

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**MOŽNOSTI PREFABRIKACE
SLAMĚNÝCH STAVEB**

2023

FRANTIŠEK TEICHMANN

**VEDOUČÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:
ING. MICHAL KOVÁŘÍK**

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze 15.5.2023

František Teichmann

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Michalu Kováříkovi za cenné rady při konzultacích a vstřícnost při vypracování. Dále bych chtěl poděkovat panu Viktoru Karlíkovi, který mi představil fungování jeho firmy, poskytl mi cenné podklady a tím pádem mi umožnil práci vypracovat.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Teichmann Jméno: František Osobní číslo: 494256
Zadávající katedra: K122 - Katedra technologie staveb
Studijní program: B3651 - Stavební inženýrství
Studijní obor/specializace: 3607R045 - Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Možnosti prefabrikace slaměných staveb
Název bakalářské práce anglicky: Prefabrication of straw buildings

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod
2. Rešerše technologií staveb ze slámy
3. Rešerše prefabrikace dřevostaveb a slaměných staveb
4. Hypotéza
5. Variantní návrh prefabrikace slaměných staveb
6. Vyhodnocení výsledků
7. Diskuse
8. Závěr

Seznam doporučené literatury:

1. Márton, Jan. Stavby ze slaměných balíků. Liberec : Vydáno vlastním nákladem, 2014. 978-80-260-5713-0.
2. Minke, Gernot a Krick, Benjamin. Straw Bale Construction Manual. Basel : Birkhäuser Verlag GmbH, 2020. 978-3-0356-1875-4.
3. Barbara, Jones. Building with straw bales : a practical manual for self-builders and architects. Cambridge : Green Books, 2015. 978-0-85784-228-2.
4. Knaack, Ulrich, Chung-Klatte, Sharon a Hasselbach, Reinhard. Prefabricated Systems. Basel : Birkhäuser Verlag, 2012. 978-3-7643-8747-1.
5. Kolb, Josef. Dřevostavby Systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Praha : Grada Publishing a.s., 2008. 978-80-247-2275-7.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Kovářik

Datum zadání bakalářské práce: 24.2.2023 Termín odevzdání BP v IS KOS: 26.5.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ANOTACE

Práce se zabývá možnostmi využití slámy ve stavebnictví. V první části předkládá informace o vlastnostech slaměných balíků, využití balíků v rámci legislativy a konstrukční systémy staveb s využitím slaměných balíků jako základního stavebního prvku. Dále se pojednává o prefabrikovaných systémech využívaných firmami v rámci Evropy. Druhá část práce navazuje praktickým porovnáním stavebních detailů prefabrikovaného panelu z pohledu tepelné vodivosti. Autor zde navrhuje sedm možných optimalizací nosné konstrukce dřevěného prefabrikovaného panelu s výplní ze slaměných balíků. Pro tyto konstrukce je proveden výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot (z toho vyplývá tepelný tok konstrukcí). Dále je proveden výpočet nákladů na materiál pro a odborný odhad pracnosti. Konstrukce jsou následně porovnány dle zjištěných hodnot.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sláma, dřevo, panel, dřevo-slámový, slaměná izolace, prefabrikace, přírodní stavby, stavby ze slámy, ekologické stavby.

ANNOTATION

This bachelor's thesis deals with the possibilities of using straw in the construction industry. In the first part, it presents information about the properties of straw bales, the use of bales within the framework of legislation and construction systems of buildings using straw bales as a basic building element. Furthermore, prefabricated systems used by companies in Europe are discussed. The second part of the work continues with a practical comparison of construction details of the prefabricated panel from the perspective of thermal conductivity. The author presents several possible optimizations of the load-bearing structure of a wooden prefabricated panel with straw bale filling. For these constructions, a two-dimensional stationary temperature field is calculated (the heat flow in the construction follows from this). Furthermore, the calculation of material costs and a professional estimate of labour is carried out. The constructions are then compared according to the values found.

KEYWORDS

Straw; timber; straw panel; straw insulation; prefabrication; Sustainability; Ecobuilding

OBSAH

1 Motivace	7
2 Rešerše	9
2.1 Vlastnosti slaměných balíků.....	9
2.1.1 Tepelná vodivost	10
2.1.2 Tepelná kapacita.....	12
2.1.3 Akustika	13
2.1.4 Mechanické vlastnosti	13
2.1.5 Požární odolnost.....	15
2.1.6 Degradace.....	16
2.2 Konstrukční systémy	17
2.2.1 Rozdělení konstrukčních stěnových systémů	17
2.3 Používání slaměných balíků z pohledu legislativy.....	19
2.3.1 ČR.....	19
2.3.2 Stav legislativy v dalších zemích EU	19
2.4 Prefabrikace	20
2.4.1 Výhody prefabrikace	20
2.4.2 Prefabrikované systémy ve světě	21
3 Základní předpoklady	33
4 Cíle práce	33
5 Metody	33
6 Porovnání řešení detailu existujících stěnových modulů v místě styku panelů s ohledem na prostup tepla konstrukcí	35
6.1 Sloupková konstrukce s výplní slámou	35
6.1.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot	36
6.2 Sloupková konstrukce s izolací z minerální vaty	37
6.2.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot	37
6.3 Desková konstrukce	38

6.3.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot	39
7 Návrh dalšího řešení detailů, návrh optimalizace.....	40
7.1 Sloupková konstrukce s izolací z desek ze slisované slámy.....	40
7.1.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot	41
7.2 Sloupková konstrukce opláštěná deskou.....	42
7.2.1 Tepelně izolační deska z celulózy	42
7.2.2 Konstrukční deska MDF	44
7.3 Sloupková konstrukce opláštěná z obou stran	46
7.3.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot	47
7.4 Konstrukce z prefabrikovaného I sloupu	48
7.4.1 Izolace vkládaná během montáže	48
7.4.2 Sloup s předem izolovanou stojnou	50
8 Stanovení nákladů na výrobu posuzovaných nosných konstrukcí	51
8.1 Náklady na materiál	51
8.2 Pracnost	52
9 Výsledky	53
10 Diskuze	54
ZÁVĚR.....	55
POUŽITÁ LITERATURA	56
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
SEZNAM TABULEK.....	61
SEZNAM PŘÍLOH	62
SEZNAM ZKRATEK	63

1 MOTIVACE

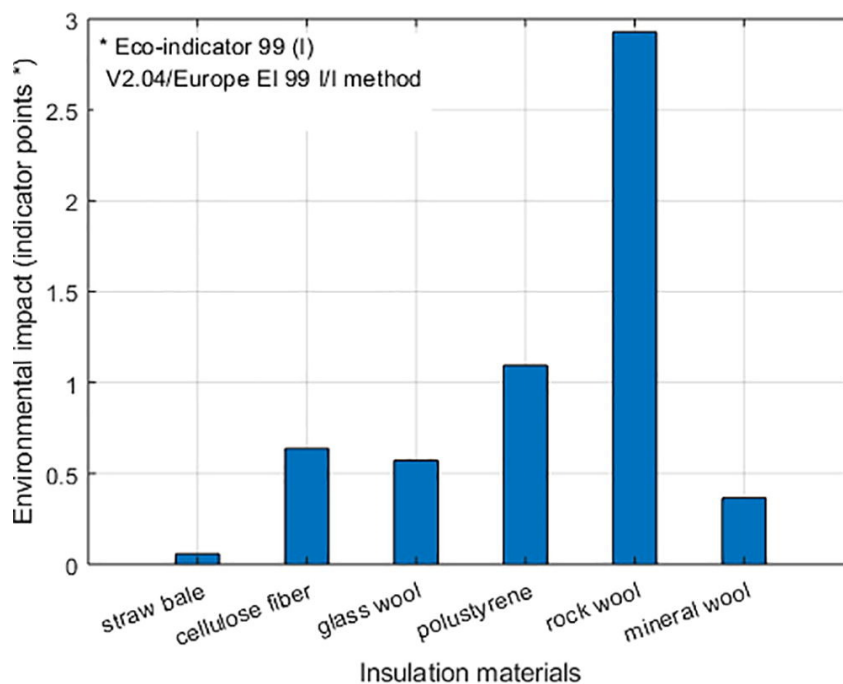
V dnešní době, kdy aktivně řešíme klimatickou krizi a stavebnictví je významným producentem nejen oxidu uhličitého, je zapotřebí hledat stavební materiály s nízkou ekologickou stopou, což v sobě obnáší jak množství vyprodukovaného oxidu uhličitého při výrobě a dopravě, tak i náklady na likvidaci. Sláma je z tohoto pohledu výborný materiál. Vzniká jako druhotný produkt zemědělství, který není plně využíván. Přibližně 40% slámy vyprodukované z tuzemského zemědělství tvoří nadprodukce. [1] Slaměné balíky jsou levné a dostupné z lokálních zdrojů. V neposlední řadě se sláma velmi snadno likviduje, což je poměrně aktuální téma s ohledem na úvahy o zdanění budoucí likvidace staveb. Předním důvodem k využití slámy jako stavebního materiálu jsou její tepelně izolační vlastnosti, které jsou porovnatelné s konvenčními tepelnými izolacemi. [2] Zároveň mají slaměné balíky nižší environmentální dopad oproti běžným tepelným izolacím. [3] [4] Tato skutečnost byla potvrzena několika nedávnými studiemi, které braly v úvahu celý životní cyklus porovnávaných izolací. Grafický výstup jedné ze studií je vyobrazen na obr. č. 1.

Hlavní nevýhodou slámy jako stavebního materiálu je právě její přírodní původ a z toho vyplývající vlastnosti, které lze obtížně zaručit, nebo nějak normovat. Z toho ovšem vyplývá právní problém. Používání slaměných balíků ve stavebních konstrukcích není nijak ukotveno v normách a ani v zákonných předpisech, což přímo ovlivňuje možnosti výstavby. Tento legislativní problém platí pro Českou republiku. V angloamerických zemích a některých státech EU, jako například v Rakousku, je situace odlišná a lze běžně získat stavební povolení na stavbu ze samonosné slámy. [1] Chybějící legislativa v Česku přímo ovlivňuje možnosti výstavby. Stavby se u nás staví převážně jako dřevostavby pouze s přidanou slámou.

(nemáš popsany první důvod a zmiňuješ druhý... uprav si vyjádření)
Další velký nedostatek použití slámy jako stavebního materiálu opět souvisí s její povahou, je rychlost výstavby. Zateplení rodinného domu slámovými balíky je řádově pomalejší, než zateplení deskami z EPS nebo minerální vaty, byť se jedná o technologicky jednodušší proces. [5]

Řešením do budoucna se zdá být prefabrikace samonosných stavebních modulů, prvků ze dřeva se slaměnou výplní. Tím by se eliminovala řada problémů (například riziko zмокnutí slámy a její znehodnocení během výstavby). Použitím prefabrikátu se výstavba zpřesní, zkvalitní a významně se zrychlí.

Jako cíle této práce si kladu prozkoumání evropských trendů při prefabrikaci slaměných modulů a výstavbě se slámou. Dále pak následně navržení optimalizace nosné konstrukce dřevo-slaměného panelu z pohledu prostupu tepla a efektivity výroby a montáže.



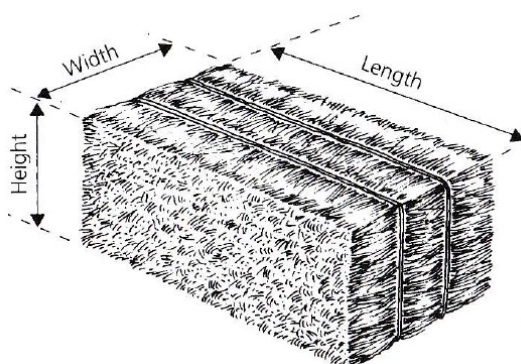
Obrázek 1 Úplný enviromentální dopad různých izolačních materiálů při srovnatelném tepelně-izolačním výkonu

2 REŠERŠE

2.1 Vlastnosti slaměných balíků

Slovo sláma označuje stébla a stonky obecně všech plodin, v užším významu se obvykle slámou míní pouze stonky obilnin. Pro stavebnictví je nejvýhodnější používat slámy pšeničné, špaldové, nebo žitné. [2] Makroskopicky jsou stébla podlouhlé trubičky o průměru několika milimetrů, s občasným přerušáním kolínky. Z mikroskopického hlediska jsou stébla složena z vláken dlouhých pouze 2 až 7 milimetrů a z pórů o velikosti 2 až 100 mikrometrů (v závislosti na typu plodiny). Materiál vláken je tvořen ze 40-80 % celulózu, 10-30 % je lignin, zbytek tvoří vlhkost a prachové částice. [6]

Ve stavebnictví se využívají slaměné balíky. Primárně z toho důvodu, že na poli se při sklizni sláma běžně balíkuje. Druhým důvodem pak je, že se slámou v kompaktním stavu už můžeme dobře manipulovat a přímo ji zabudovávat do stavby. Balíky se vyrábějí přímo na poli balíkovacím strojem. Od typu balíkovacího stroje se poté odvíjí tvar a hustota balíku. Tvar je buď válec nebo hranol, jehož rozměry (průměr nebo šířka a výška) jsou dané, délku lze nastavit v určitém rozpětí viz obr. 2. Hustota balíku se při výrobě pohybuje od 50 kg/m³ do 110 kg/m³. Balíky se pro použití ve stavbě ještě dále stlačují na potřebnou hodnotu. Hustota kolem 90 kg/m³ je vhodná pro výplňové balíky. Balíky, které slouží jako nosné, se stlačují na 120–180 kg/m³. [7] [1]



Obrázek 2 Slaměný balík – výška, šířka, délka [2]

Baler	Bale dimensions [cm]		
	Height	Width	Length
Small bale press	31 (30)	41 (40)	30–120
	36	49 (48)	50–120
Square baler	50	80	70–240
	70	80	120–250
	70	120	90–300
	90	120	100–270
	100	120	100–300
	130	120	100–270

