

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

PROFESIONÁLNÍ VYUŽITÍ SLÁMY V ARCHITEKTUŘE

Téma: Udržitelnost a každodennost v architektuře
Studijní obor: Architektura, stavitelství, technologie
Studijní program: Architektura a urbanismus

Školitel: doc. Ing. arch. Eduard Schleger CSc.

Doktorand: **Ing. arch. Miroslav Ščudla**

Ústav navrhování II, FA ČVUT



2018

Anotation

PROFESSIONAL APPLICATION OF STRAW IN ARCHITECTURE

In contemporary architecture, straw is used marginally, mostly in do-it-yourself construction. Although the convenient qualities of straw have long been known, it has not gained the trust of builders and designers. Construction companies have not learned to work with straw on a regular basis. In the scope of green technologies, an opportunity is emerging to use straw in professional building systems suitable for sustainable architecture.

Why it is desirable to use straw? We can hardly find insulation with lower carbon footprint and primary energy impact. Simple and widely available local material is provided as residue from agricultural process. Durability of the incorporated straw depends on the same factors as in the case of wood: protection from direct moisture and diffusional open structure. Envelope filled with straw provides acoustic insulation, good thermal stability, combined with clay plaster modulates an air humidity in the interior naturally.

If we want to apply it in our architectural designs, we have several possibilities. The common small straw bales are suitable for many ways of structure (wooden framework or load bearing straw) and do-it-yourself process. This way of building process can be interrupted by logistic problems or weather disaster. Contemporary building market offers professional products made of straw: universal strongly pressed boards or system of modular units for external walls. All these ways of application are able to gain the high building quality. The innovative straw technologies enable to design and erect the energy passive house with considerable percentage of straw in constructions.

Although the advantages of straw are indisputable, the next success of straw building materials depends on the interest of architects and builders.

01 IDENTIFIKACE PROBLÉMU

Sláma se v soudobém stavitelství používá okrajově, nejčastěji v rámci svépomocné výstavby. I když jsou pozitivní vlastnosti slámy již dlouho známy, nezískala si zatím širší důvěru mezi stavebníky ani projektanty. Stavební firmy u nás se slámou zatím běžně také pracovat nedovedou. V rámci současného trendu vyššího využití obnovitelných zdrojů a snižování emisí CO₂ se v Evropě (znovu) objevují možnosti, jak slámu použít v profesionálních stavebních systémech vhodných pro trvale udržitelnou architekturu.

V České republice bylo v posledním desetiletí zrealizováno odhadem 80 staveb (optimistické odhady hovoří až o 120 domech) s významným podílem slámy v konstrukcích. Každá z těchto staveb je svým způsobem jedinečným experimentem. V porovnání s celkovou stavební produkcí (průměrně 12 – 16 tis. rodinných domů ročně) jde o nepatrný zlomek. I když slaměné stavitelství zažívá v západoevropských a severoamerických zemích renesanci už od 70. let, existuje řada mýtů, které slámu u odborné i laické veřejnosti prozatím diskreditují. Převládají pochybnosti o její trvanlivosti, požární odolnosti a obavy z přítomnosti nežádoucích organismů. Sláma má také punc materiálu vhodného pro experimentální nebo svépomocné stavění v nízkém obytném standardu. Na druhé straně se díky energetické krizi a celosvětovému úsilí o udržitelný vývoj společnost více otevírá možným alternativním přístupům.

02 TEORETICKÉ POZADÍ PROBLEMATIKY A SOUHRN LITERATURY

02_1 Exkurse ke kořenům současného slaměného stavitelství

Sláma není v novodobém stavitelství materiálem neznámým, historie staveb ze slaměných konstrukcí začala v 19. století v amerických prériích. Praxe využití balíku jako skladebného nosného elementu byla později využita k vytvoření několika technologických postupů, popsaných v literatuře, např. typ Nebraska, Gagné apod. [8]. V sedmdesátých letech minulého století se v zemích západní Evropy začaly zkoumat nové možnosti využití slámy, některé experimenty vedly k použitelnému typu technologie, které se v komunitě slaměných stavitelů používají. Představím jen krátce ty nejdůležitější:

Velká Británie – zde je dodnes nejvýraznější osobností slaměného stavitelství **Barbara Jones** [9], jejíž společnost **Amazonails** (nyní Straw Works) vyvinula systém nosného zdiva z maloformátových balíků o vysoké hustotě oboustranně omítanými čistě vápennou omítkou (vzhledem k vlhkému podnebí se používá vápno místo hlíny). Stěna z balíků kladených na vazbu musí být předepnuta mezi tuhými dřevěnými věnci pomocí závitových tyčí nebo propylenových pásků.

Zdokonalením tohoto postupu je možné realizovat dvoupodlažní stavby. Ke stavbě používají balíky malého formátu lisované na průměrnou hustotu 130 kg/m³. K aktivaci stěn používají také předepnutí pomocí stahovacích propylenových pásků

provléknutých otvory ve věncích. K vzájemnému provázání věnců a slaměné stěny používá i tento profesionální systém jednoduchých dřevěných bodců. Velký důraz je kladený na sdílení zkušeností a svépomocnou laickou výstavbu pod vedením profesionálního „trenéra“. Architektura jejich domů vychází z představ o archetypu obytného domu.

Švýcarsko – robustní, až 1m silné slaměné stěny z tzv. „jumbo bales“ používá švýcarský architekt **Werner Schmidt** [13] na svých pozoruhodných realizacích, mezi kterými nechybí ani třípodlažní stavby v horském prostředí. Prostorové řešení využívá princip popsany L. I. Khanem jako *Structure-plan*, v podstatě mizí klasické okenní otvory a stavba je dělena na masivní bloky zdí a volný prostor mezi nimi. Pružnost slaměných stěn je u těchto staveb enormní, třímetrová zeď jednoho podlaží se po vnesení stálého zatížení sníží až o 150 mm. To vyžaduje naprosté přehodnocení standardních postupů výstavby, navíc bez jeřábu se neobejde žádná stavba navržená touto technologií. Strohaus Fliri byl postaven jako alpský penzion s atelierem.

Stavbu o třech podlažích na čtvercovém půdoryse 12x12m s vnějším schodištěm zakončuje symetrická stanová střecha. Veprostřed každé stěny je velký prosvětlovací otvor, nárožní masivní stěny mají tvar rovnoramenného písmena L. Stropní konstrukce jsou uloženy celoplošně mezi jednotlivými etážemi slaměných stěn. S vestavbami příček a okenních výplní se začalo teprve po kompletním zatížení nosných stěn střechou, komprese měla hodnotu 150mm na patro. Níže je uveden příklad hybridní konstrukce, obvodová stěna je ve střední části doplněná stěnovým dřevěným skeletem, umožňujícím velkorysé prosklení na jih.

Rakousko – nejaktivnější země střední Evropy co do počtu projektantů, firem a uživatelů sympatizujících s tímto materiálem. Za všechny jmenujme projektovou kancelář **Georga Reinbergera**, nebo **Scheicher architekten** (tvůrci ikonického S-Hausu z roku 2005 [11]). Jelikož se v Rakousku klade velký důraz na energetickou úspornost domů (pasivní standard), používá se sláma pouze jako doplněk dřevěných stěnových nebo skeletových staveb a ve skladbách stěn se oboustranně zaklápí konstrukčními nebo tepelně izolačními deskami. Všechny tyto technologie jsou proto zahrnuty pod pojem **suchý rakouský způsob**. Výzkum a osvětu slaměných konstrukcí v Rakousku provádí **GrAT** [11] – středisko pro výzkum udržitelných technologií při Vídeňské universitě, nebo **ASBN** (Austrian Strawbale Network) [12], jehož hlavním představitelem je **Herbert Gruber** [7], autor monografie *Neues Bauen mit Stroh in Europa*, nejlepšího přehledu o současných stavbách a technologiích.

Obr. 6 Haus SIMMA (A), G. Bechter 2011 . V suché montáži podle rakouského způsobu se sláma projevuje pouze v tloušťce obvodové konstrukce, která by u dřevostavby s použitím jiné izolace byla zhruba o třetinu slabší. Tento fakt lze tvůrčím způsobem využít při návrhu okenních otvorů.

