ISSN 1339-3189 6/2025

Mladá veda

Young Science

Špeciálne vydanie

www.mladaveda.sk

K KPS

STU SvF

ŠTUDENTSKÁ DOKTORANDSKÁ KONFERENCIA

2025

KATEDRY KONŠTRUKCIÍ POZEMNÝCH STAVIEB SVF STU V BRATISLAVE
ÚSTAVU KONŠTRUKCIÍ V ARCHITEKTÚRE A INŽINIERSKYCH STAVIEB FAD STU V BRATISLAVE
ÚSTAVU STAVITELSTVÍ FA ČVUT V PRAHE

PROGRAM

09:00 - ÚVOD
09:10 - 10:45 - PREZENTÁCIA VÝSKUMNEJ ČINNOSTI DOKTORANDOV (BLOK 1)
10:45 - 11:00 - COFFE BREAK
11:00 - 12:30 - PREZENTÁCIA VÝSKUMNEJ ČINNOSTI DOKTORANDOV (BLOK 2)
12:45 - 13:30 - OBED (ALŽBETKA)
14:00 - 15:00 - KOMENTOVANÁ PREHLIADKA MODERNIZOVANEJ SNG (VAJANSKÉHO NÁBREŽIE)

*program je predbežný, jeho zmena je vyhradená

ODBORNÍ GARANTI

prof. Ing. Boris Bielek, PhD.
doc. Ing. arch. Eva Vojteková, PhD.
doc. Ing. Lenka Prokopová, PhD.
doc. Ing. Stanislav Darula, PhD.
doc. Ing. arch. Henrich Pifko, PhD.
doc. Ing. Rastislav Ingeli, PhD.
Ing. Peter Hanuliak, PhD.
doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D.
doc. M.A. Jan Stolín

VÝSTUP

ŠPECIÁLNE VYDANIE MLADEJ VEDY - PREZENTUJÚCI ÚČASTNÍCI ODOVZDAJÚ ODBORNÉ ČLÁNKY NA RECENZIU V TERMÍNE DO 31.5.2025

24 Apríl, 2025

SEMINÁRNA MIESTNOSŤ KKPS
NA STAVEBNEJ FAKULTE STU V BRATISLAVE

Mladá veda
Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 6, ročník 13., vydané v decembri 2025
ISSN 1339-3189, EV 167/23/EPP
Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk
Fotografia na obálke: Slovenská národná galéria. © Peter Hanuliak

REDAKČNÁ RADA

prof. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)
prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)
Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)
PhDr. Veronika Kmetóny Gazdová, PhD. (Inštitút edukológie a sociálnej práce, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)
Mgr. Monika Šavelová, PhD. (Katedra translatológie, Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra)
prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)
prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)
doc. Mgr. Michal Garaj, PhD. (Katedra politických vied, Univerzita sv. Cyrila a Metoda, Trnava)

REDAKCIA

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)
Mgr. Martin Hajduk, PhD. (Banícke múzeum, Rožňava)
PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)
RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)
PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)
Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.
www.universum-eu.sk
Javorinská 26, 080 01 Prešov
Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 13 (6), pp. 46-58

VPLYV VONKAJŠÍCH PODMIENOK NA ZMENU FAREBNOSTI FASÁD Z KONOPNÉHO BETÓNU

EXTERNAL FACTORS INFLUENCING THE COLOR CHANGE OF HEMPCRETE FACADES

Gabriela Rolenčíková, Eva Vojteková[1]

Gabriela Rolenčíková pôsobí ako externý doktorand na Fakulte architektúry a dizajnu Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Vo svojom výskume (resp. dizertačnej práci) sa venuje téme Súčasné fasády so zameraním na výskum materiálu, konkrétne tzv. konopného betónu. Eva Vojteková pôsobí ako vedúca Ústavu konštrukcií v architektúre a inžinierskych stavieb na Fakulte architektúry a dizajnu Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Vo svojom výskume sa venuje najmä problematike konštrukcií a fasád v architektúre.

Gabriela Rolencikova is an external PhD student at the Faculty of Architecture and Design of the Slovak University of Technology in Bratislava. Her research is focused on the topic of Contemporary Facades, with an emphasis on material research, specifically so-called hempcrete. Eva Vojteková is the head of the Institute of Structures in Architecture and Civil Engineering at the Faculty of Architecture and Design of the Slovak University of Technology in Bratislava. Her research is mainly focused on issues related to structures and facades in architecture.

Abstract

In the context of the European Union's efforts to achieve carbon neutrality, this dissertation explores the potential of hempcrete as a building material in contemporary architecture. As a natural material with a negative carbon footprint, hempcrete offers significant promise for sustainable construction. The research examines its properties, limitations, and the ways in which its use can be expanded and optimized in architectural practice. Thanks to its distinctive visual expression and ecological qualities, hempcrete has the potential to become a material of choice for the next generation of architects. The main objective of the dissertation is to systematize knowledge on the use of hempcrete and to contribute to the advancement of current understanding of this material from an architectural perspective through experimental research focused on the visual processes of material aging.

Key words: hempcrete, sustainable construction, natural building materials

[1] Adresa pracoviska: Ing. arch. Gabriela Rolenčíková, doc. Ing. arch. Eva Vojteková, PhD., Fakulta architektúry a dizajnu, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Námestie slobody 2911/19, 812 45 Bratislava
E-mail: gabriela.rolencikova@stuba.sk, eva.vojtekova@stuba.sk

Abstrakt
V kontexte snahy o dosiahnutie uhlíkovej neutrality v Európe sa dizertačná práca venuje výskumu možností využitia konopného betónu v architektúre. Tento prírodný materiál so zápornou uhlíkovou stopou predstavuje významný potenciál pre súčasnú výstavbu. Práca analyzuje jeho vlastnosti, limity a hľadá cesty, ako efektívnejšie uplatniť konopný betón v architektonickej praxi. Vďaka svojmu osobitému vizuálnemu prejavu a ekologickým kvalitám má potenciál stať sa materiálom budúcej generácie architektov. Hlavným cieľom práce je systematizácia poznatkov o použití konopného betónu a príspevok k rozšíreniu súčasného poznania tohto materiálu z architektonického hľadiska prostredníctvom experimentálneho výskumu zameraného na vizuálne procesy starnutia materiálu.
Kľúčové slová: konopný betón, udržateľné konštrukcie, stavebné materiály na prírodnej báze

Úvod

Priblíženie k nízkouhlíkovej architektúre možno dosiahnuť používaním materiálov na prírodnej báze v stavebníctve [1]. Celkový koncept drží v rukách architekt a jeho úlohou je nastoliť procesy tak, aby tieto stratégie boli dodržané v projekte, v procese výstavby a počas užívania budovy; ideálne aj po skončení životného cyklu budovy. Uvedomelosť architekta nezahŕňa iba znalosť noriem, ale nevyhnutné je skĺbenie technických nárokov objektu s estetickými nárokmi na architektúru. Každé obdobie si vytvorilo vlastný jazyk výrazových prostriedkov, ktorý odzrkadľoval kultúru a dobu. V tomto kontexte sa otvára otázka, či pravdivosť a charakter prírodných materiálov – a najmä materiálov s nízkou uhlíkovou stopou – nebudú práve tým jazykom, ktorý bude definovať architektúru nastupujúcej generácie architektov [2].