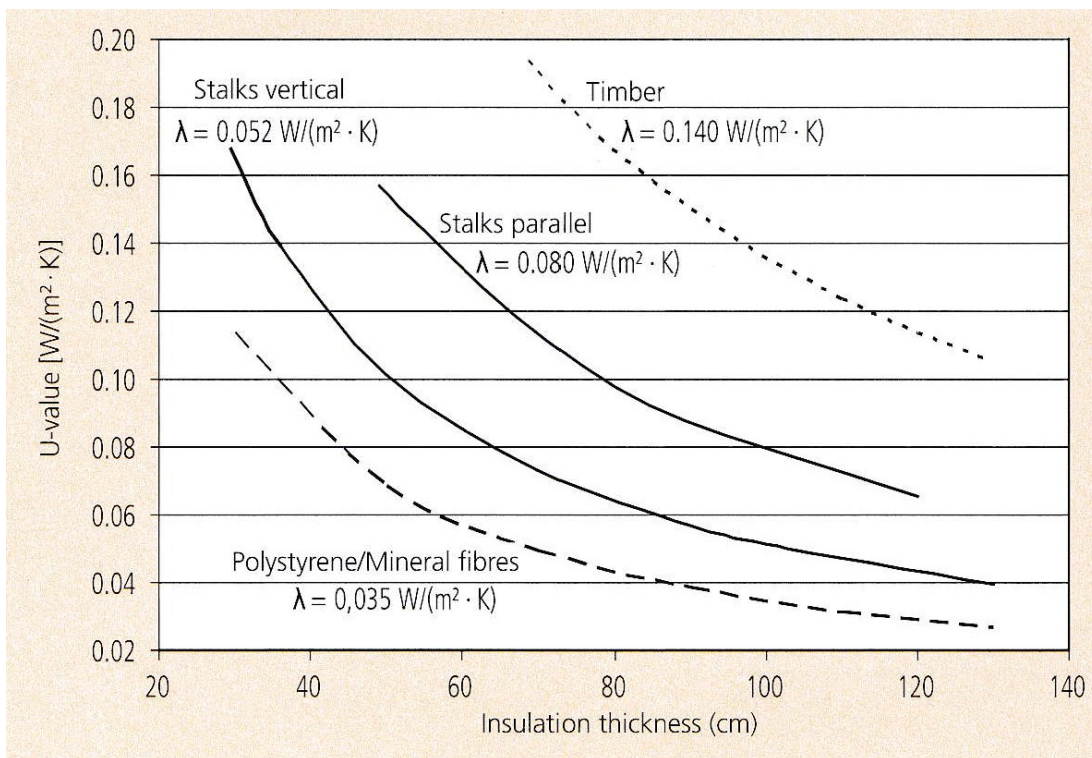
Tabulka 1 Obvyklé rozměry slaměných balíků [2]

2.1.1 Tepelná vodivost

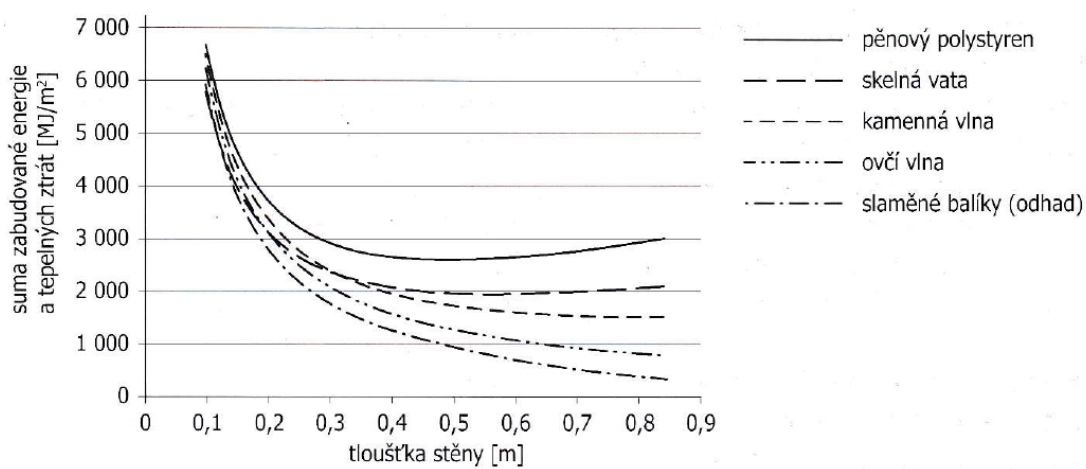
Nízká tepelná vodivost je jednou z hlavních vlastností slaměných balíků. Z tohoto důvodu se také využívají k izolování staveb. Součinitel tepelné vodivosti λ se vždy pohybuje mezi hodnotami 0.033–0.19 W/m.K. Rozptyl je to poměrně veliký a je dán tím, že fyzikální vlastnosti slaměných balíků a tepelnou vodivost obzvláště ovlivňuje mnoho faktorů. Tepelná vodivost se zvyšuje s rostoucí hustotou, vlhkostí a teplotou. Naopak tepelná vodivost klesá u balíků s vyšším podílem celulózy a také v případě, že se stébla orientují kolmo na proudění tepla. [6]

Z těchto důvodů by bylo ideální pro přesné výpočty předem udělat zkoušky použitého materiálu, které v sobě zahrnou konkrétní typ stébla a konkrétní hustotu. Nakonec bychom ale stejně měli uvažovat hodnoty nižší, než výpočtové, neboť nikdy neobsáhneme vady v samotných balících, vady při stavbě a konečně ani provozní vlhkost a teplotu.

Na obrázku č. 3 lze vidět srovnání izolačních vlastností vůči konvenční tepelné izolaci a vůči dřevu. Ačkoliv nejsou hodnoty balíků tak příznivé jako pro EPS nebo minerální vatu, jsou rozhodně mnohem lepší než izolační vlastnosti dřeva. Další zajímavá paralela je patrná z grafu na obrázku č. 4 který porovnává energetickou náročnost izolované stěny s použitím různých izolačních materiálů. Z grafu vyplývá, že z dlouhodobého hlediska nemá ekologicky a pravděpodobně ani finančně smysl zateplovat stěny izolací extrudovaného polystyrenu o tloušťce větší než 30 cm. Kdežto slaměné balíky je výhodné používat až do tloušťek 80 cm. Z tohoto pohledu je výhodnější využití tlustší vrstvy slaměných balíků jako tepelné izolace než EPS. Nepříznivou proměnou se v tuto chvíli stává jen tloušťka samotné stěny a je již na investorovi nebo architektovi, aby zvolil ideální řešení k dané stavbě.



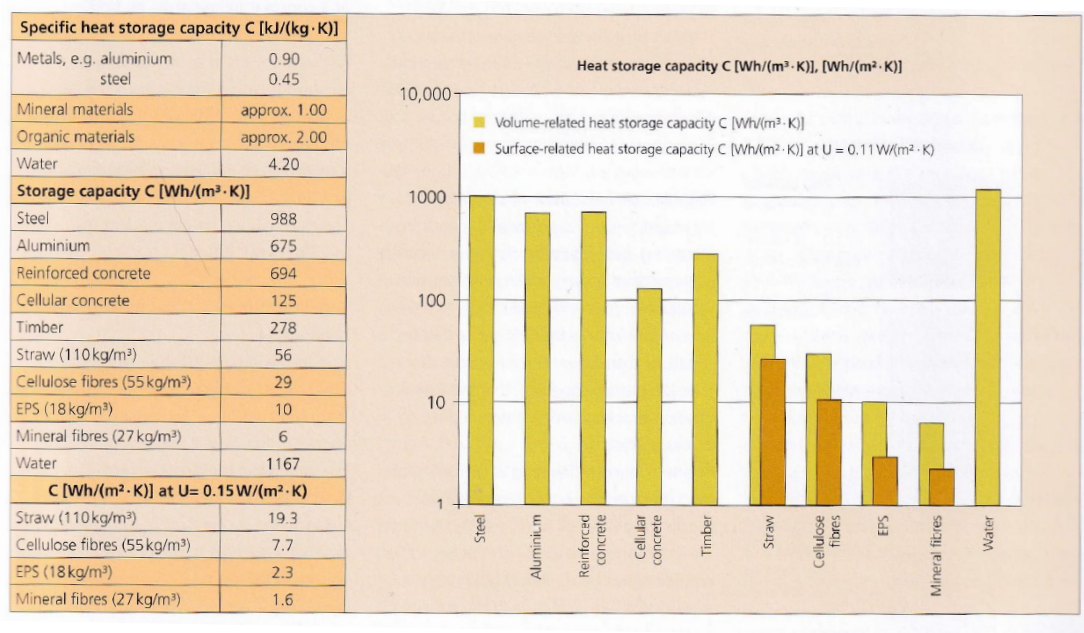
Obrázek 3 graf součinitele tepla U různých materiálů v závislosti na tloušťce [2, s. 25]



Obrázek 4 Ilustrační graf – bilance energie lehké izolované stěny za 50 let života konstrukce [1, s. 29]

2.1.2 Tepelná kapacita

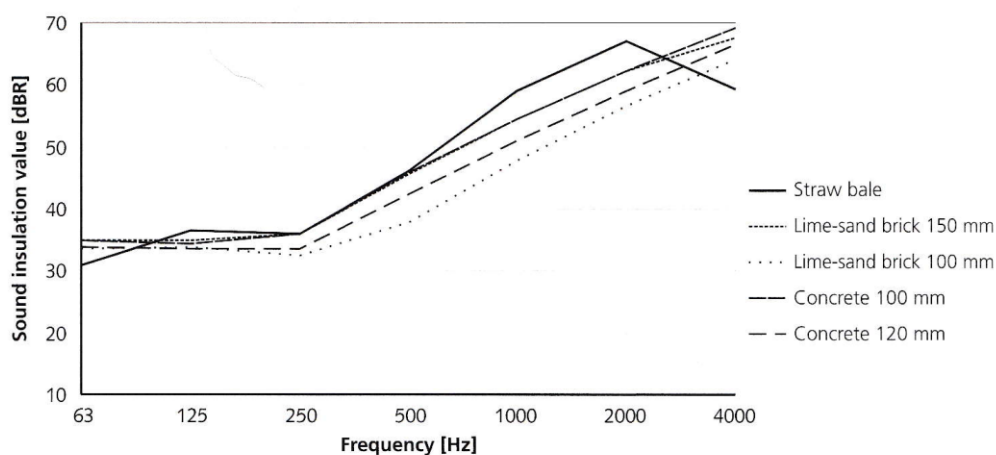
Tepelná kapacita je důležitá z pohledu teplotního komfortu uvnitř staveb. Pokud je stavba postavená z materiálů s vysokou tepelnou kapacitou, poskytují tepelnou stabilitu. Její obyvatelé méně pociťují velké teplotní rozdíly při změně počasí. Tepelná kapacita slaměných balíků se pohybuje okolo 200 Wh/m³K, což jsou velmi dobré vlastnosti na tepelnou izolaci, ale nedostatečné hodnoty pro zajištění tepelné stability objektu. Tento nedostatek se v projektu obvykle řeší těžkou hliněnou omítkou a těžkými příčkami v interiéru. [2] [1]



Obrázek 5 Tepelná kapacita různých materiálů [2, s. 25]

2.1.3 Akustika

Stěna ze slaměných balíků (omítnutá na obou stranách) velmi dobře tlumí hladinu hluku. Je to dáno vlastnostmi samotné slámy a umocněno různorodou hustotou samotné stěny. Tím pádem má slaměná stěna podobné zvukově izolační vlastnosti, jako běžné konstrukční stěny, viz obr. 6. Experimenty posledních let udávají útlum zvuku slaměné stěny mezi 42 a 53 dB. [6] Pro porovnání, požadavek na útlum zvuku mezi byty je dle ČSN 730532 52 dB. [1]



Obrázek 6 Útlum zvuku různých materiálů [2, s. 31]

2.1.4 Mechanické vlastnosti

2.1.4.1 Únosnost

Z pohledu mechanických vlastností je nejdůležitější nosnost balíků. Ta se pohybuje od 0,01 MPa až do 0,03 MPa, což je opět dáno širokou škálou balíků. Obecně lze vyvodit, že únosnost roste s vyšší hustotou balíků a pokud jsou balíky zatíženy kolmo na polohu stébel. [2] [6]

Problémové je bodové zatížení, které slaměné stěny snáší velmi špatně a je zapotřebí mu předejít optimálním konstrukčním návrhem..

2.1.4.2 Deformace – modul elasticity

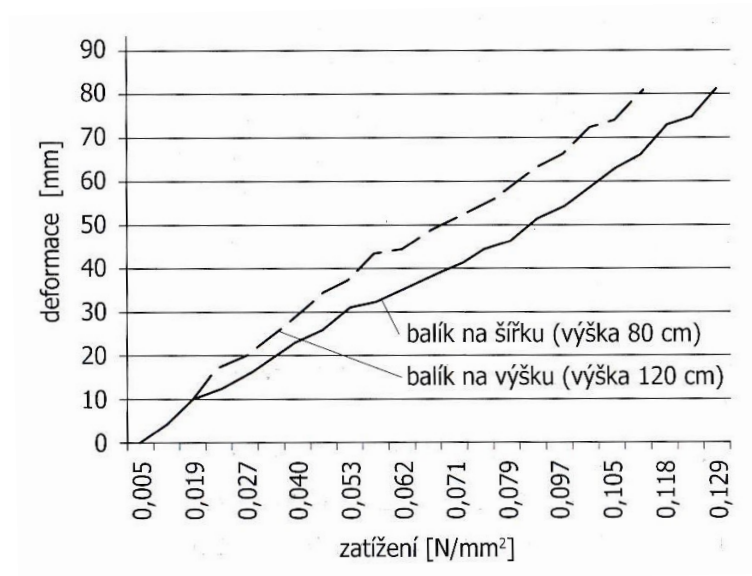
Dalším důležitým ukazatelem vlastností slaměných balíků je modul elasticity E a z něj vycházející deformace. Elastický modul slámového balíku se pohybuje v rozmezí 150 až 800 kPa, což je o několik řádů méně než u běžných stavebních materiálů ($E_{dřeva} = 10 \cdot 10^6$ kPa). [2] To znamená, že při zatížení se balíky hodně deformují. Deformace jsou elastické a mají lineární charakter. Pro stavební praxi z toho vyplývají dva důležité faktory. Za prvé, při stavbě, kde balíky plní

nosnou funkci, je nutné počítat s jejich deformací a například omítku aplikovat až po dosažení plného zatížení stěny. Je zapotřebí brát v úvahu i sesedání, dotvarování slámové stěny v průběhu času. [1] Druhým aspektem, plynoucím z nízkého modulu elasticity, je schopnost slaměných stěn výborně odolávat zemětřesení, neboť balíky absorbují kinetickou energii z vibrací. [1] [2]

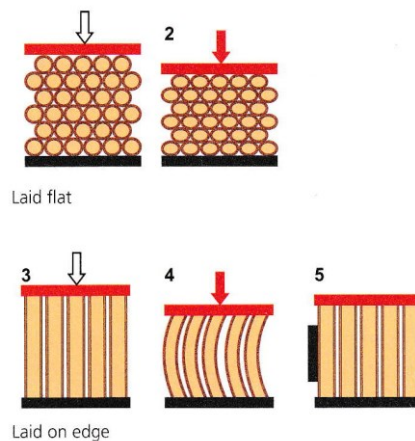
2.1.4.3 Vzpěr

Nejkritičtějším namáháním je pro stěnu ze slaměných balíků vzpěr a z toho vycházející deformace – vybočení konstrukce. Doporučený maximální poměr výšky ku šířce stěny je 6:1 [8], což lze obvykle snadno splnit. Při tloušťce stěny 0,5m vychází možná konstrukční výška stěny na 3 m. V případě požadavků na větší poměr je zapotřebí stěnu vyztužit.

Je dobré poukázat na korelaci mezi položením balíku a směřováním stébel vůči zatížení balíku. Podobně jako u únosnosti platí, že balík vykazuje příznivější hodnoty deformace, působí-li síla kolmo na vlákna stébel (viz obr. 8) a stejně tak balík lépe odolává vybočení.