Německo – **Gernot Minke** [6], profesor z university v Kasselu je dlouholetým výzkumníkem v oboru konstrukcí ze slaměných balíků, kromě teorie je autorem mnoha půvabných experimentálních staveb interpretujících archaické formy a konstrukce, zejména různé typy kleneb a stěnových konstrukcí. Pro tento typ stavění se vžil pojem **mokrý německý způsob**, neboť balíky jsou oboustranně pokryty

hliněnou omítkou. Toto specifikum se objevuje i u dalších tvůrců a technologií, o kterých se zmíním dále.

V **České republice** působí několik tvůrců z řad autorizovaných architektů, kteří mají s navrhováním slaměných konstrukcí mnohaleté zkušenosti (**Petr Suske, Aleš Brotánek, Mojmír Hudec** [2]). Zajímavým fenoménem je **Jakub Wihan** [1], spolupracovník Barbary Jones, který u nás a na Slovensku navrhuje a vede svépomocné stavby z nosné slámy v duchu organizace Straw Works. Výzkumem fyzikálních vlastností slaměných konstrukcí se zabývají i zdejší university, nejvýraznější je činnost **Daniela Grmely** z VUT v Brně [10]. Popularizací a navrhováním domů s použitím slámy se zabývá skupina architektů ze sdružení EKODŮM. Z tohoto okruhu tvůrců vznikla publikace Stavby ze slaměných balíků [4] (hlavní autor **Jan Marton**).

02_2 Prefabrikace s použitím slaměných balíků

Používání volných balíků na stavbě ať už v nosných nebo hybridních systémech je vhodné zejména ve svépomocné výstavbě i když se mohou ojediněle objevit dodavatelé, kteří by na tento způsob výstavby přistoupili. Konstrukční systém nosné slámy, který se může jevit jako velmi ekonomický, vyžaduje precizní návrh i nadstandardně pečlivou realizaci, navíc přináší dispoziční a konstrukční omezení.

Pokud však jde o prefabrikované stěnové panely vyplněné slaměnými balíky, zde je situace odlišná. Jak vyplývá z výše uvedených západoevropských příkladů, mnozí dodavatelé dřevostaveb berou slámu jako možnou alternativní výplň do prefabrikovaných panelů, případně vyvinuli certifikovaný systém. Např. starší rakouský systém **Stroh-tech** (2000) pracoval s celostěnovými panely plněnými slaměnými balíky, jejichž tuhost zajišťovalo oboustranné protisměrné pobití prkny.

Rakouská firma **Kreativer Holzbau** připravuje stěnové panely se sloupky z I nosníků, na stavbu je převáží s vnější dřevovláknitou deskou. Teprve na stavbě dojde k doplnění balíků a jejich zaklopení OSB deskou z interieru, což minimalizuje riziko poškození vlhkostí.

Použití této technologie přináší sice efektivní využití slámy v konstrukci, na architektonickém výrazu domu ani v detailech není přítomnost tohoto materiálu nikterak patrná.

Certifikovanou, difúzně otevřeno u skladbu obvodových stěn pro pasivní domy vyvinula firma **Lopas** (A). Sláma se v ní vyskytuje ve formě foukané řezanky mezi svislé sloupky. [16]

Ještě jsem se nezmínil o frankofonní části Evropy, kde má používání slámy v konstrukcích také dlouhou tradici. Belgický projekt **Paille-Tech**[17] jde v prefabrikaci asi nejdále – na stavbu přiváží nosné stěnové panely již s vrstvou vnitřních hrubých hliněných omítek. Inženýrská kancelář **Olivera Gaujarda** z Avignonu[18] se již několik desetiletí zaměřuje na používání ekologických materiálů. Slámu běžně navrhuje do obvodových plášťů veřejných budov jako jsou školy, úřady, stavby pro kulturu. V těchto případech se slaměné balíky navrhují jako výplň do samonosných

fasádních panelů zavěšovaných na nosné skeletové konstrukce a výjimkou nejsou ani panely pro šikmé či horizontální kladení do střešních pláštěů.

I ve Velké Británii se sláma dostala do repertoáru velkých projektových kanceláří. Atelier **Make architects** v roce 2008 navrhl stavbu Gateway Building University of Nottingham. V této trojpodlažní administrativní budově je obvodový plášť vyskládaný z výrazně vertikální struktury dřevěných panelů, vyplněných slámou s exteriérovou vápennou omítkou.

Podobné řešení tentokrát nosných panelů si nechala patentovat společnost **MODCELL** z Bristolu. [19] Struktura panelu (obvodový rám z masivních lepených desek s výplní slaměných balíků) se odráží i ve vnější estetice staveb. Fasáda s bílými plochami vápenné omítky je dělena vodorovnými a svislými pásy dřevěného obkladu, který kryje nosné rámy panelů obvodových stěn a dřevěné masivní stropní desky. Britská firma se sídlem v Bristolu vyvinula a dva typy panelu plněného slaměnými balíky – jednodušší ModCell Traditional a ModCell Core+ určený pro energeticky pasivní domy. Princip řešení ModCell spočívá v rámu konstruovaném ze silných desek z lepeného masivního dřeva tl. 80 - 180 mm. Typický panel hloubky 480mm má modulovou šířku 1,2,3 m / 3,2 m výšky. Tuhost panelu zajišťují přeplátované rohy doplněné jednostranně plechovými zavětrovacími pásky s podporou slaměné výplně. Vnitřek rámu je vyskládaný slaměnými balíky kladenými na vazbu. Výrobce si tento systém nechal patentovat a certifikovat. Pro panel šířky 3m uvádí bezpečné svislé zatížení 22kN, v tomto systému byl postaveny i třípodlažní obytné domy (Cohousingové centrum LILAC v Leeds) . Zachytávání horizontálních sil bylo testováno zajímavým způsobem na vzorovém dvoupodlažním domku z Bath. Na stěnu působily v několika bodech hydraulické lisy celkovou silou čtyř tun, maximální odchylka od svislé polohy činila 4 mm.

Estetika tohoto systému pracuje s pohledovým uplatněním dřevěných rámuů v kontrastu s čistě vápennou omítkou na slaměných výplních. Boční strany konstrukčních rámuů jsou zvenčí opatřeny dřevěným obkladem. Architektonický výraz těchto staveb připomíná spíše skládanku z prostorových buněk (kontejnery).

02_3 Modulové dílce a výrobky z lisované slámy

Modulové dílce a lisované desky jsou universální stavební komponenty, které lze bez problému zabudovat do běžných staveb tak, aby se využilo jejich vyjímečných vlastností. Ty je předurčují pro širší využití v “udržitelné” výstavbě.

Unikátní systém modulových stěnových dílců vyvinula litevská firma **Ecococon**. [20] Stěnové panely v modulu 1,2 m jsou plněny rozvolněnou slámou, která má po všech stranách panelu stejnoměrnou strukturu a rovinnost. Výhodou je možnost aplikace tenkovrstvé vnitřní omítky přímo na panel a to i pro pasivní domy, kde je vyžadována vysoká míra vzduchotěsnosti, kterou zajišťují vrstvy ve vnějších doplňkových vrstvách certifikované skladby.

V konstrukcích lze také použít desky ze slámy lisované na vysokou objemovou hmotnost 400 kg/m³ a více. U nás méně známe desky **ECO-BOARDS** jsou sortimentem i vlastnostmi srovnatelné se dřevoštěpkovými nebo dřevotřískovými deskami.

Zajímavým, ale zdá se že ojedinělým pokusem je švýcarský nosný panel z lisované slámy známý pod názvem **Stropoly**. Dům v Eschenz je koncipován jako stěnový jednotrakt s nosným obvodovým pláštěm sestaveným z panelů Stropoly. Podlahový panel byl uložen na železobetonových pasech vnesených na pilotách, uprostřed dispozice se nachází ztužující železobetonové jádro. Povrch slaměných desek je chráněn polykarbonátovým obkladem s provětrávanou mezerou. Tato technologie se zatím nedočkala širšího komerčního využití, patrně se jednalo o experimentální počín s dotační podporou.