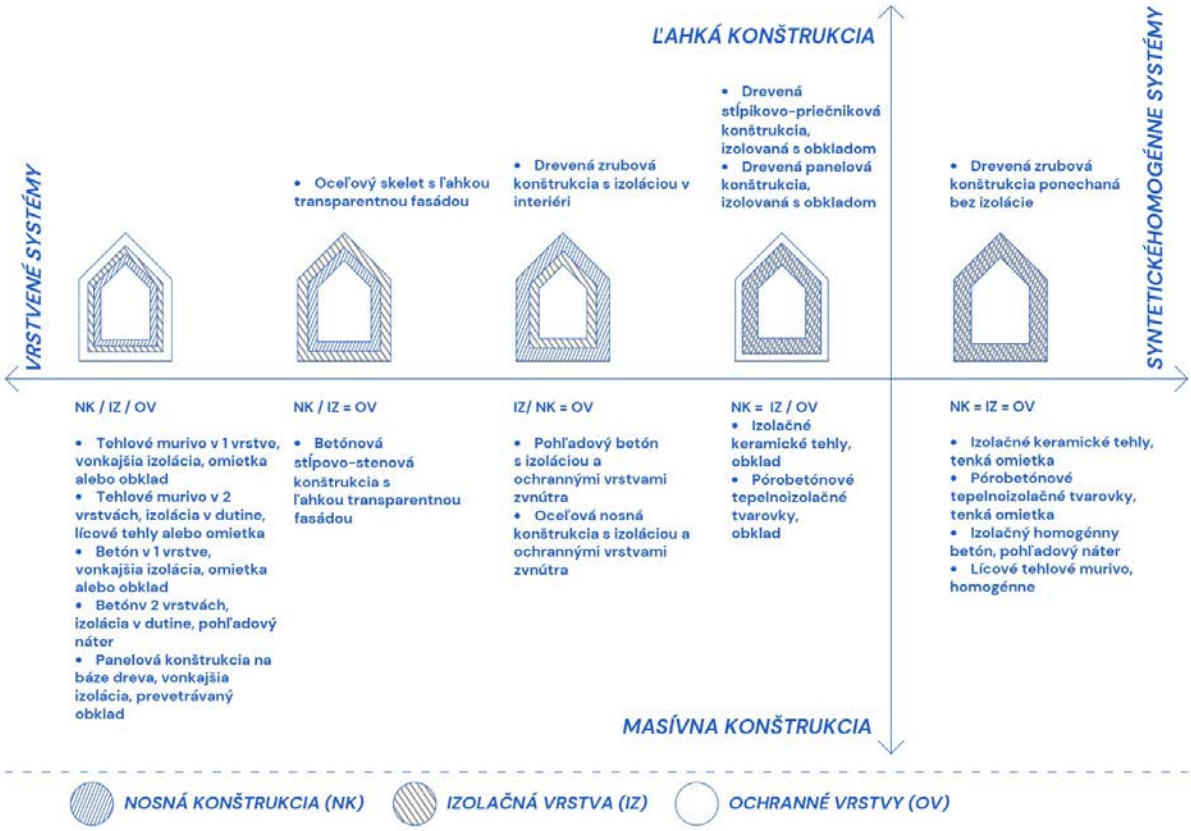
Fasády sú neoddeliteľnou súčasťou budovy a sú priamo spojené s architektúrou, jej funkčnou náplňou, konštrukciou a technickým vybavením stavby. Tento fakt má rozhodujúci vplyv na celý proces dizajnu a realizácie [3]. Z toho vyplýva, že fasáda reprezentuje vyjadrovacie prostriedky architekta a estetické kvality budovy. Webová platforma 2030 Palette, vytvorená Edwardom Mazriom a organizáciou Architecture 2030, definuje fasádu budovy ako klimatický filter medzi exteriérom a interiérom, ktorý prostredníctvom orientácie, tieniacich prvkov či vhodne navrhnutých presklených plôch prispieva k vnútornému komfortu a energetickej efektívnosti [4].

Konopný betón, ktorý je témou práce patrí medzi uhlíkovo negatívne stavebné materiály [5] (pri dodržaní zásad obehovej ekonomiky). Vďaka schopnosti konopy do seba pri raste viazať uhlík a karbonizácie vápenného spojiva materiálu je výpočtová hodnota zabudovaného uhlíka konopného betónu záporná (-0,3 až -1,0 $kgCO_2e/kg$). V prípade ukončenia cyklu užívania stavby z konopného betónu je materiál plne kompostovateľný a nezaťažuje prírodu. Povolanie architekta v súčasnosti vyžaduje vzťah k ekológii a musíme mať na pamäti, že „jedným z najvýraznejších činov, ktorým môžeme ekológii prospieť, je nestavať“[2] [6], avšak istá miera novej stavebnej činnosti bude vždy prebiehať; pre stavebný sektor sa pre nasledovné roky predikuje tendencia kontinuálneho rastu emisií CO_2 [7].

[2] Výrok nemeckej profesorky architektúry, environmentalistky a aktivistky Margrit Kennedy. [6]

Syntetické fasádne systémy

Marcel Baumgartner [9] na margo konštrukčnej podstaty fasády delí fasádne systémy na tzv. syntetické (homogénne) a vrstvené systémy (obr. 1). Vrstvené systémy prideľujú nosné, izolačné a ochranné funkcie medzi viac vrstiev. Použitie vrstvených systémov umožňuje väčšiu formálnu voľnosť povrchovej vrstvy, ktorá sa môže javiť ako samostatná a nezávislá. Syntetické systémy predstavujú naopak konštrukčný prístup, pri ktorom fasáda plní viacero stavebno-fyzikálnych funkcií prostredníctvom jednej integrovanej vrstvy. Typickým príkladom je monolitický pohľadový izolačný betón, ktorý v rámci jednej vrstvy zabezpečuje nosnú, ochrannú aj izolačnú funkciu. Syntetické konštrukcie tým získavajú z pohľadu architektúry istú mieru autenticity – výraz povrchu vyplýva z podstaty materiálu a jeho funkcie. Táto priamosť v štruktúre odráža materiál. V prípadoch, kde sa používajú materiály na prírodnej báze, ako konopný betón a vrstvy sú realizované systémom cast-in-situ, nadobúda výraz fasády vysokú mieru autenticity a priamej väzby na konštrukciu. Fyzikálne vlastnosti materiálu tu formujú vizuálny charakter fasády – pravidelný horizontálny raster a prirodzená textúra sa stávajú priamym odrazom stavebného procesu. Môžeme hovoriť o konštrukčnej pravdivosti materiálu.