Obrázek 7 Deformace zatíženého obřího balíku (Oficiální testovací laboratoř stavebních materiálů, University of Applied Sciences, Trier) [1]



Obrázek 8 Názorná ukázka mechanického a elastického chování balíků v závislosti na poloze vůči zatěžující síle [2]

2.1.5 Požární odolnost

Slaměné stěny dobře odolávají požáru. Je to díky velmi malému množství kyslíku, vyskytujícímu se mezi stébly při hustotě nad 80 kg/m³. [6] Bylo provedeno vícero experimentů na toto téma, obvykle s uspokojivými výsledky. Pro české a evropské prostředí je nejvíce relevantní experiment z roku 2011, provedený na fakultě stavební ČVUT podle norem ČSN EN 13501-2 a ČSN EN 1365-1. Zkoušce byla podrobena nosná slaměná stěna s vnitřní hliněnou omítkou 50 mm a vnější vápennou omítkou 30 mm. Požární odolnost byla zkouškou stanovena na REI 120 minut. Požadované hodnoty pro rodinný dvoupatrový dům jsou REI 15-45 minut. [1]

Podobně úspěšné experimenty proběhly v Německu, kde zkoušce podrobili stěnu z nosné dřevěné konstrukce, vyplněné slaměnými balíky s omítkou hliněnou o tloušťce 30 až 50 mm na obou stranách. Tato stěna dosáhla hodnoty F30 (dle německého standardu) tedy vydržela 30 minut. Dále podrobili experimentu stěnu s vápennou omítkou a následně i stěnu s vnitřní hliněnou a vnější vápennou omítkou. Obě stěny vydržely při experimentu 90 minut. [2]

Je důležité upozornit, že slaměné stěny dobře odolávají požáru až pokud mají omítku. Při výstavbě je tedy riziko požáru ještě veliké a je zapotřebí dbát přísné kázně v dodržování bezpečnostních opatření při výstavbě.

2.1.6 Degradace

Degradační procesy uvnitř slaměných balíků jsou opodstatněnou hrozbou, avšak obvykle jim jde snadno předejít. Největší škody napáchá vlhkost. Problémem bude špatné skladování balíků před a při výstavbě, dalším může být i nesprávně provedený konstrukční návrh.

2.1.6.1 Vlhkost ve slaměných balících

Vlhkost při sklizni by se měla pohybovat okolo 14 %, což se obvykle zaručí sklizením slámy v návaznosti na sklizeň zrna. Jinak je zapotřebí nechat balíky vyschnout před jejich zabudováním do konstrukce. Tuto hodnotu se ale snažíme zachovat především pro správné chování stěny v konstrukci a snížení tepelné vodivosti stěny. Aby došlo k růstu plísní je zapotřebí, aby byla v konstrukci relativní vlhkost nad 80 %. Pro rozklad slámy je zapotřebí relativní vlhkost dokonce 90 % při teplotě nad 15°C. [9]

Otázka skladování je jednoduchá, balíky se musí chránit proti dešti a proti zemní vlhkosti. Z konstrukčního hlediska se ke slaměným stavbám chováme podobně jako k dřevostavbám-je nutné zamezit vzlínání zemní vlhkosti do materiálu stěn, fasádu chrání omítka nebo předstěna. Na konec je zapotřebí vyřešit páru ve vnitřním prostředí. Slaměné stavby se obvykle navrhují jako difuzně otevřené, vzdušná vlhkost tedy proudí skrze stěnu ven. Výpočtem je zapotřebí doložit, že se ze stěny během roku odpaří veškerá pára, která se do stěny dostane. Obecný princip je navrhovat difuzně otevřenou stěnu směrem do exteriéru, tedy směrem do exteriéru jsou materiály s nižším difuzním odporem. Pro snížení vlhkosti prostupující do obálky budovy lze použít parobrzdu, tedy materiál s vysokým koeficientem difuzního odporu – např. OSB desky. [7] [2]

2.1.6.2 Hlodavci a škůdci

Riziko napadení slaměných balíků škůdci a hlodavci je velmi malé. Pokud se sláma sklízí správně, neobsahuje již žádné zrní ani jiné rostlinné produkty, které by byly potravou a lákadlem pro živočichy. Samotná stébla jsou pro ně nezajímavá. Jediné riziko může vzniknout při špatném skladování, kdy si v hlodavci v balících postaví svá hnízda. K tomu dochází, když se balíky skladují delší dobu na jednom místě a mezi jednotlivými kusy jsou malé mezery. [1]

2.2 Konstrukční systémy

Slaměné balíky se ve stavebnictví dají využít při výstavbě svislých i vodorovných konstrukcí. Ve vodorovných konstrukcích tvoří slaměné balíky pouze výplňovou a izolační funkci. Ve svislých konstrukcích se balíky používají také jako izolační prvek, buď jako výplň v nosné konstrukci, nebo jako samonosná izolace nosné konstrukce (lze využít při rekonstrukci). Specifickou možností slaměných balíků jsou nosné svislé konstrukce, které slouží jako izolační materiál a zároveň přenášejí zatížení stavby.

Konstrukční systémy je vhodné navrhovat v závislosti na konkrétním typu budovy a její umístění.

2.2.1 Rozdělení konstrukčních stěnových systémů

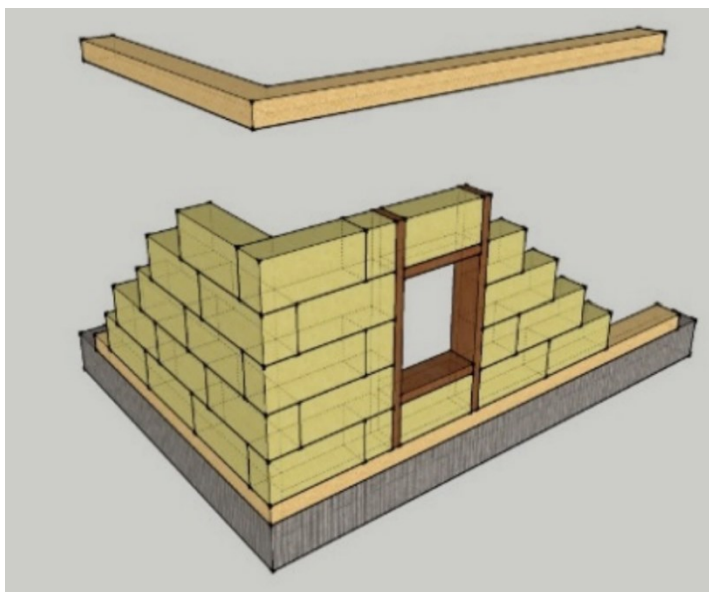
2.2.1.1 Nosné stěny

Slaměné balíky v nosných stěnách přenášejí většinu svislého zatížení a část vodorovného zatížení. V tomto případě se slaměné balíky, podobně jako cihly, skládají na připravené základy v různorodé vazbě. Pro vytvoření otvorů je nutné zabudovat do stěny ostění. Horní věnec pak ztužuje, prováže celou stěnu a zajišťuje rovnoměrné roznesení zatížení. Obvykle se balíky kotví k základům a provazují navzájem pomocí svislých dřevěných hřebů vedoucích středem stěny.

Návrh a realizace stavby se musí podřídit procesu sesedání a stahování balíků. Hustota balíků je zapotřebí větší, než 90 kg/m³ [8]

Výhodou procesu je minimalizace odpadů a ušetření nákladů za stavbu nosné konstrukce. Limitní je především výška stavby a velikost otvorů ve stěně.

Obrázek 9 Samonosná stěna ze slaměných balíků [6]

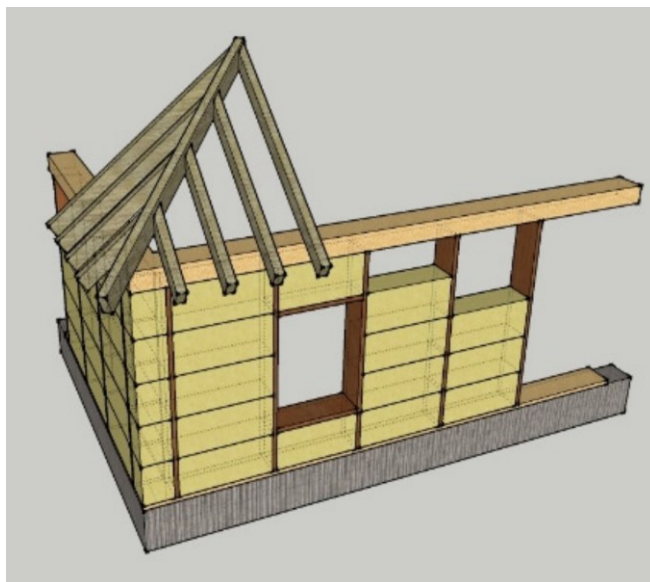


2.2.1.2 Nenosné stěny

Slaměné balíky jsou vkládány do rastru vzniklého skeletovou nosnou konstrukcí. Nosné konstrukce jsou obvykle dřevěné, protože se jedná o příbuzný materiál s podobnými fyzikálními vlastnostmi a nehrozí tedy riziko kondenzace, jako například při využití ocelového skeletu. Zároveň je dřevo levné a dobře zpracovatelné. Balíky v konstrukci nesou vlastní hmotnost a hmotnost omítky.

Dřevěná konstrukce se staví v zásadě stejná jako při výstavbě běžných dřevostaveb, pouze je zapotřebí modul, rastr, nosné konstrukce přizpůsobit velikosti použitých balíků. Při stavění se slaměnými balíky se nejčastěji využívá konstrukce postavené systémem Two by four (sloupkový systém, hustá konstrukce ze subtilních prvků) a skandinávský systém (silnější sloupy s rozpětím 2–4 m). Dále lze využít rámovou konstrukci z prefabrikovaných profilů, nebo konstrukci z masivních dřevěných desek (CLT panelů). [1]

Výhodou je možnost zastřešení stavby před prací s balíky a tím pádem jejich ochránění před atmosférickými vlivy během výstavby. Velikost otvorů ve stěně je limitována pouze použitou nosnou konstrukcí. Tento systém je dražší a náročnější na výstavbu.



Obrázek 10 Nosná dřevěná konstrukce s výplní ze slaměných balíků [6]

2.3 Používání slaměných balíků z pohledu legislativy

2.3.1 ČR

Používání slaměných balíků a obecně všech přírodních materiálů ve výstavbě je poněkud komplikované z pohledu legislativy. Již proces navrhování a následného povolování stavby je ovlivněn požadavky na stavbu, konkrétně požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu, na požární odolnost a na ochranu zdraví a prostředí. A to jak podle starého Zákona č. 183/2006 Sb., tak podle nového Zákona č. 283/2021 Sb. Ačkoliv je v aktuálním znění zákona také požadavek na udržitelné využití přírodních zdrojů, nijak to nezlehčuje proces povolování staveb s jejich využitím, neboť přírodní materiály jsou již ze své povahy velmi těžko normovatelné nebo certifikované. I přesto, že v rámci prefabrikace vznikají i ze slámy výrobky, které by bylo možné certifikovat, jedná se o proces nákladný a v aktuální době zcela neekonomický. Stavební zákon přímo nezavazuje k dodržování norem a používání certifikovaného materiálu ale v případě problémů se stavbou nese odpovědnost projektant. [10, s. 183/2006 Sb.][11]

V praxi se to dnes řeší tak, že jsou stavby povětšinou navrhovány jako dřevostavby, tedy ty nejdůležitější (nejvíce kontrolované stavebním úřadem při povolování a nejfatálnější v případě vady) požadavky na stavbu mechanická a požární odolnost jsou zaručené nosnou dřevěnou konstrukcí. Slaměné balíky mají pouze výplňovou funkci. [1, s. 46]

2.3.2 Stav legislativy v dalších zemích EU

Ve většině zemí je situace podobná té v české republice. Tedy architekt, statik, nebo projektant podepisují projekt pro povolení stavby na svou odpovědnost za statiku budovy. V Německu a Rakousku je situace trochu přísnější, je zde více dbáno na splnění požadavků. Proto je v těchto zemích velká snaha o začlenění slaměných balíků a hliněných omítek do norem a zákonů nejen v místní zemi, ale také v rámci celé Evropy skrze ETA (European Technical Approval), která zaručuje standardizaci stavebních produktů podle předpisů evropské unie. [2]

Výrazně jiná situace je ve Velké Británii, Irsku a frankofonních zemích, kde funguje legislativa precedenčním způsobem, tedy že každé soudní rozhodnutí v podobném případě je totožné, pokud nejsou uvedeny významné důvody, proč

by se měl precedens měnit. Stačilo tedy postavit slaměnou stavbu, prokázat že má dané vlastnosti a tím vytvořit precedens a umožnit výstavbu podobných staveb. Z pohledu stavebnictví je tento právní systém funkční a praktický. Ve velké Británii jsou povolovány stavby i z nosné slámy, do dvou podlaží. V Irsku se běžně povolují jednopodlažní stavby a záleží tam převážně na vnějším vzhledu. Dvoupodlažní stavby z nosné slámy jsou povolovány také ve Francii, Holandsku a Dánsku. [1]

2.4 Prefabrikace

Prefabrikace prvků s využitím slaměných balíků je logickým vyústěním zvyšujícího se zájmu o slaměné stavby ve spojitosti s nutností vyhovět požadavkům na kvalitu a snahou o zlevnění výstavby.

Prefabrikace dřevěno slaměných panelů je pravděpodobně jediná možnost, jak ze slámy udělat stavební materiál pro širší použití. [2] [1] [6]

Systém prefabrikace vychází z nosné dřevěné konstrukce vyplněné slaměnými balíky. V hale se připravují modulové prvky, celé stěny, nebo části stropů a střech. Výroba probíhá obvykle tak, že sestaví prostorově tuhý rám, který se vyplní slaměnými balíky, ty se v rámu stlačí na požadovanou hustotu. Součástí prefabrikace může být také zakrytí panelu LDFⁱⁱ (Low Density Fiber) deskami, instalace vzduchotěsné prodyšné membrány z exteriéru, nebo natažení hrubé hliněné omítky. Dále se firmy pokoušejí do prefabrikace zařadit také přípravu elektroinstalací, nebo osazení oken.

2.4.1 Výhody prefabrikace

Pro slaměné stavby platí obecné výhody prefabrikace jako je nezávislost na klimatických podmínkách, zrychlení výstavby a lepší kontrola jakosti. Mimo to existují ještě specifické výhody prefabrikace platné pro slaměné stavby:

- Nižší objem stavebního odpadu
- Lépe zpracované detaily
- Významně nižší riziko požáru během výstavby (na stavbě se nenachází volná sláma)
- Úspora pracovní síly při výrobě i při montáži
- Zjednodušení logistiky skladování a přepravy slaměných balíků – výrobce panelů si dopředu zajistí dostatečné množství balíků a

odpovídající skladovací prostory, nevytváří se nepořádek na staveništi (výhoda v hustě zastavěných oblastech)

- V případě prefabrikace panelů s omítkou se jedná o další významné ušetření času (omítka se natahuje velmi jednoduše ve vodorovné pozici, navíc ji lze natáhnout rovnou v jedné vrstvě, protože nehrozí riziko utrnutí, stečení), z prostředí stavby vymizí profese se špinavými procesy
- Panely mohou na stavbě montovat běžní dělníci s drobným zaškolením bez potřeby větší znalosti chování slaměných balíků
- Menší počet osazovaných prvků a z toho plynoucí zkrácení výstavby a omezení chyb při sesazování

V případě stavění se slámou je nejvýznamnější výhoda právě rychlost výstavby ve spojení s lepší odolností vůči atmosférickým vlivům. Stavba postavená z prefabrikovaných panelů je obvykle smontovaná během 1 až 7 dní. Oproti tomu výstavba ze slaměných balíků na staveništi může trvat i několik týdnů a neustále je nutné chránit slámu proti dešti.