Desky **EKOPANELY** [21] od českého výrobce (dříve známé pod názvem **STRAMIT**) jsou poměrně rozšířeným materiálem v oblasti vnitřních nenosných konstrukcí. Jejich použití je limitováno tím, že se nejedná o konstrukční desky. Výborná je naopak vzduchová neprůzvučnost příček z dvojitého panelu.

02_4 Izolace z foukané slámy

Zajímavá je i možnost použití řezané slámy ukládané do dutin konstrukce obdobně jako je tomu např. u vloček z celulozy. Dříve už jsem zmínil tuto možnost použití u rakouského systému **LOPAS** [16], ten však svoji technologii chrání a bližší údaje neposkytuje. Technologie výroby a ukládání je u nás prozatím ve vývoji. Čistá rozvolněná drť ze slámy totiž při aplikaci do konstrukce dosahuje objemové hmotnosti 100 kg/m³, čímž se tepelně izolační vlastnosti blíží běžnému slaměnému balíku a přínos této inovace je pro praktické použití diskutabilní. Testují se proto i její kombinace s celulózou. Výzkum probíhá např. na stavební fakultě VŠB (Labudek a kolektiv, 2013 [5]), ve spolupráci s firmou CIUR.

Shrnutí problematiky

V současnosti lze bez zvláštního rizika navrhnout a realizovat stavbu s použitím slámy. Při návrhu se slaměnými balíky si musí být projektant vědom specifických vlastností materiálu a znát podmínky a úskalí realizace. Při použití profesionálních výrobků probíhá návrh, projednávání s úřady i realizace standardní cestou.

Stavebníci, kteří mají zájem stavět dodavatelsky, mají dnes možnost vybrat si z několika certifikovaných produktů (např. Ekopanely, Ecoboards, Ecococon, ModCell, Lopas, Stroh-tec). Zatím se ale nejedná o neekonomičtější technická řešení, jak by se u zpracovaného odpadního zemědělského produktu mohlo zdát. Rostoucí zájem společnosti o přírodní materiály však povzbuzuje primární i aplikovaný výzkum na několika středoevropských univerzitách i v komerční sféře.

Sláma je dnes poměrně dobře prozkoumaným a otestovaným materiálem. Jeho unikátní environmentální charakteristiky a dostupnost z něj činí atraktivní materiál pro tzv. trvale udržitelnou architekturu. Evropská i česká stavební legislativa použití tohoto materiálu v určitém segmentu umožňuje. Při dnešním stavu znalostí o tomto materiálu je možné postavit i energeticky pasivní dům s významným podílem slámy v konstrukcích staveb. Zájem o tento materiál by mohla v blízké budoucnosti zvýšit i uhlíková daň, penalizující výrobky s vysokou uhlíkovou stopou. Nejdůležitějším faktorem úspěchu ale bude nakonec zájem stavebníků.

Z výše uvedeného přehledu vyplývá, že existuje množství technologií, jak se slámou navrhovat a bezpečně realizovat stavby. Přínosem DP bude zjištění, které z těchto technologií se mohou bez problémů rozšířit jako běžně užívaný stavební prvek, pro architekty a dodavatele pochopitelný a dostupný a obhajitelný v rámci procesu umístování a povolování stavby. Zajímavé bude i zhodnocení vlivu slaměných konstrukcí na architektonický výraz stavby.

Pozn: Podrobnější rešerše a citace literatury a pramenů jsou v dílčích výstupech v příloze, již užité v souvislostech podle tématu jednotlivých statí.

02_5 Seznam literatury a odkazy

- [1] WIHAN, J. Nosná sláma a CO₂ neutrální dům. *Materiály pro stavbu*. 2007, Nr. 3, pp. 32-35
- [2] HUDEC, M. & JOHANISOVÁ, B. & MANSBART, T. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. 1st ed. Praha: Grada Publishing, a.s. 2013, 157 pp. ISBN 978-80-247-4243-4
- [3] CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*. 1st ed. Praha: Grada Publishing, 2009. 268 pp. ISBN 978-80-247-2532-1
- [4] MARTON, J. *Stavby ze slaměných balíků*. 1st ed. Liberec, 2010, 204 pp. ISBN 978-80-254-6610-0
- [5] LABUDEK, J. & TESLÍK, J. & VODIČKOVÁ, M. & WALDSTEIN, P. *Heat Insulating Parametres of Cellulose-straw Insulation*, 2013 International Science and Environmental Engineering
- [6] MINKE, G. & MAHLKE, F. *Stavby ze slámy*. 1st ed. Ostrava, 2009, nakladatelství HEL, 144 pp. ISBN 978 – 80-86167-31-2
- [7] GRUBER, H. , GRUBER, A., SANTLER, H. *Neues Bauen mit Stroh*. 3rd ed. Freiburg: ökobuch Verlag, 2012, 109 pp. ISBN 978-3-936896-35-0
- [8] PFEIFEROVÁ, Magda, SRDEČNÝ, Karel, ŠIMEK, Miroslav. (2001) *Slaměný dům*. České Budějovice: ROSA o. p. s. 70 s. ISBN 80-238-6834-9.
- [9] JONES, B. (2001) Information guide to strawbale building, www.strawbalefutures.org.uk, <http://www.strawworks.co.uk>
- [10] GRMELA, D. *Tepelně technické navrhování a posuzování slaměných konstrukcí – šíření tepla a vlhkosti , pojednání k disertační práci*, VUT Brno, 2014
- [11] GrAT <http://www.grat.at> , <http://www.s-house.at>
- [12] ASBN, Austrian strawbale network, <http://www.baubiologie.at>
- [13] Atelier Werner Schmidt, www.atelierwernerschmidt.ch
- [14] FASBA, Fachverband Strohhallenbau Deutschland, www.fasba.de
- [15] Kreativer Holzbau <http://www.kreativerholzbau.at>
- [16] LOPAS , <http://www.lopas.at>
- [17] Paille-tech , <http://www.pailletech.be>
- [18] GAUJARD, O. www.bet-gaujard.com

- [19] MODCELL, www.modcell.com
- [20] ECOCOCON, www.ecococon.lt
- [21] EKOPANELY, www.ekoapanely.cz
- [22] ECO-BOARDS, www.eco-boards.eu
- [23] DOMA architekti www.doma-architekti.cz
- [24] TZB info <http://www.tzb-info.cz/3233-slamene-desky-ve-stavebnictvi>

03 DEFINICE PROBLÉMU ŘEŠENÉHO V DISERTAČNÍ PRÁCI A CÍLE PD

Počáteční fáze doktorského studia nastolila tyto základní otázky:

Proč je žádoucí používat ve stavebnictví slámu?

Co je zapotřebí, aby se mohla stát sláma běžněji užívaným materiálem?

Odpovědi na tyto dvě otázky byly poprvé zformulovány v příspěvku na konferenci Architektura v perspektivě 2013 (v příloze). Následovala rešerše prací, zabývajících se vlastnostmi tohoto materiálu a formami jeho použití. V prvních letech studia jsem předpokládal hranici mezi „amatérskou“ a široce profesionálně použitelnou formou slámy právě v onom balíku. Několik příkladů z posledního období (technologie Modcell, Gaujardscop a nakonec i Kreativer Holzbau) mne přesvědčilo o tom, že ani slaměný balík nemohu ze svého záběru předem vyloučit. Pro hlavní a závěrečnou fázi byl výzkumný problém definován následujícími otázkami:

Které ze známých technologií s použitím slámy se mohou bez problémů rozšířit v ČR jako běžně užívaný způsob pochopitelný pro architekta, dostupný pro dodavatele a atraktivní pro stavebníka ?

Jaké unikátní vlastnosti a možnosti nabízí sláma současné architektuře?

