jeho architektonickom koncepte by sa dalo diskutovať, nepovažujem to však za zmysluplné, stavbu chápem ako „materiálový demonštrátor“. Výber materiálov prednostne z „Katalógu...“ pôsobí logicky, no stavebné materiály neraz využívame aj zo zahraničia (niekedy aj pre priaznivejšie dopravné vzdialenosti) – bolo by žiaduce mať tu určené kritériá pre výber materiálu a navrhnuť aj ďalšie zdroje informácií, keďže „Katalóg...“ má nedostatočný rozsah a nízku kvalitu údajov. Kým v 2.4.3 sa zdôrazňuje potreba minimalizácie množstva materiálu v konštrukciách (ako budúceho odpadu), v modelovom objekte sa konštrukčne potrebné množstvo betónu v stenách (kvôli estetickému efektu?) takmer zdvojnásobuje (+75 %). Za veľmi zaujímavé by som tu považoval porovnanie alternatívnych riešení (napríklad pre „recyklátovú“ verziu stenu s celulózovou izoláciou za prevetrávaným obkladom) na základe nielen ekonomických, ale aj environmentálnych kritérií.

Precízne statické výpočty a popis testovania nosníkov sú nesporne zaujímavé, pri voľbe riešení pre interiér je otáznou zmysluplnosť esteticky problematických riešení kvôli optimálnej recyklovateľnosti – čo je vlastne účelom stavby?

Na popis návrhu modelového objektu (bez explicitného uvedenia nových poznatkov získaných metódou Research by Design, ak za ne nepovažujeme zovšeobecnenie výsledkov statických výpočtov či testovania nosníkov) nadväzuje analýza (4.2) – vlastne zopakovaný popis navrhnutého riešenia, doplnený o posúdenie jeho investičných nákladov pre „recyklovanú“ aj „konvenčnú“ alternatívu (žiaľ,

odhad nákladov celého životného cyklu, kde by sa mala prejavíť ekonomická výhodnosť recyklácie, tu absentuje). Treba si uvedomiť, že ide o posúdenie dvoch z veľkého množstva možných riešení a zovšeobecnenie týchto poznatkov je otáznave aj pre nie vždy optimálnu voľbu materiálového riešenia (zarazila ma napríklad tepelná izolácia strechy bez väčších zaťažení drahými doskami z penového skla).

Hlavným špecifikom navrhovania budov z recyklovaných materiálov (4.2.3) zjavne má byť, že jedinými takými materiálmi vhodnými pre nosné konštrukcie sú prefabrikáty a betón ERC-TECH, a z „Katalógu...“ je problém vybrať potrebné materiály a prvky pre ostatné konštrukcie. Táto podkapitola má názov zhodný s názvom dizertačnej práce, očakával som tu ťažiskové zistenia a zhrnutie nových poznatkov. Doktorandovi však stačilo poldruha strany na prostý popis svojho návrhu.

Syntéza (piata kapitola) tu predstavuje v prvom rade overovanie hypotéz. Tá prvá tvrdila, že použiteľnosť recyklovaných materiálov bude obmedzená kvôli ich horším vlastnostiam. Autor posúdil použitie betónu ERC-TECH (a pár ďalších materiálov) vo svojom návrhu a zistil, že uvedenú hypotézu nevie potvrdiť ani vyvrátiť. Druhá hypotéza (recyklované materiály sú ekonomicky výhodnou alternatívou) bola potvrdená, ale s výnimkami (a autor posudzoval iba investičné náklady – ja by som ekonomickú výhodnosť chápal širšie). Tretiu hypotézu (možnosti architekta sú obmedzené úzkym výberom materiálov a nedostatkom projekčných podkladov) autor potvrdzuje na základe svojej skúsenosti s malým rozsahom a skromným obsahom „Katalógu...“ – na druhej strane sám riešil získanie projekčných podkladov pre betón s recyklovaným kamenivom a oboznámil sa s kvalitnejšími rakúskymi katalógmi. V podmienkach spoločného európskeho trhu a výhľadu do budúcnosti nepovažujem za zmysluplné upínať sa len na to, čo je momentálne v ČR dostupné. Otázka je tiež, čo by mali byť „neobmedzené“ možnosti architekta, realita nás vždy obmedzuje (gravitáciou počínajúc a schopnosťami remeselníkov končiac) a aj katalógy konvenčných stavebných materiálov ponúkajú len obmedzený výber, hoci podstatne širší.

Zoznam vlastných prác súvisiacich s témou dokumentuje dostatočnú publikačnú činnosť, možno však nebol naplno využitý potenciál exaktných výstupov v aktuálnej téme na publikovanie vedeckých článkov v renomovaných časopisoch.

Záver (siedma kapitola) je zhrnutím obsahu práce, žiaľ, bez podrobnejšieho rozboru naplnenia cieľov dizertácie, ktorý som tu očakával. Namiesto neho tu vidíme, pre mňa dosť prekvapujúco, autorov návrh riešenia vonkajších plôch pri rodinnom dome v Ivančiciach – s využitím recyklovaných stavebných materiálov, no bez zjavného prínosu v podobe nových poznatkov či príspevku k naplneniu cieľov práce.