Nevýhodou prefabrikace je větší potřeba dřeva, neboť je zapotřebí zajistit prostorovou tuhost jednotlivých prvků.

2.4.2 Prefabrikované systémy ve světě

K prvním pokusům o prefabrikaci v oblasti slaměného stavitelství docházelo již koncem tisíciletí v USA, kde má i samotná výstavba ze slaměných balíků nejstarší historii. Nyní jsou v USA převážně tesařské firmy, které jako jeden ze svých produktů nabízejí také dřevo-slaměné panely. Trochu jiná situace je v Evropě, kde původní stavitelé staveb ze slaměných balíků založili specializované firmy na výrobu prefabrikovaných dřevo-slaměných panelů. V tabulce č. 2 je přehled těchto firem a základních vlastností prefabrikovaných stěnových panelů. Do tabulky jsem zahrnul pouze vlastnosti stěnových panelů, jakožto primárního stavebního prvku ze dřevo-slaměných panelů.

Tabulka 2 Přehled výrobců prefabrikovaných dřevo-slaměných panelů v EU

Firma	Webové stránky	Země výroby	Vyráběné prvky	Tloušťka (bez povrchové úpravy)	Šířka [mm]	Výška [mm]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí U = [W/m²·K]	Hustota		Nosná konstrukce	Standardní povrchová úprava	Stupeň prefabrikace	Typ použitých balíků	Orientace vláken na tepelný tok	Certifikace	Ostatní
								[kg/m³]								
Ecococon	ecococon.eu	Výroba v Litvě od 2024 i na Slovensku, působení mezinárodní	stěny	400 (300)	400-1200	do 3000	0,123	110	svislice žebřík, vodorovná deska	obvykle uzavření panelů difuzní fólií modulů do stěn, z exteriéru a dřevovláknitou deskou	volitelně skládání modulů do stěn, povrchová úprava, parozábrana, okna a dveře	řezání obřích balíků	rovnoběžné	Prohlášení o shodě - statické vlastnosti, neprůzvučnost, požární odolnost (REI30 bez omítky, REI 120 s hliněnou omítkou) + FSC, Cradle to Cradle, Passive House Institute	nosnost 110 kN/m²; nezpřístupko vávají montáž	
RainbowEcosystem	rainbowecosystem.com	Ukrajina	stěny, střecha	300	do 1500	2500	X	100 ±15	svislice žebřík, vodorovná deska	hrubá omítka 20 mm z obou stran	skládání modulů do stěn, omítka, příprava instalací	malé balíky	kolmo	Prohlášení o shodě, požární odolnost		
Baobaby	www.baobaby.org	Česká republika	stěny	400/300/200	950	400 - 3500	0,135	150	svislice žebřík, vodorovná deska	bez úpravy	jen moduly	řezání obřích balíků	rovnoběžné	-		
Paille-Tech srl	www.pailletech.be	Belgie	stěny, střecha	460	360 - 6480	jednotná výška 1000,1900, 2800	0,13	100 - 130	desková	hrubá omítka z obou stran, elektroinstalace	přímá výroba velkých panelů až 3x9m	malé balíky 36 x 46 x 80 cm položené na výšku	rovnoběžné	Požární odolnost REI60	mezy panely stlačená geotextilie, rám tl. 45mm	
Lorenz	lorenzsysteme.de	Německo	stěny, strop, střecha	180/240/360	625	do 3000	0,162 (pro tl. 360)	100 ±15	desková		skládání modulů do větších panelů max 4x 625mm	malé balíky	kolmo	Prohlášení o shodě pro dřevěné prvky a spojovací materiály; zatěžovací zkouška panelu	dvě tloušťky rámu podle nutnosti statiky 45mm a 60mm	
ModCell	modcell.com	Velká Británie	stěny	400/350/235/140	300 - 6000	X	0,13 (pro tl. 400, s omítkou)	X	vnější rám, uvnitř sloupy	uzavření LDF deskou	přímá výroba velkých panelů až 3x9m	malé balíky	kolmo	Požární odolnost Chlir/09001 (135 minut); statika rámu, ISO9001	rám CLT panel tl. 40 mm	
Slampa	www.slampa-pa.cz	Česká republika	stěny	400 (300)	400 - 1250 (optimálně 800)	400 - 3000	0,154	X	svislice žebřík, vodorovná deska	bez úpravy	jen moduly	malé balíky	rovnoběžné	-		

X - údaj je nejso k dispozici

Všechny firmy nabízejí individuální řešení a specifické rozměry za příplatek

Informace jsou dostupné z webových stránek uvedených firem a z jejich technologických prospektů [12][13][14][15][16][17][18][19][20]

Část informací je získaná z přímé komunikace s firmami - Baobaby, Slampa, Rainbowssystem

Jak vyplývá z tabulky, v Evropě se výrobou ve větším měřítku zabývá sedm firem, z toho dvě jsou v České republice. Dále je zřejmé, že mezi jednotlivými firmami a jejich výrobky, jsou určité rozdíly vyplývající z výrobní technologie, a typu použitého základního prvku, slaměného balíku. Zároveň jsou mezi firmami i jasné rozdíly. V následujících řádcích se budu věnovat jednotlivým firmám.¹

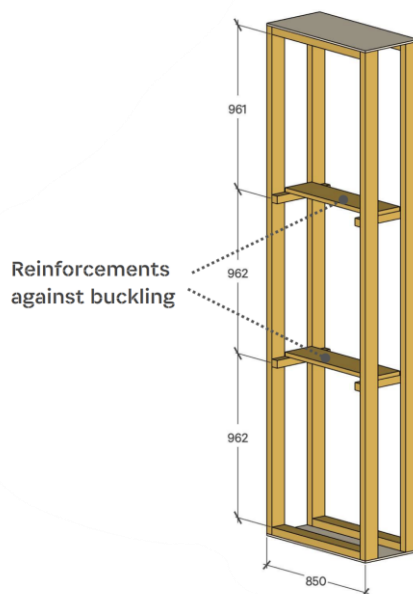
2.4.2.1 Ecococon s.r.o.

Ecococon je firma, která se zaměřuje na výrobu a prodej jednoho produktu, panelu, který slouží jako základní modul pro další konstrukci a tento produkt se zároveň snaží dostat na širší trh, tím že je plně certifikovaný, tedy ho lze legálně využít ve stavebních konstrukcích ve většině Evropy. Zároveň firma spolupracuje s architekty a nabízí veškeré podklady k návrhům staveb z jejich panelů. Ecococon jako jediná firma nenabízí vlastní montáž panelů, ale dodává panely zákazníkům s kompletním návodem na montáž i s kladečským plánem jednotlivých panelů a označením panelů.

Praxe je tedy taková, že architekt navrhne studii s využitím panelů Ecococon, následně dle této výkresové dokumentace Ecococon navrhne výrobní dokumentaci, tj. rozložení panelů s využitím základního modulu v maximální míře. Dle této dokumentace výrobce panely vyrobí a poté je zašle zákazníkovi na stavbu. Služba je k dispozici pro celou Evropu.

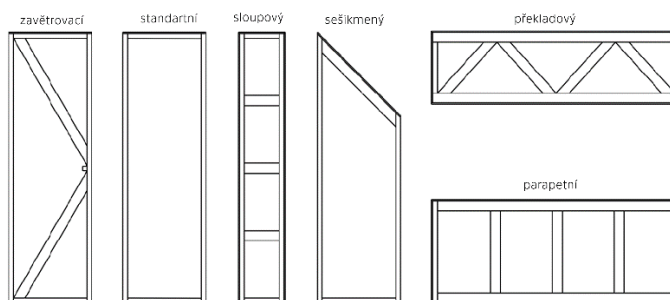
Jako konstrukční systém využívá Ecococon takzvanou žebříkovou konstrukci viz obr. č. 10. Nosná dřevěná konstrukce se skládá ze čtyř rohových sloupků s vodorovným vyztužením ve třech úrovních, které vymezuje místo pro jednotlivé balíky. Nosnost tohoto konstrukčního systému je certifikována na 110 kN/m.

¹ K informacím od firem s necertifikovaným výrobkem je zapotřebí přistupovat s odstupem, neboť firmy mohou jednoduše udávat mylné hodnoty, aby jejich produkt působil lépe. Často jsou údaje opravdu změřené, ale v ideálních podmínkách, nebo s odlišným nastavením zkoušky, než jaká se později prezentuje. Výrobci například udávají hodnotu tepelného odporu panelu, ale již není specifikováno, že panel má tuto hodnotu při obložení dřevovláknitou izolací 60mm a po nanesení omítek 2x 50mm.



Obrázek 11 Nosný konstrukční systém firmy Ecococon [15]

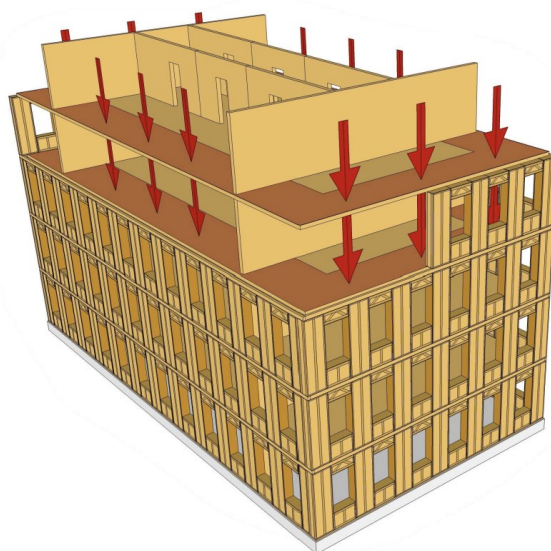
Přidáním různých zavětrovacích prvků vzniknou další typy panelů: zavětrovací, sloupový, sešikmený, překladový a parapetní.



Obrázek 12 Typy panelů [13]

Panely z výroby obvykle putují zakryté z exteriéru vzduchotěsnou, difuzně otevřenou membránou a na stavbě už se jen páskou přelepují spoje jednotlivých panelů. V případě zájmu ale Ecococon nabízí i větší stupeň prefabrikace a tím je skládání panelů do větších celků (omezení maximální velikosti určují možnosti dopravy na stavbu a zvedacího prostředku na stavbě), stěny pak jsou překryté vzduchotěsnou membránou plošně, následuje zakrytí dřevovláknitou deskou tl. 60 – 140 mm. Z vnitřní strany se panel přikryje dřevovláknitou deskou tl. 5mm a na ni se nanese hrubá hliněná omítka. V místech s očekávaným zatížením stěny, jako například kuchyně se panel přiklápí OSBⁱⁱⁱ deskou. Finálním stupněm prefabrikace je osazení okenních otvorů.

Za zmínku stojí také koncept výstavby vícepodlažních budov vyvinutý se slovenskou architektonickou kanceláří. Princip spočívá ve spojení dřevo-slaměných panelů na nosné obvodové stěny a CLT^{iv} panelů na nosné jádro. V rámci konceptu je vypracována řada detailů, ve spojení se stropem a věncem taktéž z CLT, například od firmy Lignotrend lze jednoduše postavit vícepodlažní budovu z přírodních materiálů, s velmi nízkým dopadem na životní prostředí a zároveň s velmi dobrými fyzikálními vlastnostmi budovy.



Obrázek 13 Nosná konstrukce vícepodlažní budovy [14]

2.4.2.2 Rainbow Ecosystem

Rainbow Ecosystem je ukrajinská firma s francouzskými kořeny. Panely vyrábí od roku 2016. Nosný systém dřevěné konstrukce je téměř stejný jako u firmy Ecococon. Rainbow Ecosystem nabízí primárně stavbu na klíč, kdy zajistí výstavbu celé hrubé stavby včetně technické dokumentace, zřízení základů, výroby Ecopanelů (firemní název pro dřevo-slaměné panely) a samotné hrubé stavby.

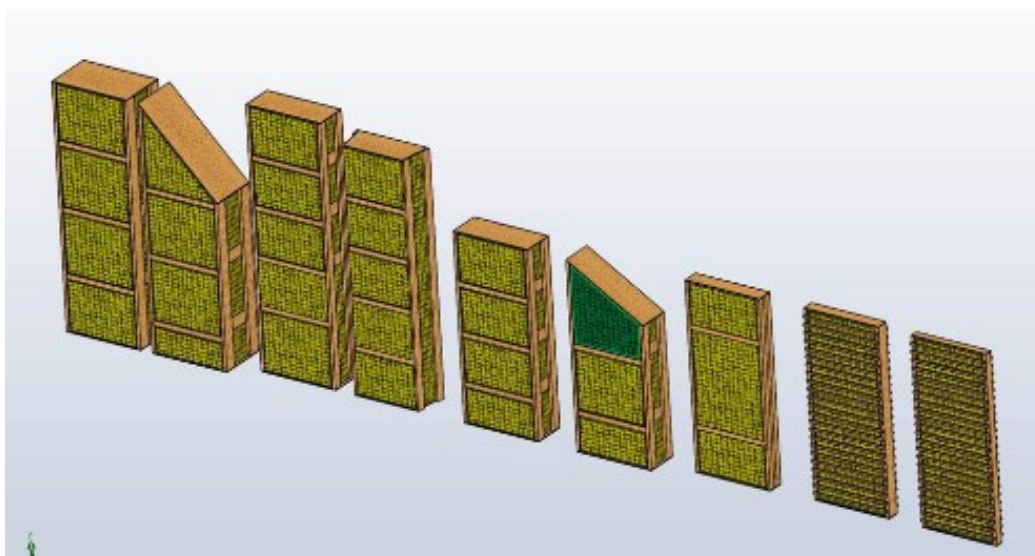
Ecopanely jsou plně certifikované pro použití při výstavbě na Ukrajině.

V rámci prefabrikace využívají automatizované linky pro výrobu základního panelu. Panely dále spojují do větších celků, připravují elektroinstalaci a nanášejí hrubou omítku z obou stran.

2.4.2.3 Baobaby, z.s.

Baobaby je spolek, který shromažďuje architekty, projektanty a řemeslníky zabývající se stavbami ze slaměných balíků. Spolek mimo jiné v letech 2017 až 2020 pořádal mezinárodní konferenci přírodního stavitelství. V roce 2020 se po několika letech plánování podařilo rozjet výrobní linku na slaměné panely a postavit první stavbu z těchto panelů, které jsou na trh dodávány pod názvem Baopanel. Výroba panelů a následná realizace funguje na bázi nasmlouvaných řemeslníků. Aktuální kapacita je 4 až 6 rodinných domů ročně. Baobaby nabízí jak dodání panelů jako stavebního materiálu, tak samotnou montáž na stavbě včetně omítnutí hliněnou, nebo vápennou omítkou. Panely zatím nejsou certifikované.