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

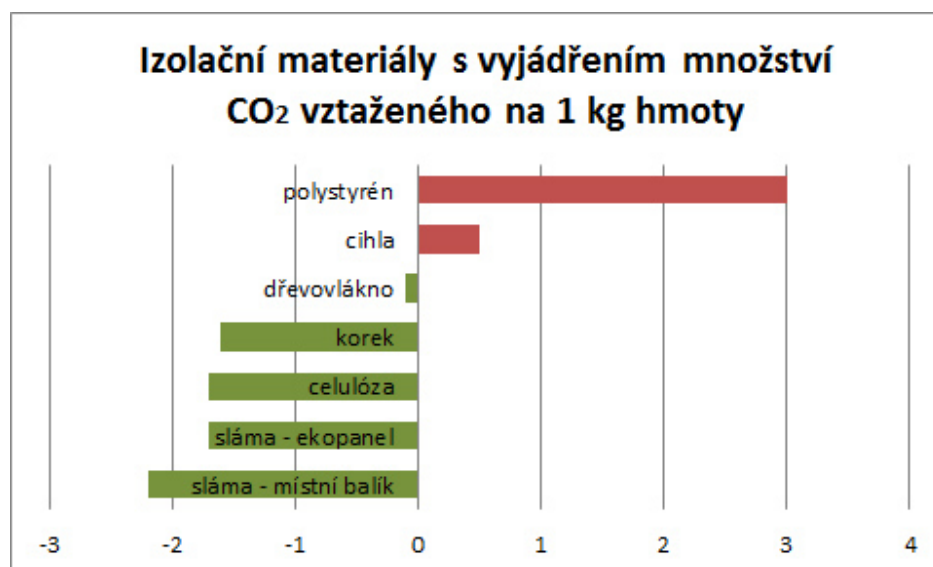
- 1) Nalézt a zdokumentovat bezpečné a jednoduché použití slaměných komponent a technologií. Takových, které budou vhodné k profesionálnímu použití v ČR.
- 2) Zhodnotit přednosti i omezení použití slaměných komponentů a technologií.
- 3) Popsat vliv použití jednotlivých „forem“ slámy na architektonický výraz domu.
- 4) Připravit základní studijní podklady pro studenty na FA ČVUT.

04 VLASTNOSTI MATERIÁLU

Sláma je ve své podstatě odpadní zemědělský produkt, kterého u nás na polích každoročně zbývá přibližně dva milióny tun. Pokud sklizeň proběhne za příznivých povětrnostních podmínek a je dodrženo několik jednoduchých pravidel, získáme množství již hotového přírodního izolantu, který lze za určitých podmínek použít i jako materiál konstrukční.

04_1 Vliv na životní prostředí

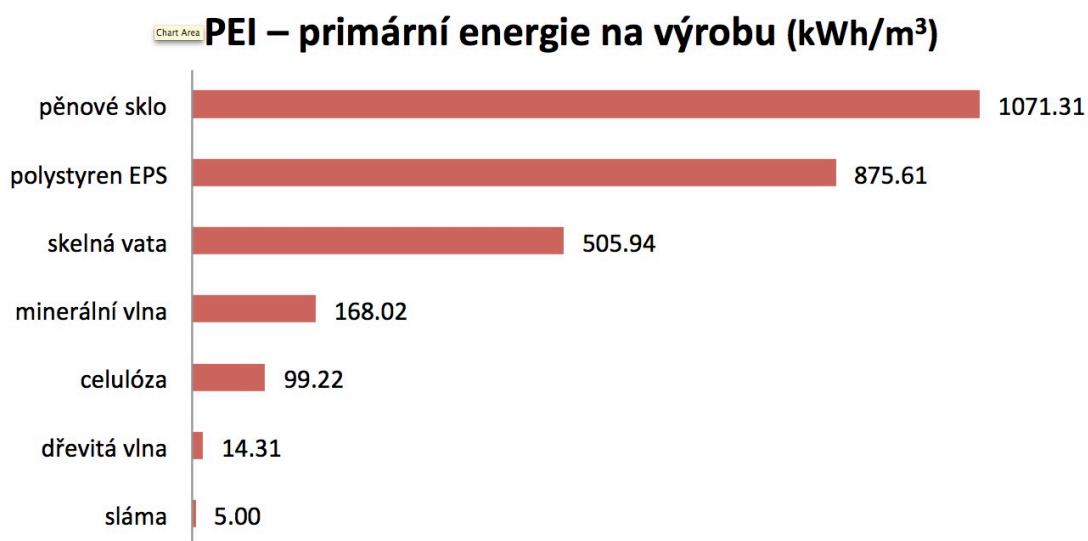
Sláma je široce dostupný přírodní materiál, který užívaly bez dalších úprav generace našich předků při výstavbě svých obydlí. Ve srovnání s moderními stavebními materiály je její „životní cyklus“ energeticky nenáročný a přirozený. Chceme-li se podívat na slaměný balík z hlediska jeho uhlíkové stopy, bilance emisí skleníkového plynu oxidu uhličitého je u slámy negativní. To znamená, že během jejího vzniku je do biomasy zabudováno více oxidu uhličitého, než se poté vyprodukuje při její úpravě a zabudování do konstrukcí. (Wihan 2007) Graf na obrázku 1 ilustruje výjimečnou pozici slámy v porovnání s ostatními vybranými izolačními materiály.



(Obr. 1: Stavební materiály s vyjádřením množství kg CO₂ vztáženého na 1 kg hmoty)

Z výše uvedeného vyplývá, že sláma potřebuje velmi malé množství primární energie¹ k tomu aby se stala stavebním izolantem: *Dosahuje pouhých 14 MJ/m³. Například primární energie potřebná pro zpracování tepelné izolace z minerálních vláken činí 1077 MJ/m³, což je 77 krát více. Omezená potřeba primární energie PEI slámy ovlivňuje energetickou náročnost celé stavební konstrukce.* (Chybík 2009). Graf na obrázku 2 srovnává primární energii na výrobu izolačních materiálů v kWh, přepočítané na m³.

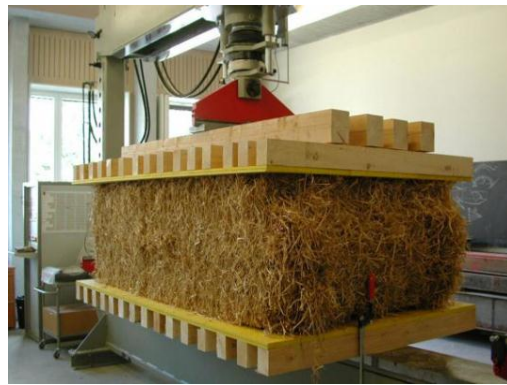
¹ Jedná se o energii, která je nutná k získání prvotní suroviny, její dopravě a k výrobě materiálu, dále k montáži a demontáži, recyklaci, případně likvidaci materiálu. Množství šedé energie ve stavebních materiálech vyjadřujeme pomocí svázané primární energie PEI (*primary energy input*) v MJ/kg, případně MJ/m³.



(Obr. 2: Primární energie na výrobu vybraných izolačních materiálů (Zdroj: Hudec, Johanisová, Mansbart 2013)