Naplnenie cieľov práce

Ako som vyššie spomenul, autor explicitne neposudzuje dosiahnutie deklarovaných cieľov práce. Môžeme to skúsiť my. Všeobecná charakteristika cieľov práce (3.1) je v dizertácii naplnená. Prvý konkrétny cieľ, preskúmanie možnosti použitia recyklovaných materiálov v stavebných konštrukciách a ich porovnanie s konvenčnými stavebnými materiálmi, je naplnený čiastočne. Skúmanie sa obmedzuje na betón s recyklovaným kamenivom, porovnanie s konvenčnými materiálmi je obmedzené na statické vlastnosti a investičnú náročnosť. Hoci práve v tom výpočtovom a experimentálnom posúdení statiky betónových konštrukcií s recyklátom vidím ťažiskový prínos a najväčší úžitok tejto práce, tento cieľ považujem len za čiastočne naplnený – odignorovanie ostatných materiálov z recyklovaných surovín, porovnania environmentálnych vlastností, analýzy životného cyklu aj komplexnejšieho posúdenie ekonomiky riešenia neumožňuje iný záver. Naplnenie druhého cieľa môžeme charakterizovať obdobne, posúdenie ekonomického potenciálu recyklovaných materiálov sa obmedzilo na materiály uprednostnené autorom v modelovom objekte a na ich

investičnú náročnosť pri výstavbe. Tretím cieľom bol popis špecifik navrhovania budov z recyklovaných materiálov. Naplnenie tohto cieľa nie je jasne dokumentované v podobe súhrnu zásad či odporúčaní, niektoré zo špecifik pre niektoré materiály nájdeme rozptýlené v texte. V podkapitole 4.2.3, kde sme súhrn týchto špecifik (aj z uhla pohľadu architekta) podľa jej názvu očakávali, viac nenájdeme.

Tým nechcem znižovať prínos práce. Doktorand overil použiteľnosť betónu s recyklovaným kamenivom najmä z hľadiska statiky a charakterizoval s tým súvisiace konštrukčné obmedzenia. Overil aj ekonomiku prístupu, ktorý zvolil pre svoj modelový objekt. Z jeho popisu vyplývajú viaceré špecifiká návrhu, napríklad potreba ľahkej oddeliteľnosti materiálov po dožití stavby. Jasne preukázané zdokumentovanie naplnenia cieľov tu však chýba.

Formálna úprava a jazyková úroveň

Voči štruktúre práce nemám výhrady (snáď až na obsah „Záveru“), kritická diskusia dosiahnutých výsledkov a zhrnutie naplnenia (či prípadne aj nenaplnenia) cieľov práce by však prispeli ku kvalite dizertačnej práce z obsahového aj formálneho hľadiska. Pokiaľ ide o jazykovú úroveň, práca sa príjemne a plynulo číta, no v texte miestami rušia nápadné preklepy (napr. na str.58 m2 miesto m², y miesto λ), pre λ sú opakovane (okrem iného vo všetkých tabuľkách!) uvádzané nesprávne jednotky W/m²K namiesto W/(m.K). Pokiaľ ide o metodické nuansy, pri betóne z recyklátu je do výpočtov U zrejme zahŕňaná nameraná (deklarovaná?) hodnota λ namiesto hodnoty návrhovej a pri posudzovaní stien sa zanedbávajú tepelné mosty z kotvenia konštrukcií – výsledok výpočtov je v dôsledku toho nespoľahlivý. V odkazoch na pramene na internete autor často neuvádza konkrétne stránky, iba adresu celého webu – dopracovať sa potom k citovanému textu či obrázku je rovnako náročné, ako keby tam žiadny odkaz nebol.

Otázky a odporúčania

Aké sú špecifiká návrhu budov z recyklovaných materiálov (vo forme stručného zoznamu)? Ako vyzerá porovnanie environmentálnych parametrov betónu z bežného kameniva a z recyklátu? Dá sa betón z recyklátu znovu recyklovať a ak áno, ako sa to prejaví na jeho vlastnostiach?

Pokiaľ ide o odporúčania, poznámky k samotnej práci sú už zbytočné, zaujímavejšie sú možnosti využitia získaných poznatkov. Autor opakovane vyjadruje nespokojnosť s „Katalógom...“, jeho upgrade z hľadiska rozsahu aj podrobnosti by bol nesporne veľkým prínosom. To nemyslím ako úlohu pre doktoranda, ale zachytenie výsledkov jeho práce v prehľadnej a všeobecne dostupnej forme by som považoval za prínosné. Doktorand by tiež mohol využiť znalosť obdobných zahraničných databáz, ktoré spomína, a poradiť autorom „Katalógu...“, ako ho skvalitniť. Aj to by prispelo k lepšej využiteľnosti recyklovaných stavebných materiálov v návrhovej praxi.

Záver

Predkladaná práca predstavuje ucelený blok poznatkov k aktuálnej a spoločensky dôležitej problematike, doktorand čiastočne naplnil deklarované ciele práce, overil nie celkom bežné výskumné metódy a dopracoval sa k novým poznatkom s prínosom pre stavebnú prax. Podľa môjho presvedčenia dizertačná práca spĺňa podmienky §47 ods.4 zákona o vysokých školách 111/1998. Prácu preto **odporúčam** k obhajobe.