Nosný systém panelů Baopanel vychází z nosného systému Ecococonu až do té míry, že Baobaby převzaly i jejich statické výpočty. Baobaby ale využívají odlišnou technologii výroby. Pro slaměnou výplň využívají obřích balíků o rozměrech 3*1,2*0,9 m, které řežou na potřebnou tloušťku. Nevýhodou je rovnoběžná orientace vláken ve stěně vůči tepelnému toku (což vede ke snížení izolačních vlastností o více než 30 %), na druhou stranu se jedná o rychlejší proces výroby a tím pádem i její zlevnění. Další možnou výhodou je poměrně snadná variace rozměrů panelu a to jak do šířky a výšky, tak i tloušťky.



Obrázek 14 Typy slaměných panelů od Baobaby [12]

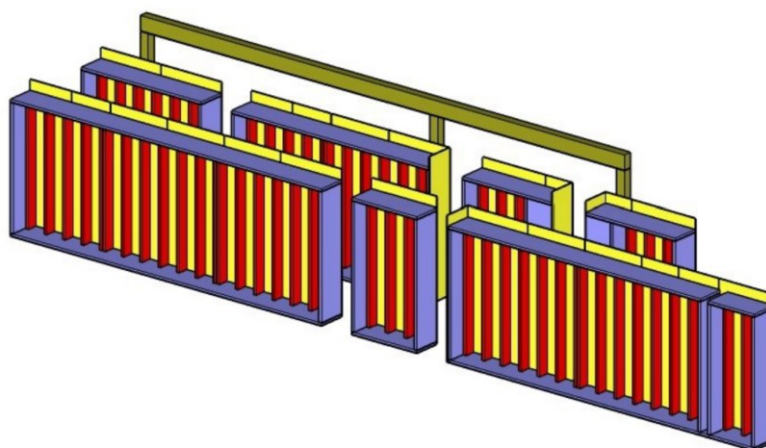
Prefabrikací vzniká pouze dřevěný nosný rám vyplněný slámou. Cílem do budoucna je ale zavést i prefabrikaci hliněných omítek a rozšířit nabídku panelů o střešní, podlahové a příčkové panely. Baopanely jsou specifické jedním

detailem, a to využitím minerální vlny jako izolantu mezi sloupky dřevěné konstrukce. Opět se jedná o krok ke snazší výrobě, protože vyplnit tento prostor částí slaměného balíku je poměrně komplikované a snadno může dojít k chybám a tudíž nepřiměřenému tepelnému toku, což využití minerální vlny eliminuje.

2.4.2.4 Paille-Tech scri

Paille-Tech je belgická firma, která svou činnost započala již v roce 2009 a za tu dobu dodala dřevo-slaměné panely pro desítky domů. Mimo menších rodinných domků navrhli a postavili hrubou stavbu také pro několik větších dvoupodlažních staveb. Dodávají jak samotné panely a jejich montáž, tak kompletní hrubou stavbu.

Konstrukční nosný systém se významně liší od předchozího žebříčkového. V Paille-Tech využívají plné desky jak ve vodorovném směru, tak ve svislém směru. Což způsobuje další liniový tepelný most a zvyšuje spotřebu dřeva. Na druhou stranu usnadňuje tento systém výrobu a následnou montáž. Panely se nevyrábí skládáním základních modulových prvků, ale vyrábí se na míru přímo velké panely o rozměrech až 3*9m. Obvodový rám tvoří desky po celé hloubce, jako vnitřní výztuhy jsou použity také desky, ale pouze s poloviční hloubkou oproti panelu viz obr. č. 14



Obrázek 15 Nosný systém firmy Paille-Tech – červeně vnitřní výztuhy [19]

Stěny se standardně vyrábějí s předpřipravenou elektroinstalací a hrubými omítkami. Mimo stěn vyrábí Paille-Tech panely pro šikmé střechy, již potažené pojistnou hydroizolací, která slouží jako ochrana před deštěm v průběhu



Obrázek 16 Fotka finálního produktu v dílně Paille-Tech srl [18]

2.4.2.5 Lorenz GmbH

Lorenz je německá firma působící na trhu od roku 2019, od té doby vyvinula a patentovala dva stroje na zpracování slaměných balíků a výrobu panelů. Nabízí panely ve třech tloušťkách a dvou kategoriích únosnosti (liší se tloušťka dřeva použitého v nosné konstrukci). Nosný systém je koncipovaný taktéž jako deskový viz obr. č. 16

V rámci prefabrikace vzniká pouze nosná konstrukce vyplněná slaměnými balíky.



Obrázek 17 Vizualizace panelu od firmy Lorenz [16]

2.4.2.6 ModCell

ModCell je firma působící na území Británie a Irska. Technologie výroby je velmi podobná té ve firmě Paille-Tech s tím rozdílem, že svislé výztuhy uvnitř panelu sahají přes celou hloubku. Pro snížení prostupu tepla se zachováním mechanických vlastností ale využívají I nosníků viz obr. č. 17. Tyto nosníky ze dřeva lze zakoupit jako systémový prvek například od firmy Steico.

Modcell nabízí dodání hrubé stavby bez realizace základů. Panely opouští prefabrikační halu obvykle se záklopem z LDF desek.



Obrázek 18 Vizualizace panelu od firmy ModCell [17]

2.4.2.7 Slampa

Slampa je druhá česká firma zabývající se výrobou a prodejem slaměných panelů. Oproti Baobaby ale využívá deskový konstrukční systém. Vyrobené panely jsou ve výsledku velmi podobné panelům od firmy Lorenz

Prefabrikovaný panel od firmy Slampa DNP (Dřevo Slaměný Panel) je vyráběný ve třech variantách – stěnový panel, překlád a štítový panel. Panely se do větších celků skládají až na stavbě.



Obrázek 19 Realizace z panelu DNP od firmy Slampa [20]

2.4.2.8 Prefabrikace desek k zateplení zděných staveb

Na trhu jsou také výrobky typu slaměná deska. Jedná se pouze o lisovanou slámu s lepidlem, které zaručuje soudržnost a má významný podíl na konečné pevnosti. Podle typu desky, míry stlačení, se desky využívají na izolace podlah, krovů, nebo obvodových stěn. Na obvodové stěny se musí kotvit, podobně jako například izolace z EPS. Předností slaměných desek je dobrá propustnost par. Desky se dají využít jako dodatečná izolace k přerušení tepelných mostů pro stěny ze slaměných balíků. [21]

Výrobci jsou například polská VestaEco, nebo české Ekopanely.



Parametr	Hodnota
měrná hmotnost	přibližně 110 kg/m ³
koeficient tepelné vodivosti λD	0,039 W/(m·K)
tepelná kapacita C	2100 J/(kg·K)
faktor difúzního odporu μ	5
pevnost v tlaku	30 kPa
třída reakce na oheň	E
složení	lignocelulózní vlákna, celulózní vlákna, BICO vlákna
materiál vyroben dle normy	PN-EN 13171

Obrázek 20 Izolační deska VestaEco WALL a její parametry [21]

2.4.2.9 Shrnutí

Z dostupných informací od výrobců vyplývá, že existuje několik možných přístupů k výrobě slaměných panelů. Základním prvkem jsou použité balíky. Lze využívat balíky libovolné, tedy místně dostupné, ale od použitých balíků se odvíjí následná konstrukce a technologický postup výroby. Dalším bodem ve výrobě je nosná dřevěná konstrukce. Firmy v zásadě využívají dva typy svislých nosných prvků a to desky, nebo žebříčky (rohové sloupy spojené vodorovnými latěmi). V neposlední řadě je významným faktorem firemní strategie, tedy rozhodnutí, jestli vyrábět panely ve standardizovaných menších velikostech a ty následně skládat k sobě, nebo vyrábět přímo na zakázku velké panely.

Je zřejmé, že panely lze během prefabrikace opatřit i hrubou omítkou a zabudovat elektroinstalaci, či případně další prvky. Tuto službu ale nenabízí v rámci prefabrikace všechny firmy, protože se jedná o činnost rizikovou, náročnou na koordinaci a přípravu.

V rámci Evropy je možné díky výše představeným systémům postavit dům z prefabrikovaných panelů od jedné z výše uvedených firem. Zároveň ale na trhu není velká konkurence z důvodu vysoké ceny za dopravu na dlouhé vzdálenosti. Firmy si tedy v podstatě navzájem nekonkurují, soutěží spíše s ostatními konvenčními, nebo nekonvenčními systémy pro zateplení budov.

3 ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY

Na základě provedené rešerše se autor domnívá, že existuje prostor pro optimalizaci nosné konstrukce prefabrikovaných dřevo-slaměných panelů. Největší prostor pro zlepšení aktuálního stavu vidí autor v omezení tepelných mostů rámci svíslé nosné konstrukce. Autor soudí, že většina systémů slaměných panelů využívá konstrukci, která vytváří významný tepelný most a zároveň tuto vlastnost ani nekompensuje významně nižšími náklady na zabudování, nebo snížením pracnosti.

4 CÍLE PRÁCE

Autor práce si klade následující cíle:

- Porovnání tepelně izolačních vlastností svíslé nosné konstrukce u panelů aktuálně vyráběných
- Návrh optimalizace svíslé nosné konstrukce
- Porovnání tepelně izolačních vlastností navržených detailů
- Porovnání efektivity výroby a montáže panelů s odlišnou konstrukcí rámu

5 METODY

Bude provedeno tepelně technické posouzení detailu spojení jednotlivých slaměných panelů pro konstrukce aktuálně používané v praxi, a to z důvodu zjištění tepelného toku, tedy tepelných ztrát vzniklých v závislosti na nosné konstrukci a pro účely porovnání.

Následně bude proveden návrh optimalizace svíslé nosné konstrukce v souladu s požadavky na tuto konstrukci a s uvážením pracnosti při výrobě. Pro navržené konstrukce bude proveden tepelně technický výpočet. Při návrhu optimalizací autor navrhne autor rozměry prvků na základě odborného odhadu. Pro praktické využití navržených konstrukcí by bylo nutné ověřit stabilitu, tj boulení a deformace prvku statickým výpočtem.

Pro všechny představené možnosti svíslé nosné konstrukce bude provedeno nacenění materiálu na základě běžně dostupných ceníků a bude určena pracnost na základě dat a konzultace s panem Karlíkem ze spolku

Baobaby. Ceny i pracnost budou určovány pro jeden panel o standartní výšce 3 000 mm a hloubce 400 mm.

Tepelně technické posouzení bude provedeno za pomoci programu Area. Pro účely výpočtů bude autor pracovat s jednotnými okrajovými podmínky pro všechny výpočty. Okrajové podmínky jsou následující:

- Teplota v interiéru 21 °C
- Teplota v exteriéru – 15 °C

Výpočet bude proveden pro stavební detail spojení dvou panelů ve svislém směru, pro panely s hloubkou 400 mm. Tepelně technické vlastnosti vyjádřené součinitelem tepelné vodivosti lambda λ materiálů použitých ve výpočtech jsou následující:

- $\lambda_{\text{slaměný balík}} = 0,056 \text{ W/mK}$ (Výpočtová hodnota dle Ecococon [13])
- $\lambda_{\text{dřevo(tok kolmo na vlákna)}} = 0,18 \text{ W/mK}$ (Dle hodnot v programu Area)
- $\lambda_{\text{dřevo(tok rovnoběžně s vlákny)}} = 0,41 \text{ W/mK}$ (Dle hodnot v programu Area)
- $\lambda_{\text{minerální vata}} = 0,038 \text{ W/mK}$ (Dle hodnot v programu Area)
- $\lambda_{\text{VestaEco Flex}} = 0,037 \text{ W/mK}$ (Dle výrobce VestaEco [21])
- $\lambda_{\text{VestaEco LDF}} = 0,057 \text{ W/mK}$ (Dle výrobce VestaEco [21])
- $\lambda_{\text{MDF deska}} = 0,07 \text{ W/mK}$ (Dle hodnot v programu Area)
- $\lambda_{\text{překližka}} = 0,13 \text{ W/mK}$ (Dle hodnot v programu Area)
- $\lambda_{\text{pásnice}} = 0,13 \text{ W/mK}$ (Dle výrobce STEICO [22])
- $\lambda_{\text{dřevovláknitá stojna}} = 0,14 \text{ W/mK}$ (Dle výrobce STEICO [22])
- $\lambda_{\text{STEICO therm}} = 0,04 \text{ W/mK}$ (Dle výrobce STEICO [22])
- $\lambda_{\text{uzavřená vzduchová mezera}} = 0,045 \text{ W/mK}$ (Dle hodnot v programu Area)

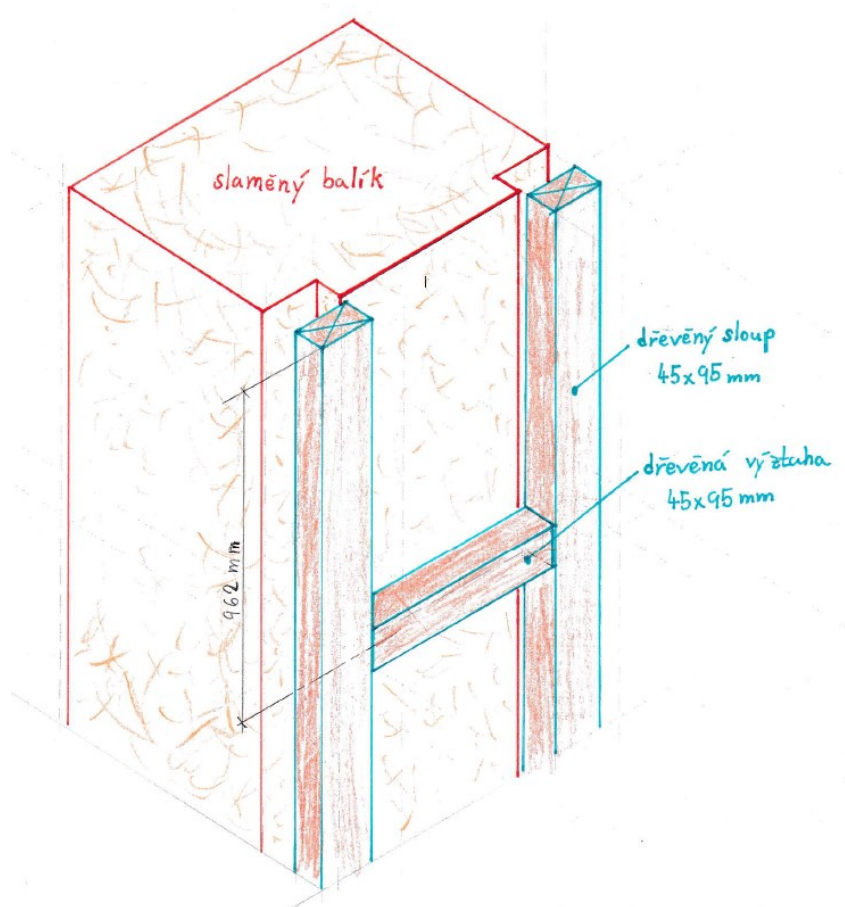
Výsledek výpočtu bude reprezentován tepelným tokem [W/m] skrze daný detail. Tato hodnota bude nadále porovnávána za účelem zjištění nejekonomičtějšího řešení.