04_2 Stavebně – fyzikální parametry

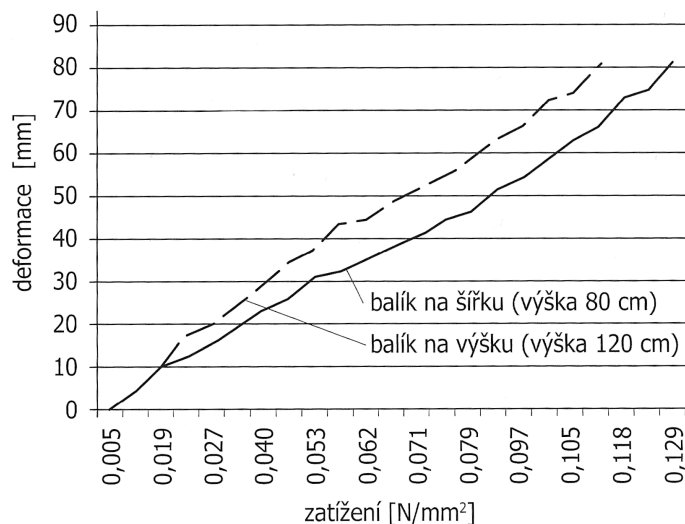
Stonky obilnin (pšenice, žito, ječmen) získané při sklizni jsou tuhá dutá stébla o průměru 2 – 4 mm a o délce 60 – 90 mm v závislosti na druhu a odrůdě. Skládají se z celulózy, ligninu a oxidu křemičitého. Při mechanickém zpracování se zbaví kořenového systému a klasu a zemědělské lisy je formují do hranatých nebo válcových balíků při jednotné orientaci uložení stébel a stálém tlaku. Tím, že se dutá vlákna tlakem deformují, mají však tvarovou paměť. Stlačený svazek stébel, zajištěný po obvodu tahem namáhanými provázky nebo sítí je připraven přenášet zatížení tlakem. Tvarová stálost a pružnost je zapříčiněna tímto vneseným předpětím v každém skladebném prvku. Do balíků se sláma lisuje na objemovou hmotnost 80 – 130 kg/m³. Slaměné balíky pro ruční manipulaci mohou mít různou velikost závislou na typu lisu. U nás je nejdostupnější malý formát balíků o přibližném rozměru 30 x 50 x 65 cm, který váží kolem 10 kilogramů. Poslední dobou začínají být v zemědělství balíky velkých formátů (tzv. „jumbo bales“) o přibližném rozměru 0,7x 1,0 x 2,0 m , které váží kolem 230 kg . Manipulovat s ním lze pouze za pomoci těžké mechanizace. Válcové balíky se nepoužívají přímo ke stavbě. Vzhledem k jejich četnosti jde o jakési zásobníky, z nichž se musí sláma přelísovat do jiné formy. Spolu s velkými „jumbo bales“ tyto balíky používají výrobci slaměných stavebních komponent jako výchozí zdroj suroviny.



Obr. 1 Manipulace a zkouška pevnosti v tlaku velkoformátových balíků (Universita v Churu)

Slaměné balíky prošly testováním na únosnost a deformaci v několika výzkumných centrech, výsledky mají ale značný rozptyl v závislosti na vlastnostech vzorku. Universita v Churu (CH) provedla zatěžovací zkoušky velkoformátových balíků. Výsledkem bylo zjištění, že slaměné balíky odolávají zatížení až $f = 0,15$ MPa, to je ovšem doprovázeno vysokou deformací (Chybík 2009). University v Trieru (D) testovala velké balíky o objemové hmotnosti 130 kg/m^3 . Z níže uvedeného grafu vyplývá, že deformace balíku vzhledem k jejich zatížení roste lineárně. Při zatížení $0,02$ MPa došlo k deformaci o $1,25\%$.

Při zatížení o hodnotě $0,071$ MPa byla deformace již 5% . Znamená to tedy, že by při tomto zatížení klesla výška běžného 3m vysokého podlaží o 15 cm. Deformace slaměných balíků jsou elastické, po odlehčení nabývají balíky téměř svou původní formu. Modul pružnosti se uvádí okolo 150 MPa. (Minke 2009). Teoreticky tedy není problém zapojit stěny ze slaměných balíků do přenosu sil ze svislého zatížení, otázkou zůstává stabilita stěny na vztlak a celková tuhost konstrukce proto horizontálním silám.



Tab.1 Deformace zatížení velkých balíků dle UAS Trier (Minke 2009)

Deformace slaměných balíků jsou elastické, po odlehčení nabývají balíky téměř svou původní formu. Modul pružnosti se uvádí okolo 150 MPa (Minke 2009). Teoreticky tedy není problém zapojit stěny ze slaměných balíků do přenosu sil ze svislého

zatížení, otázkou zůstává stabilita stěny na vztlak a celková tuhost konstrukce proto horizontálními silami.

Tepelně - technické vlastnosti

Podstatou izolačních vlastností slámy je dvojitý systém vzduchových komor: primární dutiny ve stéblech a mikro-komůrky v obvodových stěnách dutin. I když tento přírodní princip není vlivem nestejně rozložených stébel v balíku schopen vytvořit spojitou vrstvu jako uměle produkované izolanty, tepelně izolační vlastnosti dosahují přibližně hodnot dřevovláknitých desek. Součinitel tepelné vodivosti λ se pohybuje v rozmezí 0,045 – 0,068 W/mK, což závisí na objemové hmotnosti (90 – 150 kg/m³) a absolutní vlhkosti materiálu. (Chybík 2009). Pokud není sláma v konstrukci vystavena přímému zatékání, nebo dlouhodobě v prostředí s vyšší relativní vlhkostí než 80%, pohybuje se přirozená úroveň absolutní vlhkosti materiálu v intervalu $w = (5-15\%)$. Sláma je velmi dobrým přirozeným transportérem vodní páry, faktor difúzního odporu μ se rovná přibližně hodnotě 2.

Z dlouhodobých zkušeností vyplývá, že sláma, v kombinaci s vnitřní hliněnou omítkou vytváří v interiéru přirozený regulátor vzdušné vlhkosti. Vhodné je užití slámy v difúzně otevřené skladbě obálky budovy, kdy dochází k bezpečnému transportu vodních par z interiéru do exteriéru, aniž by docházelo k degradaci konstrukce.

Požární odolnost

I když to odporuje zažitým představám, nepředstavují slaměné konstrukce ve stavbě vážné požární riziko. *Pokud slámu slisujeme do kompaktního bloku, sníží se i množství kyslíku, který podporuje hoření. Proto balíky, ať už volné nebo zabudované, pouze doutnají* (Marton 2010). Sláma se v konstrukcích vyskytuje zpravidla chráněná dalšími vrstvami, na požární odolnost proto musí být posouzena celá skladba. Některé evropské země již mají tento materiál uvedený v normách. Např. rakouská Önorm 3800 uvádí pro slaměný balík třídu hořlavosti B2, normální hořlavost, třídu reakce na oheň E. U slaměné stěny oboustranně omítnuté 20mm vápenné omítky se uvádí odolnost F 90. V rámci projektu č. 122 142 0507 Fsv ČVUT byla v červnu roku 2011 v požární zkušebně PAVÚS vyzkoušena konstrukční stěna z nosné slámy. Balíky byly z exteriéru omítnuty vápennou a z interiéru hliněnou omítkou, po celou dobu testu byla stěna pod statickým zatížením. Zkouška byla ukončena po 146 minutách a získala atest F 120. Na základě těchto skutečností lze slaměné konstrukce obhájit v požárně bezpečnostním řešení stavební dokumentace. Více v kapitole 04_4.

Pozitivní vliv na teplotní stabilitu dřevostavby

Měření vlivu desek EKOPANEL na tepelnou stabilitu dřevostaveb bylo provedeno v rámci výzkumného záměru MSM 0021630511 odborníky z fakulty stavební VUT v Brně, publikováno 24. 4. 2006 na TZB info (Šťastník S. A kolektiv 2006 [24]) : *„Výsledky měření na objektu z konstrukce využívající slaměných panelů potvrzují dobré užitné vlastnosti stavby vzhledem k schopnosti vytváření příznivého vnitřního mikroklimatu pro obyvatele domu. Přitom z hlediska ostatních vlastností, které se*

uplatní na vytváření dobrých vnitřní mikroklima v objektu, se jedná zejména o příznivé tepelně izolační poměry a dobrou tepelně akumulaci schopnost domu.”

Akustické parametry

Dělicí nebo obvodové slaměné konstrukce se vyznačují velmi dobrými akustickými vlastnostmi. Příčinou je kombinace vyšší objemová hmotnost při zachování pružnosti a vnitřní struktury materiálu. Např. U příčky z Ekopanelu o tloušťce 120 mm uvádí výrobce $R_w = 45$ dB. Slaměný stěnový panel o objemové hmotnosti 100 kg/m^3 a tloušťce 400mm má atest na vzduchovou neprůzvučnost o hodnotě $R_w = 54$ dB (Zdroj: Ekopanely, Ecococon)

04_3 Technologie použití slámy

Slaměný balík

V Česku se nejvíce používá sláma ve formě balíků. Ty mohou mít různou velikost závislou na typu lisu. U nás je nejdostupnější malý formát balíků o přibližném rozměru 30 x 50 x 65 cm, který váží kolem 10 kilogramů. Tyto balíky lze bez větších úprav použít jako výplně dřevěných skeletových stěn, případně jako vnější zateplení tenkých zděných konstrukcí. Nosné stěnové systémy inspirované historickými příklady ze Spojených států se v Evropě vyvíjí zejména ve Velké Británii.