Obr. 1 – Obrázok znázorňuje porovnanie vrstvených a syntetických systémov na základe zoradenia vrstiev v skladbe na osi od ľahkých po masívne konštrukcie
Zdroj: [9]

Základné vlastnosti konopného betónu a zloženie

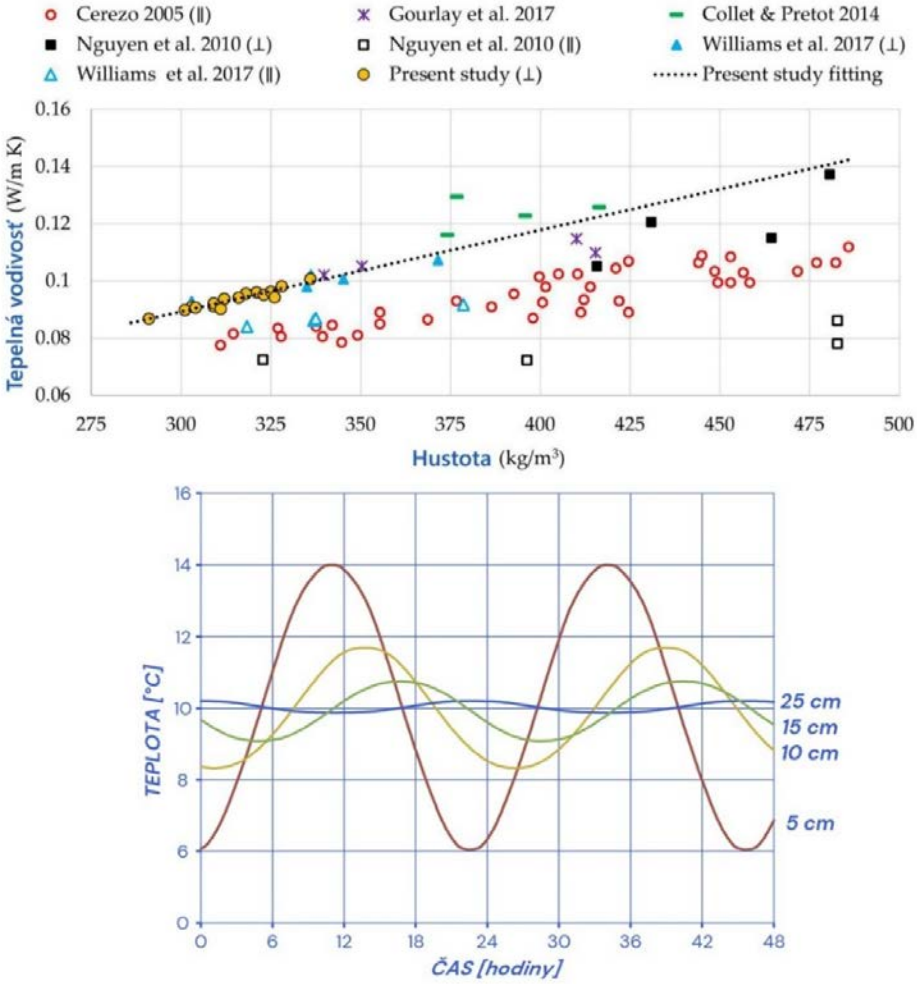
Zaužívaný názov konopný betón (hempcrete) je zavádzajúci, pretože samotný materiál neobsahuje cementovú zložku a nie je betónom v pravom slova zmysle. Tvorený je zmesou konopného pazderia (z konopy siatej, technickej – cannabis sativa) a haseného vápna (často s pucolánovými alebo inými minerálnymi prímesami) za prítomnosti vody. Plnivom je konopné pazderie (drevitá stonka konopy) a spojivom je vápno. Hempcrete (aj hemp-lime) je dýchajúci a hygroskopický, plne recyklovateľný materiál, ktorý sa používa ako výplňový materiál obvodových stien; spravidla pre jedno poschodie stavby v kombinácii s inou nosnou konštrukciou, najčastejšie na báze dreva. Materiál sa používa aj ako zálievka podláh, prípadne izolácia masívnych strešných konštrukcií [10]. Má pomerne vysoké hodnoty tepelnej i zvukovej izolácie a nie je potrebné ho pri vyhotovení steny hrubej cca 45-50 cm (podľa typu zmesi) dodatočne zatepľovať (obr. 3). Materiál sa používa aj ako zálievka podláh, prípadne izolácia masívnych strešných konštrukcií, kde pôsobí výnimočne vzhľadom na hodnoty fázového posunu (obr. 4). Pri vhodnej organizácii výstavby možno z masívneho konopného materiálu relatívne časovo úsporne vyhotoviť stavbu. Spôsob výroby konopného betónu a výstavby in situ materiál predurčujú k vytváraniu regionálnych cyklov pestovania a spracovania konopy na princípoch kooperatívnej a obehovej ekonomiky [11].

Obr. 2 – Fasáda z konopného betónu vo fáze zrenia.
Zdroj: autori

Vyznačuje sa výnimočnými tepelnými, akustickými a hygroskopickými vlastnosťami a prispieva k udržateľnosti budov ako zachytávač uhlíka po dobu najmenej 100 rokov [13] v troch fázach: pri raste konopy v pazderí, v dreve a vápne (napr. vápenného spojiva Tradical®, ktorý emituje najviac skleníkových plynov pri výrobe), čo značí zápornú uhlíkovú stopu podľa analýz LCA. Konvenčné vápenné spojivo môže byť nahradené alternatívnym, ako je systém oxidu horečnatého (MgO) a cementu [12], ktorý je environmentálne šetrným produktom so spojivom dobre dostupným v našich zemepisných podmienkach[3].