Ve výpočtech bude zanedbána tepelná vodivost spojovacích prvků, šroubů. Jejich význam je minimální z pohledu jejich tepelného toku, který mohou přenášet.

6 POROVNÁNÍ ŘEŠENÍ DETAILU EXISTUJÍCÍCH STĚNOVÝCH MODULŮ V MÍSTĚ STYKU PANELŮ S OHLEDEM NA PROSTUP TEPLA KONSTRUKCÍ

6.1 Sloupková konstrukce s výplní slámou

Konstrukce, kterou využívají firmy Rainbow Ecosystem a Ecococon, v rozích jsou sloupky 45*95 mm a vodorovně probíhá vyztužení s roztečí min. 962 mm



Obrázek 21 Sloupková konstrukce

Výhody: cenová dostupnost, běžný materiál, výroba lze automatizovat.

Nevýhody: náročné zajištění vyplnění meze slámou, bez přesného ořezání balíku nelze dosáhnout stoprocentního vyplnění

6.1.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

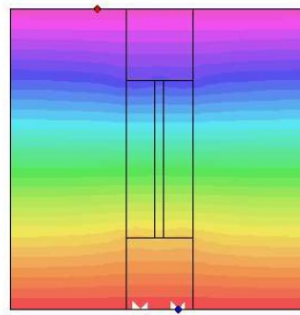
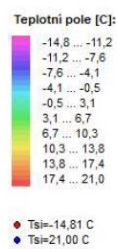
Z důvodu předpokládaných imperfekcí při vyplňování mezery mezi sloupy slámou. Stanovil autor pro výpočet horší tepelně izolační vlastnosti slámy o 25% v místě vyplnění prostoru mezi sloupy.

$$\lambda_{\text{slaměný balík 75\%}} = \lambda_{\text{slaměný balík}} * 1,25 = 0,07 \text{ W/mK}$$

Dále autor vypočítal ekvivalentní šířku dřevěného prvku pro dřevěné výztuhy. Pro panel o výšce 3 000mm jsou použité 4 výztuhy o průřezu 45*95mm.

$$l = 4 * 45 * \frac{95}{3000} = 5,7 \text{ mm}$$

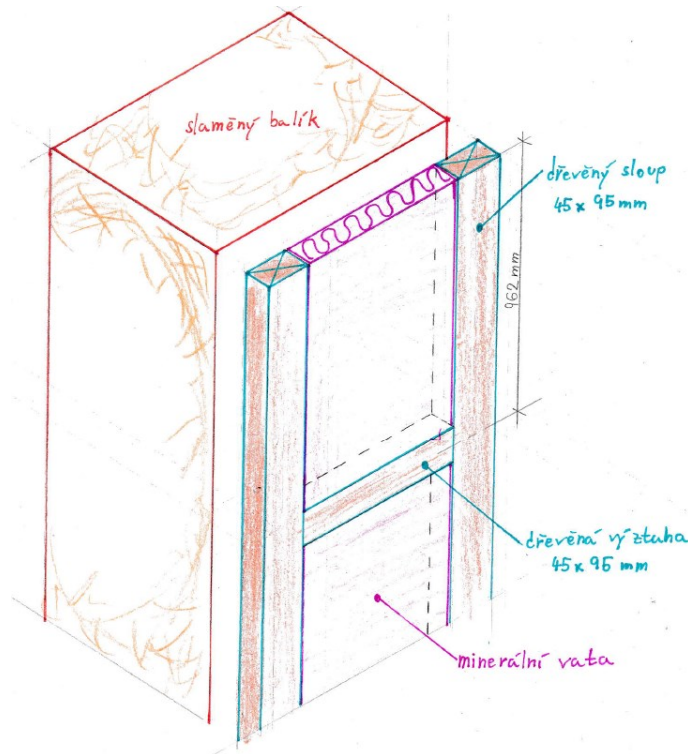
Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 1. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,6639 W/mK.



Obrázek 22 Detail 6.1 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

6.2 Sloupková konstrukce s izolací z minerální vaty

Tuto konstrukci využívá spolek Baobaby. Jedná se o výše uvedenou sloupkovou konstrukci, ale vzniklá dutina je vyplněna přesně řezanou minerální vatou.



Obrázek 23 Slouková konstrukce s izolací z minerální vaty

Výhody: cenová dostupnost, běžný materiál, výroba lze automatizovat, jistota kvality stěny oproti předchozí konstrukci

Nevýhody: vložení dalšího kroku do výroby panelů, přidání tzv. nepřirodního materiálu do konstrukce

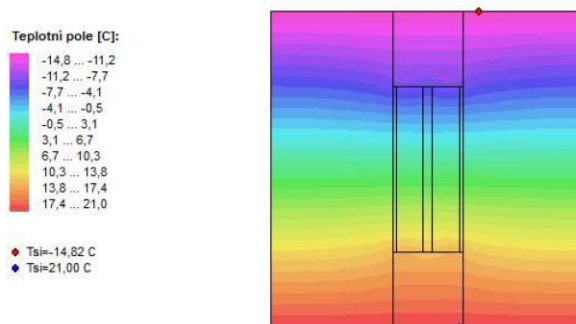
6.2.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

I v tomto případě autor počítá s ekvivalentní šířkou dřevěného prvku jako náhradu výztuh použitých v konstrukci. Pro panel o výšce 3 000 mm jsou použité 4 výztuhy o průřezu 45*95 mm.

$$l = 4 * 45 * \frac{95}{3000} = 5,7 \text{ mm}$$

Dále autor počítal s vyplněním minerální vatou pouze v tloušťce 40 mm, neboť takovou tloušťku lze zakoupit. Zbýlých 5 mm autor započítal jako uzavřenou vzduchovou mezeru.

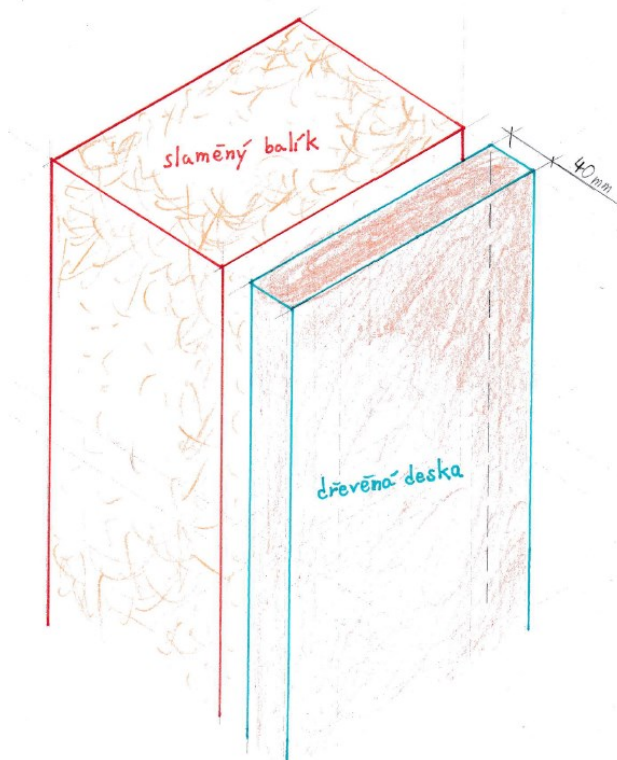
Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 2. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,4964 W/mK.



Obrázek 24 Detail 6.2 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

6.3 Desková konstrukce

Tuto konstrukci využívají pro boční stěny všechny ostatní firmy, Jedná se pouze o desku z lepeného dřeva. Tloušťka desky se různí podle statických požadavků stejně tak, jako se může lišit materiál. Firma Lorenz využívá desky z lepeného dřeva o tloušťce 45, nebo 60 mm, Paille-tech využívá také tloušťky 45 mm. Ve firmě Modcell navrhují panely CLT o tloušťce 40 mm



Obrázek 25 Desková konstrukce

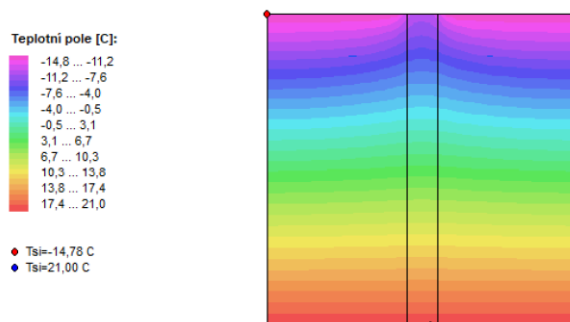
Výhody: jednoduchost výroby, zajištěná prostorová tuhost rámu, rovná plocha pro připojování na další konstrukce, lze objednávat přímo řezané díly

Nevýhody: tepelný most po celé výšce konstrukce

6.3.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

Pro výpočet autor uvažoval nejpříznivější variantu, tloušťku desky 40 mm vyrobenou z měkkého dřeva.

Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 3. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,6672 W/mK.



Obrázek 26 Detail 6.3 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

7 NÁVRH DALŠÍHO ŘEŠENÍ DETAILŮ, NÁVRH OPTIMALIZACE

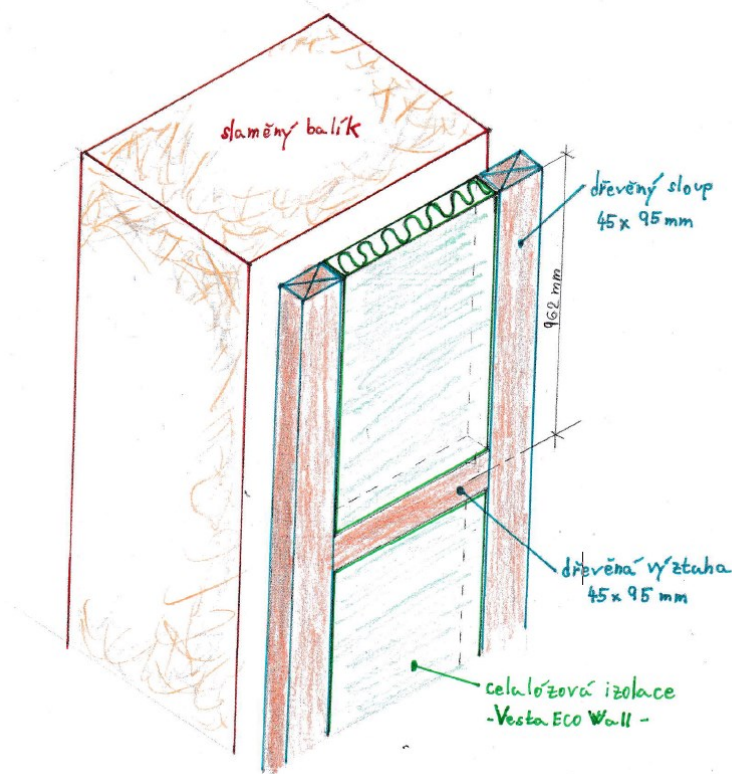
Cílem optimalizace je zlepšení tepelně technických vlastností finální prefabrikované konstrukce a zároveň zlevnění, zjednodušení výroby a montáže při zachování základních požadavků.

Požadavky na boční stěny panelů:

- Přenos zatížení do základů – obvykle se počítá s kompletním zatížením, v realitě hodně přenáší samotné balíky, obložení panelů a v případě hliněné omítky i ta
- Zajištění spojení s podkladem – možnost přišroubování k základového prahu
- Zajištění spojení se sousedícími panely v případě potřeby
- Zajištění připojovacích bodů v případech uchycení dodatečné izolační, nebo krycí desky
- Přenos zatížení během přesunu a montáže

7.1 Sloupková konstrukce s izolací z desek ze slisované slámy

První z možností optimalizace je záměna minerální vaty za tepelně izolační desku ze slisované slámy v rámci sloupkové konstrukci v kapitole 6.2. Slaměná deska má téměř identické izolační vlastnosti, jako minerální vlna, ale do konstrukce se bude zabudovávat materiál velmi podobného charakteru, jako přilehlé slaměné balíky a dřevěné sloupy, což vede například ke snížení rizika kondenzace. Zároveň se jedná o materiál přírodní, kdežto minerální vata se musí zpracovat průmyslovou výrobou za vysokých teplot.



Obrázek 27 Sloupková konstrukce s izolací z desek ze slisované slámy

Výhody: přírodní materiál, výroba lze automatizovat, jistota kvality stěny oproti vyplňování slaměným balíkem

Nevýhody: komplikovanější postup při výrobě

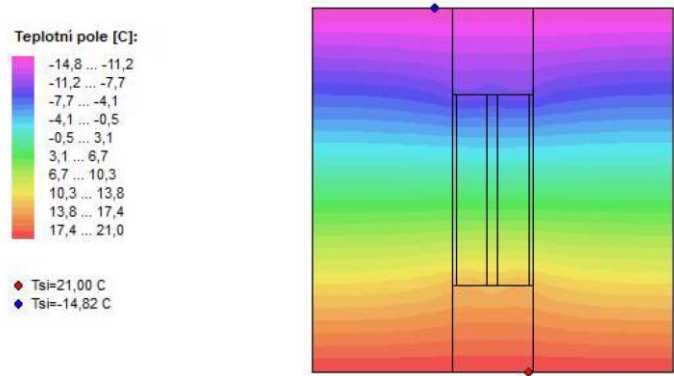
7.1.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

I v tomto případě autor počítá s ekvivalentní šířkou dřevěného prvku jako náhradu výztuh použitých v konstrukci. Pro panel o výšce 3 000 mm jsou použité 4 výztuhy o průřezu 45*95 mm.

$$l = 4 * 45 * \frac{95}{3000} = 5,7 \text{ mm}$$

Dále autor počítal s vyplněním slaměnou izolační deskou pouze v tloušťce 40 mm, neboť takovou tloušťku lze zakoupit. Zbylých 5 mm autor započítal jako uzavřenou vzduchovou mezeru.

Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 4. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,4939 W/mK. Dle předpokladu je tepelný tok detailem nižší než u předchozích variant, protože jsme výztuhy které tvořily tepelný most vyměnili za větší masu tepelně izolačního materiálu.



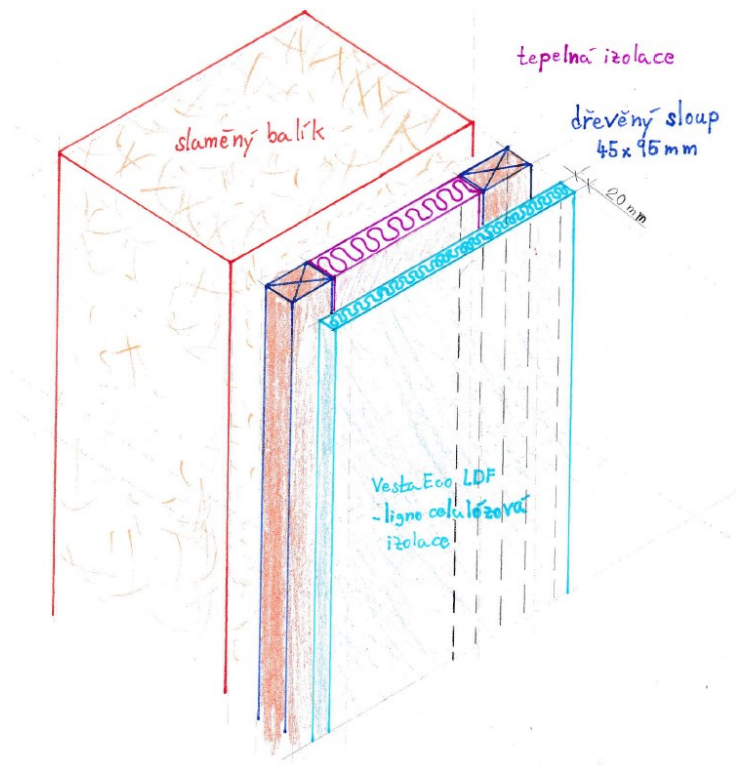
Obrázek 28 Detail 7.1 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

7.2 Sloupková konstrukce opláštěná deskou

Tato konstrukce vychází ze sloupové s dutinou vyplněnou minerální vatou, nebo slaměnou deskou, ale místo vodorovných latí slouží jako prostorová výztuha vnější deska, která je ke sloupům přilepená, nebo přišroubovaná. Jako výztuhu lze použít tepelně izolační desku o tloušťce 20 mm, nebo tenčí desku (10 mm), ale s horšími tepelně izolačními vlastnostmi.