Výhodou balíků je jejich nízká cena, jejich dostupnost a kvalita je ale proměnlivá. Vše závisí na místních podmínkách, počasí při sklizni i na technickém stavu lisovacího zařízení. Dále je potřeba objemný materiál bezpečně uskladnit a chránit před přímou vlhkostí a to až do momentu zabudování a zaklopení v konstrukci.

Prefabrikace

Jedním ze způsobů, jak bezpečněji a efektivněji pracovat s balíky je příprava individuálních elementů stavby v prostředí montážní haly – tedy prefabrikace stěnových panelů. V této podobě se již jedná o produkty přesných rozměrů a relativně stejnoměrných fyzikálních vlastností. Tento stavební postup je mnohem méně závislý na počasí, které hraje roli pouze v krátkém momentu montáže. Vzhledem ke hmotnosti prvků je k montáži vždy potřeba těžká zvedací technika. V Evropě se slámě nejvíce věnují patrně nejvíce v Rakousku, kde dominuje tzv. suchý rakouský způsob, tedy oboustranné zaklopení slaměných balíků deskovým materiálem bez vlhkých procesů. Stěnové panely jsou dimenzovány na hloubku balíku, na stavbu se přivezou bez izolace, pouze s vnější dřevovláknitou deskou. Balíky jsou po dokončení střechy vkládány ze strany interiéru a poté se zaklopí vnitřní parobrzdnou konstrukční deskou. Společným rysem obou těchto způsobů je to, že rozměr balíku determinuje návrh nosných konstrukcí.

Modulový dílec

Zajímavým řešením je systém modulových stěnových dílců tl. 400 mm. Nejedná se již o balíky, sláma je do dřevěných rámců lisována rozvolněná, na povrchu seříznutá do

roviny. Kvalita povrchu a stejnoměrnost materiálu je tudíž výrazně vyšší než při použití balíků. Slaměná stébla se při lisování do panelu ukládají ve všesměrné orientaci při zachování objemové hmotnosti 100 kg/m^3 . Tato hodnota je již natolik vysoká, že nedochází k sedání slámy, prvek je mírně předepjatý. Propojením krajních trámů sousedních dílců vzniká de facto těžký dřevěný skelet s dvojicemi nosných sloupů. Dílce se vyrábějí v základní modulové šířce 1,2 m a max. výšce 3 m, individuálně lze vyrobit nadpraží, parapety či sloupy. Výhodou dílců je možnost ruční manipulace a snadná a rychlá montáž. Stěna se při výstavbě provizorně chrání polyetylenovou folií do doby, než bude dokončena střecha a venkovní povrchová úprava stěn. Dílce získaly evropské certifikáty na požární odolnost, akustický útlum, součinitel prostupu tepla a povrchovou pevnost. Systém má i certifikovanou skladbu pro pasivní domy s použitím interierové hliněné omítky přímo na slaměný povrch. Stěna při použití exteriérové dřevovláknité desky tl. 100mm dosahuje součinitele prostupu tepla $U = 0,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.



(Obr.4: Rychlá montáž stěn z modulových dílců)

Deskový materiál

Z profesionálních produktů jsou na našem trhu dobře zavedeny desky ze silně slisované slámy, dříve známé pod názvem Stramit. Jde o 60 mm silnou desku z lisované slámy o šířce 0,8 m a délkách od 1,2 do 3,2 m opatřenou na povrchu recyklovaným papírem. Nedávno byl vivynut i tenší panel o tloušťce 40 mm. Užití těchto desek je vhodné především na samonosné vnitřní konstrukce, kde vyniká zejména vysokými hodnotami akustického útlumu, nebo k opláštění těžkých skeletových obvodových konstrukcí. Vlivem velké objemové hmotnosti (380 kg/m^3)

jej bohužel nelze použít jako hlavní tepelně izolační vrstvu obálky budovy a ani jako konstrukční desku při zavětrování lehkých dřevěných skeletů.

Drcená sláma jako foukaná izolace

Zajímavá je i možnost použití řezané slámy ukládané do dutin konstrukce obdobně jako je tomu např. u celulózy z recyklovaného papíru. Technologie výroby a ukládání je u nás prozatím ve vývoji. Čistá rozvolněná drť ze slámy totiž při aplikaci do konstrukce dosahuje objemové hmotnosti 100 kg/m³, čímž se tepelně izolační vlastnosti blíží běžnému slaměnému balíku a přínos této inovace je pro praktické použití diskutabilní. Výzkum na stavební fakultě VŠB (Labudek a kolektiv, 2013) zkoumá vlastnosti směsi slámy a celulózy, která při poměru 50/50 vykazuje průměrnou objemovou hmotnost 67 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,0386$ W/(m.K).

	VOLNÝ BALÍK	PREFABRIKOVANÝ PANEL	MODULOVÝ DÍLEC	LISOVANÁ DESKA
určení	svépomocná výstavba	montáž výrobcem	profesionální montáž	profesionální montáž
objemová hmotnost	90 - 150 kg/m ³	90 -120 kg/m ³	100 kg/m ³	380 kg/m ³
dostupnost	sezónní	na zakázku	skladem/ na zakázku	skladem
použití	exteriérové zateplení výplně vodorovných k-cí výplně stěnových k-cí samonosné stěny	stěnové panely stropní panely podlahové panely	nosné obvodové stěny	samonosné příčky opláštění skeletu obložení podkrovní
manipulace	ruční	jeřábem	ruční/jeřábem	ruční
rychlost montáže	nízká	vysoká	vysoká	střední
přesnost prvku	nízká	vysoká	vysoká	vysoká
certifikáty	ne	ano	ano	ano

04_4 Soulad se současnou stavební legislativou

Soulad s požárními předpisy

Nejčastějším objektem s použitím slámy jsou drobné doplňkové stavby na pozemcích rodinných domů nebo rodinné domy do 150 m². Podle stavebního zákona č. 183 /2006 Sb. a jeho prováděcích vyhlášek je tyto stavby možné povolit na ohlášení, není třeba žádat o stanovisko místně příslušný hasičský záchranný sbor. V požárně bezpečnostním řešení se tak lze odvolat na provedenou požární zkoušku č. č. 122 142 0507 z požární zkušebny PAVÚS.

Výrobci slaměných komponentů si již protokoly o klasifikaci reakce na oheň zajistili a požární technik má tedy v ruce nástroj pro přesnější návrh. EKOPANELY CZ s.r.o. mají atestovaný obkladový panel tl. 60 mm. Podle ČSN EN 13501-1+A1:2010 stanovilo

Centrum stavebního inženýrství a.s. reakci Ekopanelu VP01 na oheň ve třídě E, požární odolnost stěny s obkladem z interieru je REI 45 PD3.

Firma ECOCOCON Ltd nechala testovat svůj panel pokrytý z interieru 30mm silnou hliněnou omítkou na reakci na oheň podle normy LST EN 13501-1:2007+A1:2010. Test č. 20-2.2013.24 stanovil třídu reakce na oheň ze strany interieru na **B-s1, d0**. Dalším testem č. 20-1.2013.24 stanovili reakci na oheň ze strany exterieru, kdy byl panel opláštěný 60 mm dřevovláknitou deskou STEICO protect s povrchovou úpravou tenkovrstvým omítkovým systémem BAUMIT. Reakce byla klasifikována rovněž do třídy **B-s1, d0**.

05 PŘÍPADOVÉ STUDIE

Výběr případových studií realizovaných rodinných domů byl inspirován vlastní praxí a realizacemi kolegů z ČR a SR z období posledních pěti let . Do výběru se dostaly čtyři domy, každý s jinou technologií využití slámy v konstrukci samotného domu.