[3] MgO je dostupný materiál, vzniká ako odpad pri odsoľovaní, spotreba energie na jeho výrobu je teda nižšia a oproti vápnu, ktoré má obmedzenú vyťažiteľnosť. Je to sľubná alternatíva spojiva so zvýšenou reaktivitou, ktorú treba kontrolovať počas zrenia. [12]

Hempcrete ukladá priemerne 35 kg CO_2 na m^2 pri hrúbke muriva 25 cm[4] [13]. Použitie pazderia umožňuje efektívne využitie odpadu z priemyselného spracovania konopných stoniek pri extrakcii lykových vlákien, čo znižuje environmentálny dopad [14] a ekologická bilancia je A+. Pre výrobu 1 m^3 konopného plniva je potreba primárne len 50–80 kWh energie a hodnota zabudovaného CO_2 je -55,1 $kgCO_{2eq}/m^3$. Štandardný rodinný dom je možné postaviť z materiálu vypestovanom na cca 3 ha pôdy. Významné je teda ekologické hľadisko, keďže konopa je materiál s malými nárokmi a veľkou vyťažiteľnosťou, ktorého pozitívne vlastnosti prevažujú negatíva (tab. 01 znázorňuje zozbierané údaje o vlastnostiach hempcretu). Zároveň je materiál recyklovateľný, je možné ho rozdrviť a znovu zmiešať pridaním vody a vápna a vytvoriť podklady na potery a izolačný materiál do dutín [15]. V prípade demolácie je netoxický a možno ho zaorať do zeminy ako hnojivo pre zníženie pH pôdy.



Obr. 3, obr. 4 – Grafické spracovanie rôznorodosti údajov tepelnej vodivosti v závislosti na rôznych štúdiách. Výrazné zmierňovanie krivky fázového posunu narastaním hrúbky muriva od 5 do 25 cm
Zdroj: [15] a [5]

[4] Konopa prispieva k nepriaznivým vplyvom okrajovo, doprava je hlavným zdrojom poškodzovania ozónovej vrstvy, odporúča sa jej optimalizácia v súvislosti s výrobou pazderia na regionálnej úrovni. V prípade výroby vápna je riešenie potrieb energií obmedzené, avšak uvoľnené CO_2 pri hasení vápna sa opäť do konštrukcie zabuduje pri zrení. Drevená zložka by sa teda mohla opätovne použiť alebo zhodnotiť na energetické účely, zatiaľ čo zložka z konopného betónu by sa mohla použiť ako zásyp alebo ako kompost. [13]

Vlastnosť	Hodnoty / Rozsah	Faktory ovplyvňujúce vlastnosť
Tepelná vodivosť (λ)	0,05 – 0,06 – 0,13 W/mK	hustota, obsah vody, chemické úpravy pazderia
Hustota (ρ)	250 – **300** – 500 kg/m³	frakciaia, obsah vody, typ spojiva
Pevnosť v tlaku	0,10 – 5 MPa	hustota, typ spojiva, doba tvrdnutia
Pevnosť v ohybe	0,08 – 0,14 MPa	spojivo, pomer konopa:spojivo:voda
Nasiakavosť vody	vysoká bez chemickej úpravy	úprava (NaOH), ultrazvuk, frakcia
Permeabilita vodnej pary	Vysoká	štruktúra vlákien a matrice
Akumulácia tepla	Stredná (vplyv hustoty)	hustota, hrúbka steny
Tepelná kapacita	1500 – 1700 J/kg	hustota, hrúbka steny
Zvuková izolácia	~57 dB (hrúbka 300–400 mm)	pórovitosť, hrúbka steny
Požiarna odolnosť	≥ 73 min (neomietnuté/omietnuté)	minerálne prísady, hrúbka steny
Nosnosť	Nenosený materiál (potreba konštrukcie)	drevo alebo oceľový rám
Environmentálny dopad	1 m² steny 25 cm ~35 kg CO_2 uloženého	typ spojiva, doprava, recyklácia
Zabudovaný uhlík	1m³ konop. betónu ~110-240 kgCO_2e/m³	typ spojiva, doprava, recyklácia
Trvanlivosť	Dlhodobá pri správnej ochrane	chem. úprava, ochr. vrstvy, spojivo
Recyklovateľnosť	možno recyklovať, kompostovať, zaorať	typ spojiva, degradácia vlákien
Vplyv veľkosti pazderia	Kratšie = vyššia hustota a pevnosť; priemerná = tepelná vodivosť nezmenená	Dĺžka častíc, obsah vody

Tab. 1 – Kompletná tabuľka s fyzikálnymi parametrami materiálu konopný betón
Zdroj: autori

Technológia spracovania a aplikácia v konštrukcii

Konopné pazderie tvorí hlavné plnivo materiálu (drevené časti stonky technickej konopy získané v dekortikátore oddelením od lyka). Je to veľmi ľahký, porézny a savý materiál s vysokým obsahom oxidu kremičitého (SiO_2), ktorý zabezpečuje priaznivý priebeh procesu mineralizácie a následného tvrdnutia zmesi. Ako spojivo sa používa najčastejšie hasené vápno – hydroxid vápenatý $Ca(OH)_2$, alebo hydraulické vápno – NHL, alternatívne iný oxid (MgO). V niektorých prípadoch sa do vápna pridávajú aj pucolánové, či iné minerálne prímesi (napr. popolček, metakaolín), ktoré podporujú hydratáciu a karbonatáciu vápna v masívnych konštrukciách, prípadne materiálu dodávajú iné vlastnosti. Dôležitým je pomer medzi konopným pazderím, spojivom a vodou. Všeobecné odporúčania pre tieto pomery (1 : 1,5 : 3 pre spojivo : pazderie : voda) nie je možné striktne štandardizovať pre relatívne vlhkosti pazderia či podnebia a skúsení stavitelia uprednostňujú zmyslové posúdenie konzistencie [17].

Spracovanie konopného betónu zahŕňa niekoľko krokov. Pazderie musí byť pred samotnou aplikáciou vhodne vybrané, frakcie približne 1 – 40 mm. Prvým krokom je jeho počiatočná mineralizácia, ktorá znižuje nasiakavosť. Betón sa spracúva v miešačke najprv v suchom stave, neskôr po odležaní sa postupne pridáva voda. Po vyhotovení mokrej zmesi a zaliatí do debnenia nastane proces karbonatácie[5]. Výsledkom je čoraz pevnejšia, stabilnejšia a trvácnejšia konštrukcia.

[5] Chemická reakcia oxidu uhličitého (CO_2) s hydroxidom vápenatým ($Ca(OH)_2$), čím vzniká uhličitan vápenatý ($CaCO_3$). Oxid uhličitý sa doslova stáva súčasťou konštrukcie z konopného betónu.