7.2.1 Tepelně izolační deska z celulózy

Pro tuto variantu autor navrhuje slaměnou desku od firmy Vesta Eco, konkrétně typ LDF o tloušťce 20mm s $\lambda_{\text{VestaEco LDF}} = 0,037 \text{ W/mK}$.



Obrázek 29 Sloupková konstrukce opláštěná tepelně izolační deskou

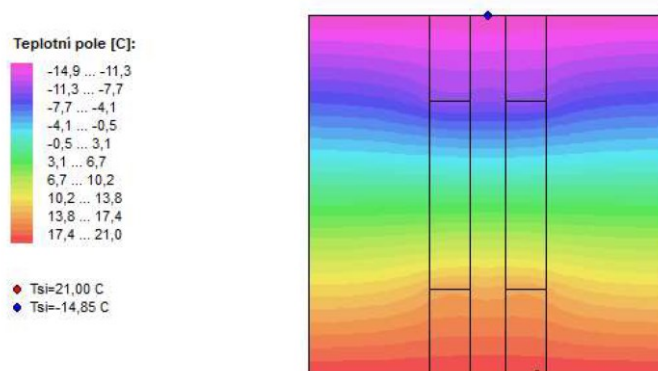
Výhody: rovná stěna – výhodné při montáži, nižší pracnost při vkládání tepelné izolace mezi sloupy a zároveň lépe automatizovatelná montáž výztuhy, oproti vkládání vodorovných latí

Nevýhody: vyšší spotřeba materiálu

7.2.1.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

Pro výpočet autor uvažoval mezi sloupy tepelnou izolaci formou slaměné desky Vesta Eco Flex. Vzhledem k velmi podobným hodnotám součinitele tepelné vodivosti λ a difuzního odporu mezi navrhovanou slaměnou izolací a izolací z minerální vaty ovlivňuje výběr konkrétní izolaci cena a dostupnost, případně investor s konkrétními požadavky na materiál. Pro potřeby výpočtu jsou izolace zaměnitelné.

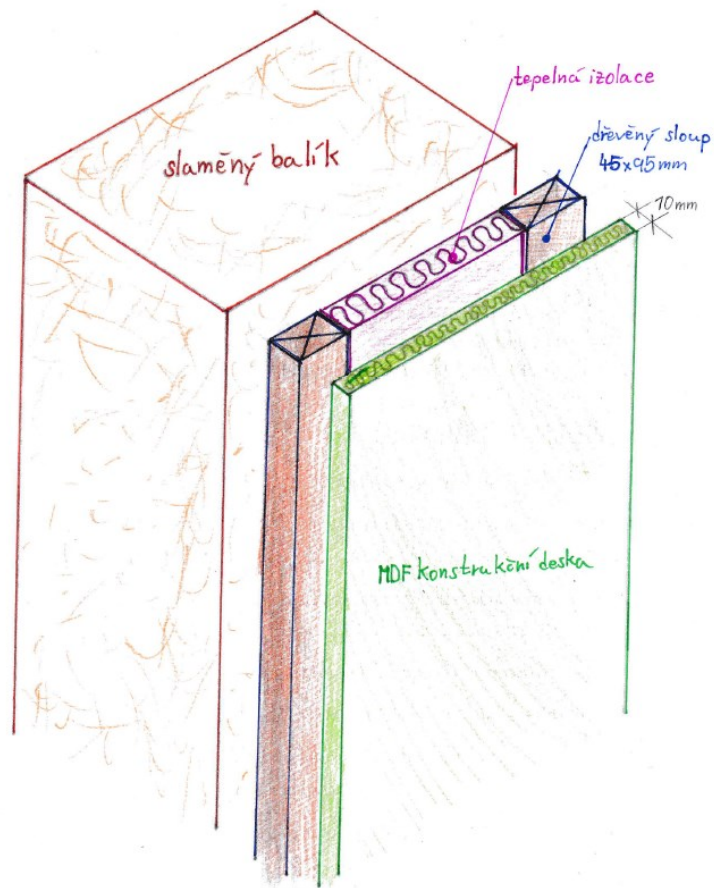
Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 5. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,1842 W/mK.



Obrázek 30 Detail 7.2 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

7.2.2 Konstrukční deska MDF

Pro tuto variantu autor navrhuje konstrukční MDF desku s $\lambda_{\text{MDF deska}} = 0,07$ W/mK o tloušťce 10 mm.



Obrázek 31 Sloupková konstrukce opláštěná MDF deskou

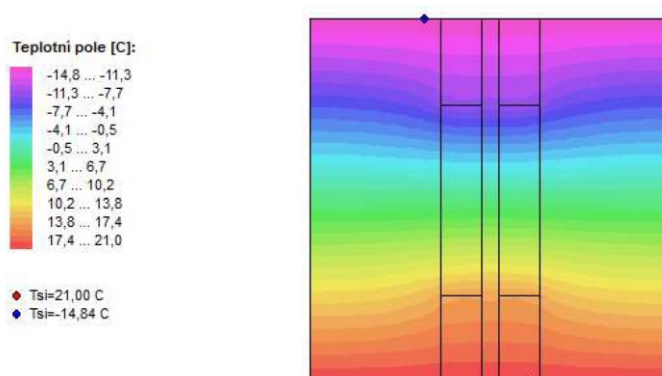
Výhody: rovná stěna – výhodné při montáži, nižší pracnost při vkládání tepelné izolace mezi sloupy a zároveň lépe automatizovatelná montáž výztuhy, oproti vkládání vodorovných latí

Nevýhody: vyšší spotřeba materiálu

7.2.2.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

Pro výpočet autor uvažoval mezi sloupy tepelnou izolaci formou slaměné desky Vesta Eco Flex. Vzhledem k velmi podobným hodnotám součinitele tepelné vodivosti λ a difuzního odporu mezi navrhovanou slaměnou izolací a izolací z minerální vaty ovlivňuje výběr konkrétní izolaci cena a dostupnost, případně investor s konkrétními požadavky na materiál. Pro potřeby výpočtu jsou tyto izolace zaměnitelné.

Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 6. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,1956 W/mK. Tepelný tok vychází větší, než u předchozí varianty s tlustší deskou, ale lepšími tepelně izolačními vlastnostmi.



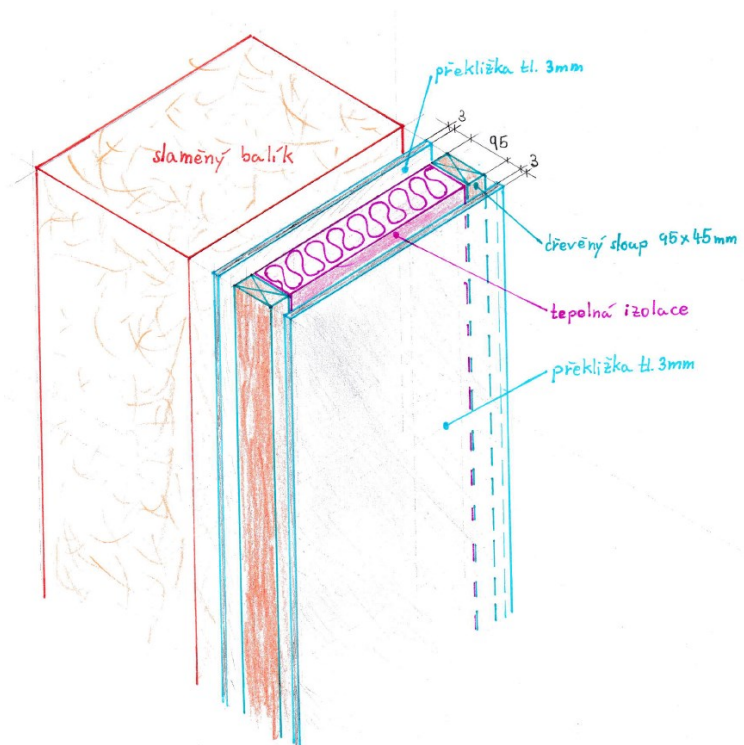
Obrázek 32 Detail 7.3 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

7.3 Sloupková konstrukce opláštěná z obou stran

Další navrhovaná varianta je sloupková konstrukce se zajištěním prostorové tuhosti pomocí dvou tenkých desek z lepeného dřeva (překližek). Tloušťka desek byla navržena na 3 mm.

Zároveň u této konstrukce autor změnil orientaci sloupů. To zajistí panelu větší prostorovou tuhost a zároveň lze tuto konstrukci s výhodou využívat i pro vodorovnou část nosné konstrukce panelu. A to z důvodu rovné vnější plochy nutné pro montáž a stabilitu celé stavby a zároveň pootočením dřevěných hranolů vznikne nosník, který dobře odolává danému zatížení. Konkrétní únosnost nosné konstrukce ve svislém i vodorovném směru je zapotřebí doložit výpočtem, který není předmětem této bakalářské práce.

Do konstrukce je nutné zabudovat více než dvojnásobné množství tepelné izolace. Zároveň už je prostor tak rozměrný, že by mohlo být proveditelné ho vyplnit částí slaměných balíků. Například spolek baobaby umí uříznout z obřích balíků plát o tloušťce 10 cm, po další úpravě na žádanou šířku a výšku již lze využít slaměného balíků jako izolace mezi sloupy nosné konstrukce.



Obrázek 33 Sloupková konstrukce opláštěná deskou 2

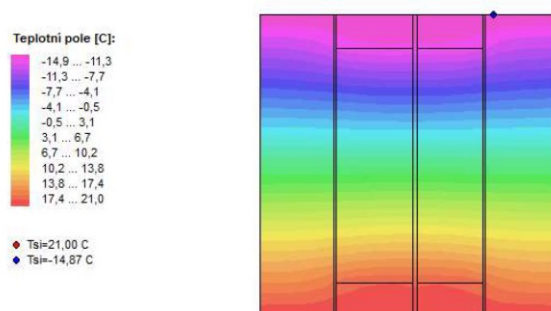
Výhody: rovná stěna – výhodné při montáži, nižší pracnost při vkládání tepelné izolace mezi sloupy, lze použít jako nosný prvek svislí i vodorovný, jednoduchá variabilita výsledné výšky a šířky panelu

Nevýhody: přidaný krok do výroby nosné konstrukce montáží další desky, větší prostor mezi sloupy, který je nutné izolovat

7.3.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

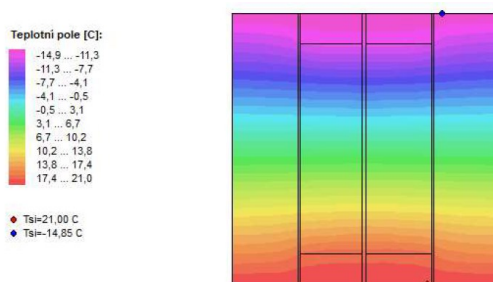
Pro výpočet autor uvažoval mezi sloupy tepelnou izolaci formou slaměné desky Vesta Eco Flex. Vzhledem k velmi podobným hodnotám součinitele tepelné vodivosti λ a difuzního odporu mezi navrhovanou slaměnou izolací a izolací z minerální vaty ovlivňuje výběr konkrétní izolaci cena a dostupnost, případně investor s konkrétními požadavky na materiál. Pro potřeby výpočtu jsou tyto izolace zaměnitelné.

Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 7. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 1,9589 W/mK. Jedná se o nejefektivnější konstrukci z pohledu tepelného toku detailem.



Obrázek 34 Detail 7.4 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

Pro úplnost autor vypočítal také tepelný tok detailem v případě vyplnění mezery mezi sloupy slaměným balíkem. Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 8. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,2946 W/mK.



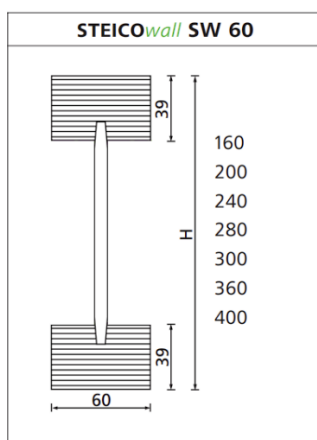
Obrázek 35 Detail 7.4.2 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

7.4 Konstrukce z prefabrikovaného I sloupu

Poslední navrhovanou variantou nosné konstrukce je využití prefabrikovaných nosníků. Pro potřeby této práce autor vybral nosníky vyráběné firmou Steico. Nosníky se dodávají s izolovanou stojnou, nebo bez izolace.

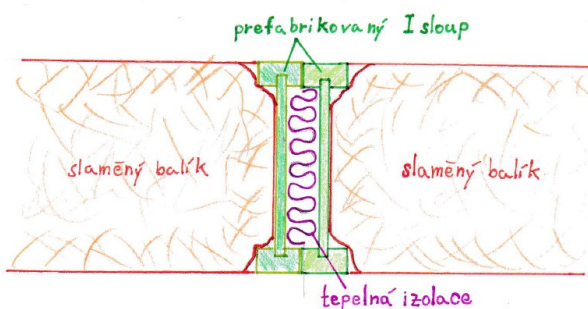
7.4.1 Izolace vkládaná během montáže

Autor navrhuje nosník Steico wall SW 60, který má dle podkladů od výrobce podobné vlastnosti, jako deska z plného materiálu o tloušťce 40 mm, která byla použita již výše. Nosník se dodává i v požadované hloubce 400 mm.



Obrázek 36 Rozměry stěnového nosníku Steico wall SW 60 [22]

Prefabrikovaný sloup bude tvořit stěnu nosné konstrukce. Volný prostor mezi pásnicemi bude z vnitřní strany panelu vyplněn slaměným balíkem. Z vnější strany bude při montáži vložena izolace (například z minerální vaty) potřebné tloušťky viz obr. č. 36.



Obrázek 37 Řez spojením dvou panelů s nosnou konstrukcí z prefa. I sloupu [22]

Výhody: jediný prvek nutný pro stabilitu konstrukce

Nevýhody: komplikované vkládání balíku do prostoru mezi pásnice, nerovný profil stěny, nutnost vkládání izolace během montáže, cenová závislost na dodavateli prefabrikátu, dodávání pouze ve standartních délkách 7,9 a 13m

7.4.1.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

K výpočtu autor využil informace o tepelné vodivosti materiálů od výrobce.