05_1

KRITÉRIA VÝBĚRU

- rodinné domy realizované dodavatelsky
- velikost čisté užitkové plochy do 130 m²
- výrazné použití slaměných komponentů v konstrukci
- kvalitní návrh i provedení stavby
- každý dům reprezentuje jinou technologii užití slámy

POTŘEBNÉ INFORMACE

- základní technické údaje
- stavební projekt
- fotodokumentace z realizace stavby
- orientační ekonomické ukazatele
- zpětná vazba od projektanta i realizační firmy

05_2 Studie rodinných domů

V následující části jsou uvedeny referenční domy případových studií. U každé realizace je kromě základních údajů přiložena fotodokumentace z realizace a dostupné detaily s důrazem na zapojení slaměných komponent do stavby samotné. Pro názornost je u každého domu přiložené schema půdorysu a řezu s důrazem na skladbu konstrukcí jejich materiálovou podstatu.



Objekt A.	EPD LIPTOVSKÁ KOKAVA
generální projektant	CREATERRA (Sk)
autor	Kierulfová Z., Kierulf B., Trokanová P.
datum zpracování DSP	květen 2013
realizace	Dodavatesky - Createrra
datum realizace	2013
celkové náklady	4, 5 mil. Kč

zastavěná plocha	102 m ²
čistá podlažní plocha	120 m ²
potřeba tepla na vytápění	13,6 kWh/m ² a
blower door test	n ₅₀ = 0,3 (1/h)



základy	betonové patky / pas
základový rošt	průvlaky LLD / rošt Steico Joist
stěnová konstrukce	panely Ecococon
střecha	sbíjené vazníkové krokve
vnitřní nosné k- ce	KVH profily, CLT deska 120
příčky a předstěny	CLT desky 60, 80

Slovenský příklad energeticky pasivního domu představuje dobře zvládnutý návrh a realizaci domu pomocí stěn v systému Ecococon. Zároveň je důkazem, že slaměná stěna s hliněnými interiérovými omítkami může fungovat i v drsných klimatických podmínkách. Neprůvzdušnost obálky stanovil blower door test na výbornou hodnotu $n_{50} = 0,3$ (1/h). Stavba byla realizována na klíč.



Objekt B.	RD NOVÝ PŘEROV
Generální projektant	Atelier MONOBLOK
autor	Horáková K.
datum zpracování DSP	2016
realizace	EKOPANELY s.r.o.
datum realizace	2017
celkové náklady	-
zastavěná plocha	69 m ²
čistá podlažní plocha	103 m ²

Příklad stavby s masivním použitím slámokartonových desek Ekopanely na obvodové stěny, příčky i zaklopení šikmých částí pultové střechy . Z exteriéru je obálka doplněna difúzně otavřenou deskou Pavatex. Oba tyto materiály nejsou konstrukční deskou, fošinkový skelet bylo proto třeba zavětrovat vnitřními vzpěrami. Ekopanely nemají perodrážku, spoje jsou tedy prolepeny PU lepidlem a povrch zpěvněn celoplošně lepidlem s výztužnou sítí. Realizace byla cele v režii firmy Ekopanely, nepodařilo se získat informaci o výši investice do celkové stavby.

základy	betonový pas + patky, podkl. deska
zakládací vrstva	Impregnovaný hranol
konstrukce obvod. stěn	fošínkový skelet
střecha	vaznicový krov
vnitřní nosné k- ce	těžký skelet z masivních profilů
příčky a předstěny	Ekopanel
Izolace stěn, střechy	Naturizol / Ekopanel





Objekt C.	EPD HOLICE
Generální projektant	NATURE SYSTEMS
autor	Márton J. , Příbylová J.
datum zpracování DSP	2016
realizace	Novatop + svépomoc
datum realizace	2017-18
celkové náklady	4,2 mil. Kč
zastavěná plocha	110 m ²
čistá podlažní plocha	130 m ²
potřeba tepla na vytápění	15,0 kWh/m ² a
Blower door test	n ⁵⁰ = 0,4 (1/h)

základy	ŽB deska na pěnoskle Rerfaglass
zakládací vrstva balíků	XPS
konstrukce obvod. stěn	panely Novatop
střecha	Steico joist, foukaná izolace
vnitřní nosné k-ce	panely Novatop tl. 80 mm
k- ce stropu	masivní trámy + deska Novatop
Izolace stěn	slaměný balík



Rodinný dům z Holic je příkladem kombinované techniky výstavby, Kdy nosnou konstrukci z Novatop panelů a montáž oken provedla tesařská firma. Bolwerdoor test o hodnotě $n_{50} = 0,4$ (1/h) potvrdil kvalitní provedení a opláštění a vnitřní dokončovací práce provedl svépomocně stavebník. Slaměné balíky byly po montáži k plášti pokryty vrstvou hliněné omítky (protipožární a závětrná funkce), plášť bude zhotoven z předem opálených modřínových prken. Dům dosahuje pasivního standardu i tím, že část pláště obsahuje dvojitou vrstvu balíků, čímž dosahuje stěna celkové tloušťky 870 mm.



Objekt D.	RD SÝKOŘICE
projekt stavební části	Grmela D.
autor	ENDEMIT Johanisová B., Johanis V.
datum zpracování DSP	březen 2013
realizace	tesařství Sláma / svépomoc
datum realizace	2014
celkové náklady	2,2 mil. Kč
zastavěná plocha	91 m ²
čistá podlažní plocha	120 m ²

základy	betonový pas + patky, podkl. deska
zakládací vrstva	tvarovky Ytong P4 -500
Konstrukce obvod. stěn	fošínkový skelet
střecha	plné trojúhelníkové vazby
vnitřní nosné k- ce	těžký skelet z masivních profilů
příčky a předstěny	CP / hliněný cob na dřevěném roštu
Izolace stěn, střechy	slaměný maloformátový balík



Rodinný dům v Sýkořici je navržen pro stavebníky s mimořádným odhodláním žít v přírodě, obklopeni rozlehlou permakulturní zahradou a zvířectvem. Je postaven svépomocí jako dřevostavba s izolací ze slaměných balíků. Balíky jsou oboustranně omítnuty hliněnou omítkou, na části fasády navíc kryté dřevěným obkladem. Stavba je navržena tak, aby mj. splnila kritéria pro výstavbu v CKHKO Křivoklátsko. Jednoduchý obdélný tvar domu má šikmou sedlovou střechu s asymetrickým přesahem vytvářejícím na jižní straně kryté zápraží. Přesah stačí na to, aby v létě nedocházelo k nežádoucímu přehřívání interiéru, ale aby se v zimě slunce dostalo dovnitř. Dům funguje až na elektřinu nezávisle: voda je ze studny, odpadní vodu čistí kořenová čistírna, topí se dřevem v kamnech.

05_3 Základní srovnání a vyhodnocení

	A EPD LIPTOVSKÁ KOKAVA	B RD NOVÝ PŘEROV	C EPD HOLICE	D RD SÝKOŘICE
ZASTAVĚNÁ PLOCHA	102 m ²	69 m ²	110 m ²	91 m ²
ČISTÁ PODLAŽNÍ PLOCHA	120 m ²	103 m ²	130 m ²	120 m ²
ČPP/ZP	1,17	1,5	1,18	1,32
TECHNOLOGIE SLÁMY	ECOCOCON	EKOPANELY	BALÍKY	BALÍKY
OBJEM POUŽITÉ SLÁMY	38 m ³	20 m ³	108 m ³	112 m ³
OBJ. HMOSTNOST	100 kg/m ³	380 kg/m ³	90 kg/m ³	90 kg/m ³
CELKOVÁ HMOTNOST	3,8 t	7,4 t	9,7 t	10,1 t
UHLÍKOVÁ STOPA *	-8,0 t CO ₂	- 12,6 t CO ₂	-20,4 t CO ₂	- 21,2 t CO ₂

* WIHAN, J. Nosná sláma a CO₂ neutrální dům. Materiály pro stavbu. 2007, EKOPANELY SERVIS s.r.o.