Existujú tri hlavné technologické prístupy pri zhotovení konštrukcie – aplikácia cast-in-situ, prefabrikácia tvárnic a prefabrikácia panelov. In situ aplikácia je najrozšírenejší spôsob vyhotovenia masívnej homogénnej steny a jedná sa o ručné alebo strojové vpravovanie čerstvej mokrej zmesi priamo do debnenia na stavbe vo vrstvách s hrúbkou 20 až 30 cm (obr. 5). Konopný betón je nenosný a musí sa ukladať okolo konštrukčného rámu, na vytvorenie ktorého sa zväčša využíva drevo, kov alebo železobetón. Rám po zaliatí získava požiarnu odolnosť a ochranu proti hnilobe a škodcom[6]. Tvrdnúť začína konopný betón po približne dvoch týždňoch. Doba schnutia je pre stenu hrubú 40 cm približne 2 až 3 mesiace, kedy sa vlhkosť musí dostať pod 15% aby mohlo nasledovať omietanie. Karbonatácia prebieha ďalšie roky.

Konopný betón, možno zalievať do strechy ako izolačný materiál aj do podláh ako poter. V streche je potrebné zabezpečiť nízku objemovú hmotnosť a zmesi pre podlahové konštrukcie musia mať naopak vyššiu pevnosť pre zaťaženie podlahy a sú hustejšie.

Definovanie problematiky a chýbajúci výskum z pohľadu architektúry

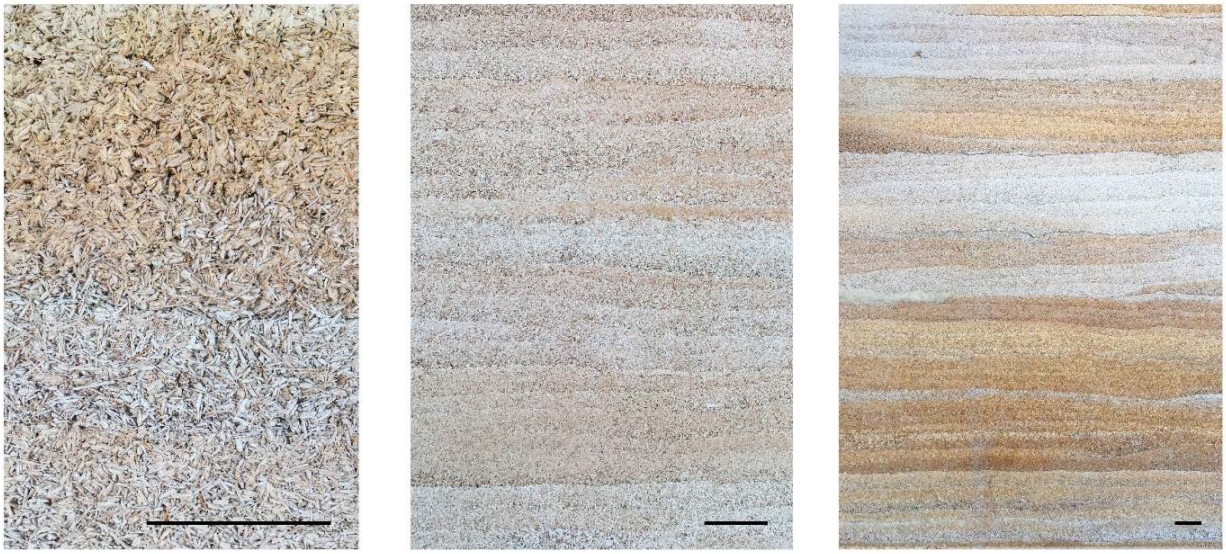
Z obzoru architekta je potrebné výskum zamerať na architektonické možnosti a kvality materiálu a jeho optické vlastnosti. Prínosom práce má byť analýza starnutia povrchu fasády z homogénneho konopného betónu v prirodzenom exteriérovom prostredí v kombinácii s informáciami o starnutí v laboratórnych podmienkach. Dôležitými sú nové informácie o farebnom pôsobení fasád, vytvorenie škály farieb, textúry povrchov vyzretej zmesi pri stanovených podmienkach. Dôležitou súčasťou výskumu je prenos informácií o farebnosti do digitálneho prostredia tak, aby s informáciami vedel narábať architekt. Očakáva sa odpoveď na viacero výskumných otázok.

- Ako sa mení vzhľad povrchu (farebnosť, štruktúra) konopného betónu v čase v závislosti od vonkajšieho prostredia? Odhalená fasáda z konopného betónu v exteriérovom prostredí (za prítomnosti znečistenia) má tendenciu zostarnúť a nadobudnúť patinu, na ktorej úroveň pôsobí orientácia a doba vystavenia poveternostným podmienkam. Predpokladá sa iná úroveň starnutia a znečistenia na fasáde s ochrannými nátermi a na fasáde s čiastočným prekrytím konštrukciou. Kľúčovými bude miera porovnania starnutia počas 2 rokov.
- Aký je potenciál jednotlivých zmesí konopného betónu ako vizuálneho a konštrukčného fasádneho materiálu z architektonického hľadiska? Cieľom je popísať podmienky, pri ktorých dokáže prirodzená štruktúra konopného betónu prevziať finálny vizuálny vzhľad fasády. Na základe prvej časti výskumu sa predpokladá, že fasády s ochrannými nátermi sú schopné prezentovať svoju pravdivú štruktúru a konštrukciu aj bez prekrytia inými vrstvami a konštrukciami. V prípade vzorky s presahom strešnej konštrukcie sa preukážu zmeny starnutia oproti vzorke bez presahu (s povrchovým, alebo bez povrchového náteru).

[6] Konštrukcia fasády z hempcretu je spravidla založená na stĺpikovej konštrukcie na báze dreva z vertikálnych drevených prvkov (stĺpikov), zvyčajne v module 625/312mm s vysokým stupňom prefabrikácie. Nosné prvky pozostávajú z predmontovaných rámov vystužených diagonálnymi doskami, preto sa niekedy označuje ako rámová, alebo panelová, často je doplnená o hrubšie profily pre statické potreby. Táto konštrukcia je najčastejšie zaliata pomocou posuvného debnenia v konopnom betóne.

Vizuálne kvality, farebnosť, vrstvenie, výraz

Štruktúra fasády z konopného betónu, ako je zobrazená na fotografiách (obr. 5), evokuje prirodzenú, organickú estetiku, ktorá sa vie nenásilne spojiť okolitým prostredím. Jemná textúra pripomína vrstvenie prírodných materiálov a organických sedimentov. Povrch fasády pôsobí ako fyzická metafora udržateľnosti korelujúca s narastajúcou potrebou ekologických riešení v spoločnosti. Vizuálna prirodzenosť farieb konopného betónu môže pôsobiť ako protiváha ku globalizovanej estetike súčasnej výstavby.



Obr. 5 – Štruktúra fasády z konopného betónu v rôznych vzdialenostiach. Porovnávacia mierka je 15 cm
Zdroj: autori

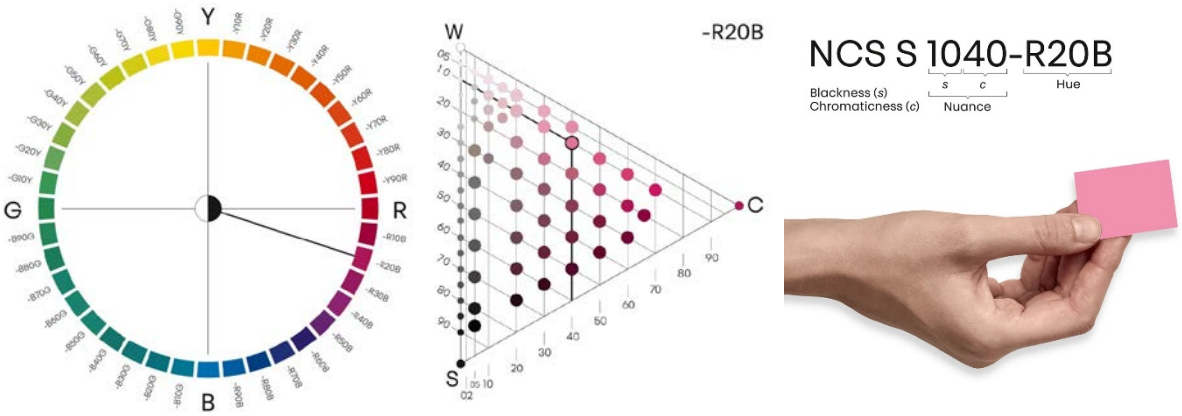
Farebnosť materiálu ako konopný betón môže prispieť aj k obnove farebnej identity miesta v súvislosti s tradičnými a regionálne zakorenenými paletami; nevytvára vizuálny šum a rešpektuje genius loci. Svojím zemitým vzhľadom umožňuje začlenenie do rôznych typov prostredí – vidieckych, mestských aj krajinných. Použitie konopného betónu nadväzuje na historické používanie prírodnej palety farieb a tým podporuje kontinuitu farebnej kultúry miest a regiónov (oker, biele vápno, prirodzené odtiene hnedej a béžovej) [18]. Farebnosť povrchov a prostredia ovplyvňuje aj emocionálne vnímanie priestoru. Teplé, zemité odtiene konopného betónu vytvárajú pocit útulnosti, istoty a prirodzenosti v prostredí. Na rozdiel od synteticky vytvorených materiálov, ľudské oko vníma textúry prírodných materiálov a presviedča pozorovateľa, že sú autentické [19].

Hoci má konopný betón základnú farbu, je možné ju dopĺňať pigmentmi či povrchovými úpravami a tým ovplyvniť jeho vizuálne pôsobenie. Materiál prirodzene starne, mení sa jeho odtieň a patina, podobne ako drevo, čo zvyšuje autenticitu a prirodzenosť stavby v prostredí. Nepravidelnosť povrchu a štruktúra narúšajú jednoliatosť. Evolúcia prebehla v prírodnom prostredí, pre ktoré sú charakteristické povrchy rozmanitej textúry a farebnosti. Preto má jednofarebná plocha pre ľudské oko nízky stimulačný potenciál a nízku informačnú hodnotu [18]. Ukazuje sa, že farba ovplyvňuje dizajn viac ako iné dizajnové koncepty [20]. Kombinácia vizuálnej kvality a ekologických výhod robí materiál relevantným pre modernú architektúru, prírodný vzhľad konopného betónu zhmotňuje hodnoty udržateľnosti a environmentálnej etiky, ktoré sú v súčasnej spoločnosti preferované.

Výskumný experiment a kolorimetria

Zmena vzhľadu povrchu (farebnosť, štruktúra) konopného betónu v čase závisí od poveternostných podmienok, zloženia zmesi a povrchovej úpravy. Samozrejmosťou pri experimente sú presne stanovené podmienky fyzickej podstaty a externého prostredia, ktoré zahŕňa jasná definícia typu zmesi, formátu steny, povrchovej úpravy, vonkajších podmienok (orientácia, zmeny počasia reflektované meteostanicou a pre grafické zachytenie aj expozícia). Pre meranie farby povrchu sa vybralo porovnávanie viacerých bodov na vzorke steny konopného betónu vyhodnocovaním v systéme NCS (Natural Color System – obr. 6)[7].

Meranie farieb sa uskutoční pomocou kolorimetrického prístroja, vizuálne so vzorkovníkom, resp. atlasom (1741 farieb) a vyhodnotí sa v systéme NCS[8]. Pre architektonické povrchy je možné povrchy testovať aj laboratórne zo vzoriek, avšak pre sledovanie starnutia v časových úsekoch štruktúrovaného vzhľadu toto meranie nie je možné vykonať. Vyžaduje sa jasná dokumentácia polohy meracích bodov (A1.S.1 – označuje bod 1 na stene bez prestrešenia A1 a bez ošetrenia s orientáciou na sever – obr. 8, 9 a 11). Pri zhotovení fotografických záznamov zmien musí prebehnúť porovnávanie referenčnej a skúmanej vzorky (prostredníctvo sivej porovnávajúcej tabuľky).

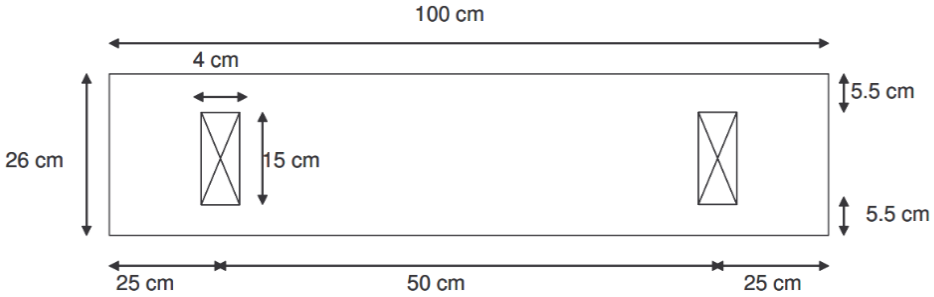


Obr. 6 – V prípade NCS sa vyberajú a definujú farby vizuálne, nie výpočtom spektrofotometrických hodnôt. NCS je systém na vizuálne popisovanie a komunikáciu farieb, avšak v aplikáciách, kde sa požaduje presnosť (farby náterov, práškové laky) sú farby priradené ku konkrétnym CIE hodnotám, ktoré slúžia na merateľnú kontrolu. Premenné systém sú HUE (0) - farebný tổn (podobnosť skúmanej farebnej vzorky k dvom najbližším chromatickým elementárnym farbám), CHROMATICNESS (c) – chromatickosť (stupeň podobnosti vzorky k farbe zhodného tónu s maximálnym chromatickým obsahom), BLACKNESS (s) - obsah čiernej(podobnosť skúmanej farebnej vzorky k dokonale čiernej), SATURATION (m) – SÝTOSŤ (vzťah medzi chromatickosťou (c) a obsahom bielej (w) pri danej farbe)
Zdroj: [22]