	+	-
A EPD LIPTOVSKÁ KOKAVA	PANELY ECOCOCON - mimořádně přesný panel, jednoduchá pravidla <ul style="list-style-type: none"> - rychlá montáž (konstrukce a izolace v jednom) - vnitřní hliněná omítka přímo na slámě - systém s vyřešenou vzduchotěsností (EPD) - profesionální technická podpora - domyšlený systém ochrany proti zatečení 	<ul style="list-style-type: none"> - relativně vysoká cena - systém zatím použitelný pouze na obvodovou zeď - výrobce zatím pouze v Litvě
B RD NOVÝ PŘEROV	EKOPANELY <ul style="list-style-type: none"> - český dodavatel, techn. podpora + realizace - výborné akustické vlastnosti - zvýšení akumulace tepla v dřevostavbě - vhodný pro samonosné příčky 	<ul style="list-style-type: none"> - složitější postupy montáže pouze - nutná zpevňující povrchová úprava - nutné proleповání PU lepidlem - není konstrukční deskou - nevhodný pro montáž z exteriéru
C EPD HOLICE	SLAMĚNÉ BALÍKY PŘISAZENÉ K CLT PANELU <ul style="list-style-type: none"> - kladení balíků na vazbu do plochy - bezpečná vzduchotěsnost CLT panelu (EPD) - možnost dvojího kladení – silné stěny 	<ul style="list-style-type: none"> - možný problém sehnat kvalitní balíky - sláma není v kontaktu s interiérem <ul style="list-style-type: none"> - riziko destrukce při zatečení - zdlouhavá montáž
D RD SÝKORICE	SLAMĚNÉ BALÍKY VE FOŠÍNKOVÉ KONSTRUKCI <ul style="list-style-type: none"> - universální princip pro celou obálku - silná vrstva hlíny v interiéru - levné řešení - kombinace prof. tesaře a svépomoci 	<ul style="list-style-type: none"> - možný problém sehnat kvalitní balíky - riziko destrukce při zatečení - rozměr balíku určuje konstrukční řešení

06 ZÁVĚR

Na závěr vracím ke dvěma zásadním otázkám, které dali rámeček celé této disertační práci:

1. otázka: *Které ze známých technologií s použitím slámy se mohou bez problémů rozšířit v ČR jako běžně užívaný způsob pochopitelný pro architekta, dostupný pro dodavatele a atraktivní pro stavebníka ?*

Z rešeršní, teoretické i výzkumné části vyplývá, že navrhování a realizaci staveb ze slámy nestojí v ČR žádné vážné překážky. Z hlediska návrhu je nutné, aby stavební inženýři a architekti měli o těchto možnostech povědomí a projektanti specializovaní na dřevostavby potom i konkrétní znalosti o slaměných technologiích. Ideální se jeví zahrnutí této problematiky do osnov vysokých škol se stavebním zaměřením (pro předměty jako stavební fyzika, ekologie a udržitelnost staveb, konstrukce pozemních staveb apod.). Pro aktuálně činné projektanty je důležitá osvěta (stavební veletrhy, články v odborných časopisech, odborné vzdělávací semináře v rámci dalšího profesního vzdělávání). Z profesionálních systémů je v tuto chvíli v ČR možné bezpečně použít pro návrh systém Ecococon, Ekopanely a výše popsané formy dřevěných konstrukcí se slaměnými maloformátovými balíky. Teoreticky by šlo bez problému použít i jinou evropskou certifikovanou technologii (ModCell, Paille-tech, ECO-Boards).

U systémů z maloformátových balíků si ale je třeba uvědomit, že je nelze navrhovat pro výstavbu domu „na klíč“, od začátku je nutná spolupráce s klientem, který si je vědom úskalí této technologie a na výstavbě se bude svépomocně podílet.

Pro realizaci vysokého technického a užitného standardu (energeticky pasivní domy) je možné použít systém Ecococon. Ostatní způsoby vyžadují individuální technické řešení vzhledem k požadavku na vysokou vzduchotěsnost pláště. Tento aspekt je důležitý i z toho důvodu, že od roku 2020 bude požadavek na energetickou pasivitu budov povinný.

2. otázka: *Jaké unikátní vlastnosti a možnosti nabízí sláma současné architektuře?*

Architektura jako holistická disciplína se dnes musí zabývat nejen třemi Vitruviovými kritérii, ale také celkovým vlivem stavebního počínu na okolí – z lokálního i globálního pohledu. Sláma se tedy jeví jako velmi vhodný materiál pro návrh stavby s vyrovnanou uhlíkovou bilancí a nízkými primárními energiemi. Svými vlastnostmi předčí i jinak velmi ekologické výrobky na bázi dřevní hmoty.

Unikátní vlastnosti slámy spočívají i v oblasti stavební fyziky a vlivu konstrukce na kvalitu vnitřního prostředí. Sláma v jakékoliv formě spolehlivě účinkuje v difúzně otevřených pláštích a v kombinaci s nepálenou hlínou vytvářejí stabilní vnitřní klima (z hlediska vlhkosti, tepla, fyzikálních parametrů vzduchu v interieru).

Sláma také do dřevostaveb přináší jakou si robustnost – ať už z pohledu hmotnosti konstrukcí, tak z hlediska jejich tloušťky nebo nepravidelnosti povrchů. To vše má vliv na výsledný dojem z architektury.

07 VOLNÉ PŘÍLOHY

Doplňkové výstupy autora v rámci přípravy DP

Přednášky:

- ***Sláma jako konvenční stavební materiál aneb „od balíku k přesnému panelu“***
přednáška v rámci veletrhu DŘEVOSTAVBY, 2013
- ***Možnosti profesionálního užití slámy v současné architektuře*** – příspěvek na konferenci VŠB - Architektura v perspektivě 2013
- ***Příklady užití profesionálních slaměných systémů v architektuře***
přednáška v rámci veletrhu FORARCH 2015 / panel Přírodní stavitelství
- ***Možnosti profesionálního užití slámy v současné architektuře***
přednáška v rámci cyklu přednášek SCIENCE CAFÉ 2016
- ***Professional application of straw in contemporary architecture*** přednáška v rámci studentské vědecké konference Architektura a ekologie: teorie a praxe 2016
- ***Pravidelný příspěvek v rámci cyklu přednášek EKL 1 na FA ČVUT***

Publikační činnost:

- ***Sláma z pole do moderní stavby***, spoluautor článku v časopise Dřevostavby 4/2013
- ***Sláma jako alternativa pro domy na bázi dřeva***, časopis Dřevostavby Speciál 2014

Seminární práce v rámci DS na FA:

- ***Stavební komponenty ze slámy v současném stavebnictví*** /seminární práce do předmětu novodobé konstrukce pozemních staveb 2014

Vlastní praxe :

Od roku 2008 působím jako samostatný architekt, v současnosti v kanceláři **DOMA architekti**. V atelieru řešíme zakázky různého rozsahu i typologie

(nízkoenergetické a energeticky pasivní rodinné domy, rekonstrukce, interiéry, veřejný parter i územní studie). V rámci této běžné praxe se věnuji i experimentálním stavbám s použitím přírodních materiálů, zejména slámy :

- **Záchranná stanice pro zraněné živočichy, ČSOP Vlašim** , návrh a autorský dozor nad realizací opláštění budov s použitím slaměných balíků realizace 2010
- **Přístavba rodinného domu ve Výžerkách** (těžký dřevěný skelet s výplněmi slaměnými balíky a oboustrannou hliněnou omítkou), návrh 2013, realizace 2014-16
- **Rodinný dům v Martinicích** (hlavní konstrukce - dřevoslaměné panely Ecococon) návrh 2014, realizace 2015
- **Zahradní pavilon pro Montessori výuku, ZŠ Na Beránku, Praha 12 Modřany** (návrh 2015 , dokončeno 2017)
- **Nízkorozpočtový rodinný dům Bouzov** (projekt 2015, realizace 2016 – 17)
- **Energeticky pasivní rodinný dům Horní Krnsko** (hlavní konstrukce - dřevoslaměné panely Ecococon) návrh 2016-17
- **Energeticky pasivní dům Točná** (hlavní konstrukce - dřevoslaměné panely Ecococon) návrh 2018