[7] Systém NCS patrí medzi systémy založené na farebnom vzhľade (Colour-appearance systems), popísané a klasifikované na základe schopnosti vnímania ľudského oka (nie na farebnom stimule). Boli vyvinuté pre definovanie farby povrchov, predmetov; riadia sa princípmi ako sú perceptuálne súradnice alebo stupnice, farba je popísaná vo vzťahu k rozlíšiteľným referenčným farbám (6 základných referenčných farieb). [18]

[8] Subjektívne (vzťahujúce sa k subjektu) javy možno zmysluplne merať iba pomocou subjektívnych (psychologických) metód. To znamená, že v prípade NCS, kde sa farba koncepčne považuje za vizuálny jav, farbu nemožno merať prístrojmi merajúcimi spektrálne zloženie odrazeného žiarenia. Vzorky z atlasu a ich CIE súradnice predstavujú psychofyzikálny korelát k psychometrii notácie NCS, ktorá im je daná, v rámci súboru pozorovacích a inštrumentálnych podmienok. [21]

Skúmanú vzorku predstavuje fyzicky postavená stena z konopného betónu na betónovej podstave vyhotovená zalievaním do debnenia vrátane použitia malej staticky únosnej subkonštrukcie (drevený rám z prvkov 15x4 cm). Takéto steny sú navrhované štyri v rozmere 1 x 1 x 0,25 m (simulácia reálneho správania sa povrchov v mierke porovnateľnej so stavebnými prvkami). Orientácia sa vyžaduje na 4 svetové strany (každá stena zahŕňa 2 fasády). Dve steny budú bez presahujúceho prestrešenia a dve budú mať vyhotovený presah prestrešenia úmerne k výške steny (1/2 výšky).



Obr. 7 – Pôdorys vzorovej steny vyhotovenej z konopného betónu
Zdroj: [13]

Vzorky budú reprezentovať jeden mix konopného betónu a dve povrchové úpravy (neošetrená fasáda, ošetrená fasáda bezfarebným ochranným vápenným náterom KEIM), ktoré sú relevantné pre architektonickú prax. Inštalácia prebehne na pripravenom pozemku v Bratislave Rači (obr. 8, 9 a 10).

Obr. 8, obr. 9 a obr. 10 – Rozmiestnenie vzoriek na vybranom pozemku a fotografia z pozemku. Schéma označenia stien v závislosti od vzorky
Zdroj: autori

Meracie body budú zakreslené do výkresovej dokumentácie a označené priamo na vzorke. Predpokladá sa nasledovný kmeň zaznamenaných bodov do tabuľky (obr. 11), kde pri jednej

návšteve lokality (1 za mesiac v priebehu 1-2 rokov) sa predpokladá 2 x 4 x 2 x 4 = 64 meraných bodov:

- 2 vzorky – s prestrešením, bez prestrešenia
- 4 orientácie – sever, juh, východ, západ
- 2 úpravy povrchu na 1 vzorke
- 4 referenčné body pre meranie charakteristík

Dátum merania	1.2.2025	časť vzorky bez ošetrenia								1
BOD	VZORKA A bez prestrešenia	NCS kód	Svetlosť (%)	Zmena Δ(%)	Sýtosť (%)	Zmena Δ(%)	Farebný tón (Hue)	Primárna farba	Primiešaná farba a pomer	poznámka
A1.J.1	Orientácia J	S 1050-Y70R	10		50		Y70R	Y	70% R	
A1.J.2	Orientácia J	S 2030-R90B	20		30		R90B	R	90% B	

Obr. 11 – Vzorový zápis do tabuliek pri jednom meraní.
Sledované parametre zo zápisu a zmeny farby v NCS systéme
Zdroj: autori

Na meranie bude použitý prenosný kolorimeter s podporou systému NCS, ktorý umožňuje získať priamo farebné kódy v požadovanej forme (napríklad NCS Colour Scan 2.0 - prenosný snímač farieb rôznych povrchov v NCS s možnosťou prevodu do iných systémov). Prístroj vhodný pre vedecký výskum v oblasti architektúry a stavebných materiálov poskytne reprodukovateľné a porovnateľné výsledky. Prevod farieb z NCS vzorkovníka prebieha na základe dohodnutých pravidiel [23]. Doplňujúcim nástrojom bude fyzický NCS vzorkovník, ktorý umožní vizuálne overiť správnosť merania a interpretovať výsledky pre architektonickú prax. Využitie prístrojového merania farieb slúži na určenie, identifikáciu/špecifikáciu farieb, reprodukciu farieb, hodnotenie farebného podania svetelného žiarenia. Postup merania a vyhodnotenie dát:

- Priloženie hlavice kolorimetra k určenému bodu.
- Zaznamenanie NCS kódu z prístroja.
- Vizuálne overenie podľa fyzického NCS vzorkovníka.
- Zápis do evidenčnej tabuľky (Excel).

Pri každom meraní budú zaznamenané poveternostné podmienky pocitovo aj prostredníctvom meteostanice (teplota, vlhkosť vzduchu, čiastočne aj znečistenie povrchu, prípadné biologické nárasty). Zaznamenané NCS kódy umožnia vyhodnotiť zmeny v troch parametroch – tón (hue), úroveň čiernej (blackness), chromatickosť (chromaticness). Výsledky budú vizualizované v časových grafoch a porovnávané – medzi povrchovými úpravami, medzi orientáciami na svetové strany. Výsledky sa budú interpretovať z hľadiska stálosti farby, odolnosti voči poveternostným vplyvom a vizuálnej kvality materiálu.

Ako doplnková metóda bude použitá fotogrametria, ktorá umožní sledovať vizuálne zmeny povrchov vo vyššej komplexnosti. Zámerom je jednoduché fotografovanie digitálnou zrkadlovkou z konštantnej vzdialenosti, uhla a pri rovnakých svetelných podmienkach, pokiaľ to počasie dovolí (s vloženou kalibračnou šedou kartou, ktorá umožní farebnú korekciu a porovnanie fotografií v čase). Formát súboru pre všetky fotografie bude RAW + JPEG. Vyhodnocovanie prebehne pomocou softvéru (napr. Agisoft Metashape alebo ImageJ),

kedy budú fotografie analyzované s ohľadom na celkový farebný posun, vznik nerovnomerností, zmeny štruktúry povrchu (napr. prach, mach, vlhkostné mapy). Fotogrametria je uvažovaná ako doplnková metóda pre dokumentáciu zmien v čase.

Výsledky práce a diskusia

Konopný betón ako fasádny materiál v exteriéri podlieha vizuálnym zmenám. Hypotéza, že konopný betón s ochranným náterom alebo s čiastočným prekrytím konštrukciou starne inak než úplne odkrytá plocha sa potvrdzuje ako kľúčová otázka ďalšieho skúmania. V súčasnosti je tento záver hypotetický, ale pozorovaním podľa predložených návrhov bude možné finálne abstrahovať závery z experimentov a vyhodnotiť mieru použitia materiálu pre fasády z hľadiska architektúry a estetiky.

Navrhnutá metodika založená na terénnom meraní farebných zmien v systéme NCS, fotogrametrii, doplnkových laboratórnych testoch poskytne komplexný pohľad na fyzikálne aj vizuálne prejavy konopného betónu. Výsledky otvárajú cestu k štandardizovaným postupom hodnotenia estetických kvalít prírodných stavebných materiálov a k ich širšej implementácii v súčasnej udržateľnej architektúre.

Záver

Dizertačný výskum má ambíciu upriamiť pozornosť na úzku súvislosť medzi architektúrou a materiálom, ktorý ju tvorí. Predmetom výskumu je konopný betón, ktorého podrobný aplikačný popis je súčasťou prvej časti práce. Sumarizuje poznatky a ponúka komplexný prehľad o pozitívach, potenciáloch vrátane negatív a rizík práce s materiálom. Špecifikované metódy majú za cieľ odhaliť a prezentovať estetické možnosti konopného betónu v architektúre. Takto koncipovaný budúci výskum môže prispieť k etablovaniu konopného betónu ako plnohodnotného stavebného materiálu nielen na experimentálnej úrovni, ale v širokom spektre stavebníckych výrobkov a materiálov, pričom jeho význam každým dňom narastá vo vzťahu k uhlíkovej neutralite.

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
doc. Ing. arch. Henrich Pifko, PhD.

Použitá literatúra

1. PIFKO, H., ROLENČÍKOVÁ, G., POLOMOVÁ, B. a VOJTEKOVÁ, E., 2023. Nature-friendly building materials in architectural education. In: *World Transactions on Engineering and Technology Education*. Roč. 21, č. 4, s. 228-234, ISSN: 1446-2257.
2. FRAMPTON, K., 1995. *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 978-0-262-56176-4.
3. SCHRÖPFER, T., HEE, L., 2014. *Façades: Principles of Construction*. 2. vyd. Basel: Birkhäuser. ISBN 978-3-03821-044-3.
4. ARCHITECTURE 2030. *Building facades* [online]. Architecture 2030, [cit. 2025-08-19]. Dostupné z: https://2030palette.org/building-facades/.
5. HARTMAN, H., WILLIAMS, J. J., 2024. *MATERIALS – An Environmental Primer*. London: RIBA Publishing. ISBN 978-1-915722-21-8.

6. KEPPL, J., 2004. Tri desaťročia hľadania. In *Projekt*. Roč. 46, č. 4, s. 15. ISSN 1335-2180.
7. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022. *Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector* [online]. Nairobi: UNEP. [cit. 2025-09-06] ISBN 978-92-807-4014-6. Dostupné z: https://globalabc.org/resources/publications-reports/global-status-report-buildings-and-construction-2022.
8. BAUMGARTNER, M., 2009. The design of the facade. In: DEPLAZES, A., *Constructing Architecture (Handbook) - Materials, Processes and Structures*. Basel: Birkhauser Verlag, s. 191-194. ISBN 978-3-7643-7312-2.
9. STANWIX W., SPARROW, A., 2014. *The Hempcrete Book: Designing and building with hemp-lime*. Cambridge: Green Books. ISBN 9780857841209.
10. KRINGS, M., 2022. *H is for HEMP*. 1. vyd. Bad Langensalza: Maren Krings Photography. ISBN 978-3-00-071719-2.
11. KIDALOVA, L., STEVULOVA, N., TERPAKOVA, E., HELCMAN, M., 2012. Effective utilization of alternative materials in lightweight composites. In: *Journal of Cleaner Production* [online]. Roč. 34, s. 116–119 [cit. 8-9-2025]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257408818_Effective_Utilization_of_Alternative_Materials_in_Lightweight_Composites.
12. BOUTIN, M.P., FLAMIN, C., QUINTON, S., GOSSE, G., 2005. *Analyse du cycle de vie de: Compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et Mur en béton de chanvre banché sur ossature en bois* [online]. Lille: INRA, 2005. [cit. 2025-09-07] Dostupné na: https://www.inra.fr.
13. CIGASOVA, J., STEVULOVA, N., SCHWARZOVA, I., JUNAK, J., 2014. Innovative use of biomass based on technical hemp in building industry. In: *Chemical Engineering Transactions* [online]. Roč. 37, s. 685–690. [cit. 2025-09-07] DOI: 10.3303/CET1437115. Dostupné na: https://www.academia.edu/11681197.
14. AGLIATA, R., GIANOGLIO, S., MOLLO, L., 2019. Hemp-lime composite for buildings insulation: material properties and regulatory framework. In: *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability* [online]. Roč. 4, č. 1, s. 49-57. [cit. 8-9-2025]. Dostupné na: https://polipapers.upv.es/index.php/vitruvio/article/view/11771/11470.
15. WOOLLEY, T., 2022. *Natural Building Techniques: A Guide to Ecological Methods and Materials*. Marlborough: The Crowood Press Ltd. ISBN 978-0719840470.
16. URLANDOVÁ, A., 2016. *Sila farby*. 1. vyd. Bratislava: Eurostav. ISBN 978-80-89228-44-7. S. 151.
17. PALLASMAA, J., 2005. *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. Chichester (UK): Wiley-Academy. ISBN 978-0-470-03020-4.
18. OLGUNTÜRK, N., DEMİRKAN, H., 2011. Colour and design: From natural patterns to monochrome compositions. In: *Optics & Laser Technology* [online]. Roč. 43, č. 2, s. 270-281 [cit. 2025-09-11]. ISSN: 1879-2545. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/J.OPTLASTEC.2009.06.014.
19. HÅRD, A., SIVIK, L., 1981. NCS—Natural Color System: A Swedish Standard for Color Notation. In: *Color Research & Application* [online]. Roč. 6, č. 3, s. 129–138 [cit. 2025-09-11]. ISSN 0361-2317. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/col.5080060303.
20. NCS COLOUR. Learn the NCS System® [online]. NCS Colour [cit. 2025-09-11]. Dostupné na: https://ncscolour.com/en-eu/pages/the-system.
21. STN IEC 60050-845: Medzinárodný elektrotechnický slovník Kapitola 845 Osvetlenie.

Mladá veda

Young Science

ISSN 1339-3189