ÚDAJE O MATERIÁLECH PODLE ETA-06/0238

Materiál	Průměrná objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m*K)]	Měrná tepelná kapacita c [J/(kg*K)]	Faktor difuzního odporu vodní páry μ	
				suchý	vlhký
Pásnice z KVH	450	0,13	1.600	50	20
Pásnice z LVL	500	0,13	1.600	50	20
Dřevovláknité stojny	900	0,14	1.700	10	20

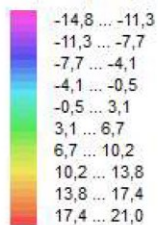
Obrázek 38 Fyzikální údaje o materiálech použitých při výrobě nosníku Steico [22]

Z důvodu předpokládaných imperfekcí při vyplňování mezery mezi pásnicemi slámou. Stanovil autor pro výpočet horší tepelně izolační vlastnosti slámy o 25 % v místě vyplnění prostoru mezi pásnicemi.

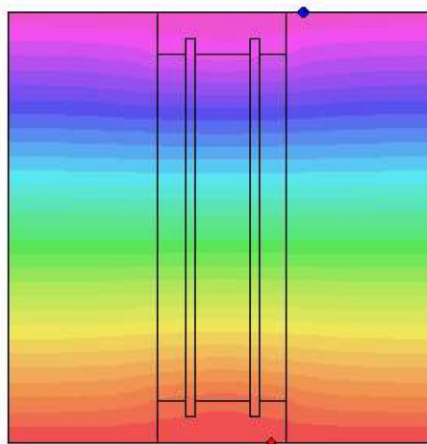
$$\lambda_{\text{slaměný balík 75\%}} = \lambda_{\text{slaměný balík}} * 1,25 = 0,07 \text{ W/mK}$$

Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 9. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,172 W/mK.

Teplotní pole [C]:



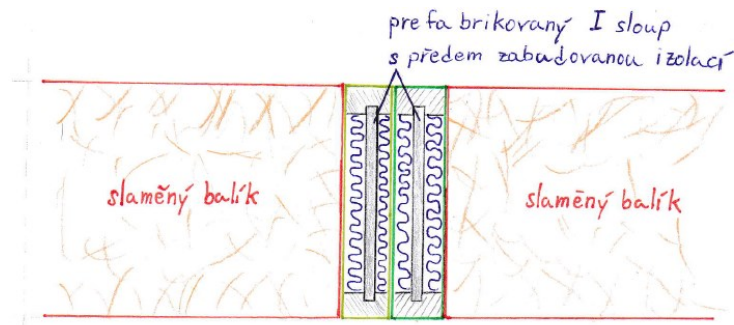
◆ Tsi=21,00 C
◆ Tsi=-14,84 C



Obrázek 39 Detail 7.5 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

7.4.2 Sloup s předem izolovanou stojnou

Tato konstrukce je stejně jako přechozí tvořena nosníkem Steico wall SW60. Avšak v tomto případě je součástí nosníku také izolace s $\lambda_{\text{STEICO therm}} = 0,04 \text{ W/mK}$ zabudovaná během výroby.



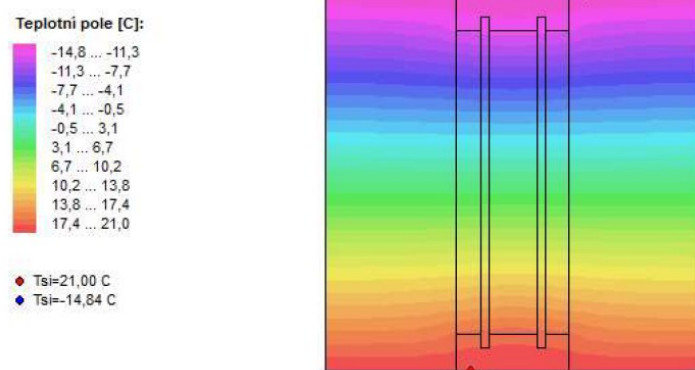
Obrázek 40 Řez spojením dvou panelů s nosnou konstrukcí z prefa. I sloupu s izolovanou stojnou [22]

Výhody: jediný prvek nutný pro stabilitu konstrukce, rovná stěna – výhodné při montáži

Nevýhody: cenová závislost na dodavateli prefabrikátu, dodávání pouze ve standardních délkách 7,9 a 13 m.

7.4.2.1 Výpočet dvourozměrného stacionárního pole teplot

Zpráva o výpočtu v programu Area přiložena jako příloha č. 10. Výsledkem výpočtu je tepelný tok 2,0524 W/mK.



Obrázek 41 Detail 7.6 pole teplot vyobrazené na základě výpočtu v programu Area

8 STANOVENÍ NÁKLADŮ NA VÝROBU POSUZOVANÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍ

V této kapitole chce autor představit přímé náklady na výrobu nosné konstrukce pro slaměný panel. Z důvodu následného porovnávání využitelnosti jednotlivých konstrukcí.

8.1 Náklady na materiál

Autor v tabulce č. 3 stanovuje přímé náklady na materiál pro dříve uvedené nosné konstrukce. Cena je stanovena pro svislou část nosné konstrukce jednoho panelu o hloubce 400 mm a výšce 3 000 mm.

Množství a typ potřebného materiálu je spočítáno podle výše navržených detailů.

Ceny materiálů za jednotku a za balení jsou zjištěny ze stránek a informací od prodejců – DEK a.s [23]; BeSt Home Service s. r. o. [přímá komunikace]; Pila Jeneč [přímá komunikace] a od výrobce Steico [24]. Do výčtu autor nezapočítával náklady na balíky slámy, neboť pro výrobce panelů se jedná o zanedbatelnou položku.

Pro finální vyčíslení cen je přihlédnuto k nutnosti zakoupit prvky o vyráběných rozměrech a dále k prořezu 20 % pro izolace. Ceny jsou vyčísleny bez DPH.

Tabulka 3 Náklady na materiál navržených konstrukcí

Detail	Materiál	Výpočet [m]	Množství	Jednotky	Kus / balení	Cena za jednotku	Cena za kus/balení	Cena celkem	Celkové náklady
1 - Ecococon, Rainbowsystem	Dřevěné hranoly 45*95	4*3+8*0,4	15,2 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 900 Kč	1 900 Kč	
2 - Baobaby	Dřevěné hranoly 45*95	4*3+8*0,4	15,2 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 900 Kč	2 036 Kč	
	Minerální vata tl. 40mm	0,21*3*2	1,26 m ²	8,64 m ²	90 Kč	775 Kč	136 Kč		
3 - Lorenz, PaillleTech, Modcell	CLT deska tl. 40mm	0,4*3*2	2,4 m ²			1 346 Kč	3 230 Kč	3 230 Kč	
4	Dřevěné hranoly 45*95	4*3+8*0,4	15,2 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 900 Kč	2 140 Kč	
	VestaEco flex tl. 40mm	0,21*3*2	1,26 m ²	24 m ²	159 Kč	3 816 Kč	240 Kč		
5	Dřevěné hranoly 45*95mm	4*3	12 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 520 Kč	2 256 Kč	
	VestaEco flex tl. 40mm	0,21*3*2	1,26 m ²	24 m ²	159 Kč	3 816 Kč	240 Kč		
	VestaEco LDF tl. 20mm	0,4*3*2	2,4	1,2*2,4m	172 Kč	495 Kč	495 Kč		
6	Dřevěné hranoly 45*95mm	4*3	12 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 520 Kč	2 748 Kč	
	VestaEco flex tl. 40mm	0,21*3*2	1,26 m ²	24 m ²	159 Kč	3 816 Kč	240 Kč		
	MDF konstrukční deska tl. 10mm	0,4*3*2	2,4 m ²	2,8*2,07m	343 Kč	1 988 Kč	988 Kč		
7	Dřevěné hranoly 45*95mm	4*3	12 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 520 Kč	3 492 Kč	
	VestaEco flex tl. 80mm	0,31*3*2	1,86 m ²	24 m ²	320 Kč	7 680 Kč	714 Kč		
	Překližka tl. 3mm	0,4*3*2*2	4,8 m ²	3*1,5	215 Kč	968 Kč	1 258 Kč		
7.2	Dřevěné hranoly 45*95mm	4*3	12 m	4,2 m	90 Kč	380 Kč	1 520 Kč	2 778 Kč	
	Překližka tl. 3mm	0,4*3*2*2	4,8 m ²	3*1,5	215 Kč	968 Kč	1 258 Kč		
8	Steico wall SW60	2*3	6 m	9 m	396 Kč	3 564 Kč	2 376 Kč	2 567 Kč	
	Minerální vata tl.60mm	1*0,32*3	0,96 m ²	5,57 m ²	159 Kč	885 Kč	191 Kč		
9	Steico wall SW60 s izolovanou stojnou	2*3	6 m	9 m	456 Kč	4 104 Kč	2 736 Kč	2 736 Kč	

Z tabulky vyplývá, že nejlevněji vycházejí konstrukce sloupové s vyztužením vodorovnými trávky. Poté se okolo stejné cenové hladiny pohybují konstrukce sloupové s vyztužením deskou a také konstrukce z prefabrikovaných I sloupů. Nejdražší pak vychází konstrukce z CLT desky a sloupová konstrukce vyztužená po obou stranách překližkou.

Pro reálnější vyčíslení nákladů by bylo zapotřebí zahrnout do cen na materiál také dopravu materiálu do místa výroby a nabídkové ceny při odebrání většího množství.

8.2 Pracnost

Pro stanovení pracnosti výroby nosné konstrukce slaměného panelu autor stanovil čtyři hlavní činnosti probíhající při výrobě. Tyto činnosti jsou ohodnoceny body 1 až 10, kde 1 představuje nenáročnou, rychlou činnost, naopak 10 představuje činnost komplikovanou a časově náročnou. 0 je přiřazena k těm činnostem, které se u dané konstrukce neprovádějí. Výstupem z této tabulky je součet bodů, které mohou představovat náročnost provedení konstrukce a z toho vyplývající pořadí vhodnosti využití dané konstrukce dle pracnosti.

Hodnocení jednotlivých činností vzniklo dle odborného odhadu po konzultaci s panem Karlíkem z firmy Baobaby a panem Petitem z firmy Rainbow ekosystém. Autor vzal v úvahu většinově automatizovanou výrobu nosné konstrukce.

Tabulka 4 Pracnost výroby

Detail	Řezání dřevěných prvků	Sešroubování sloupů a výztuh	Formátování a vkládání izolace	Formátování a vkládání slaměných balíků	Součet	Pořadí
1 - Ecococon, Rainbowsystem	2	5	0	7	14	5
2 - Baobaby	2	5	4	0	11	4
3 - Lorenz, PailleTech, Modcell	3	0	0	0	3	2
4	2	5	4	0	11	4
5	4	3	2	0	9	3
6	4	3	2	0	9	3
7	5	4	2	0	11	4
7.2	5	4	8	0	17	5
8	1	0	5	5	11	4
9	1	0	0	0	1	1

9 VÝSLEDKY

Výsledky předchozích výpočtů tepelného toku, finančních nákladů a pracnosti jsou v tabulce č. 5.

Tabulka 5 Výsledky

Detail	Tepelný tok Q	Náklady finanční	Pracnost
	[W/m]		
1 - Ecococon, Rainbowsystem	2,6639	1 900 Kč	5
2 - Baobaby	2,4964	2 036 Kč	4
3 - Lorenz, PailleTech, Modcell	2,6672	3 230 Kč	2
4	2,4939	2 140 Kč	4
5	2,1842	2 256 Kč	3
6	2,1956	2 748 Kč	3
7	1,9589	3 492 Kč	4
7.2	2,2946	2 778 Kč	5
8	2,1720	2 567 Kč	4
9	2,0524	2 736 Kč	1

Pro lepší představu významu tepelného toku je lepší vynásobit výsledky výškou stěny (3 m) a tím získáme tepelný tok prostupující detailem. Pro další znázornění je možné předpokládat běžný rodinný dům o ploše 120 m² s obvodovou stěnou o délce 46 m vystavěný z prefabrikovaných slaměných panelů a šířce 1 m a výšce 3 m. V tomto případě lze vypočítaný tepelný tok vynásobit výškou panelu a množstvím spojení panelů $Q=3 \cdot 46$. Výsledky této hypotézy jsou v tabulce č. 6

Tabulka 6 Přepočítání tepelného toku stěnou na rozměry rodinného domu

Detail	Tepelný tok Q	Q pro jeden detail o výšce 3 m [W]	Q pro rodinný dům z 46 panelů o výšce 3 m [W]
	[W/m]		
1 - Ecococon, Rainbowsystem	2,6639	7,992	367,62
2 - Baobaby	2,4964	7,489	344,50
3 - Lorenz, PailleTech, Modcell	2,6672	8,001	368,07
4	2,4939	7,482	344,16
5	2,1842	6,553	301,42
6	2,1956	6,587	302,99
7	1,9589	5,877	270,33
7.2	2,2946	6,884	316,65
8	2,1720	6,516	299,74
9	2,0524	6,157	283,22

Z tabulky vyplývá rozdíl tepelného toku mezi jednotlivými detaily v řádech desítek wattů, nebo také jednotek procent. Rozdíl mezi největší a nejmenší ztrátou je téměř 98 wattů, což je téměř 30 %.

Pro odhad finanční stránky lze představit další modelový příklad. Topná sezóna v ČR je od 1. září do 31. května. To je 9 měsíců, 275 dnů. Odhadem se topí v průměru 6 hodin denně. Z toho vyplývá rozdíl roční spotřeby na energii 162kWh.

$$98 \text{ [W]} * 275 \text{ [dnů]} * 6 \text{ [h]} = 161,7 \text{ kWh}$$

Při ceně 6,05 Kč/kWh² [25] se jedná o 978 Kč/rok.

10 DISKUZE

Z předchozích výpočtů a kalkulací je zřejmé, že řešení jsou si velmi podobná a žádné řešení výrazně nevyčnívá, a to jak pozitivně, tak negativně. Rozdíl ve ztrátách tepelným tokem se pohybuje mezi 5 a 30 % a rozdíl v nákladech na materiál se pohybuje od 100 do 1600 Kč, což je od 5 do 45 %. Z pohledu stanovené pracnosti jsou si řešení také podobně náročná na realizaci, s výjimkou základní deskové konstrukce (detail 3) a konstrukce s využitím prefabrikovaných, zateplených I sloupů (detail 9), kde je pracnost minimální.

Dle názoru autora je v konstrukci dřevo-slaměných panelů zcela jistě prostor pro optimalizace, avšak provedené kalkulace neukázaly významnou výhodnost určitého typu konstrukce. Rozhodnutí pro využití daného typu nosné konstrukce je z pozice výrobce silně ovlivněno náklady na materiál, výrobní linku a pracností při výrobě. Tyto údaje jsou ale velmi individuální, jsou přímo závislé, na lokalitě a velikosti firmy a podobně. Proto nelze říci, která z konstrukcí je ideální pro obecné použití. Naopak, pro každé z představených řešení existují výhody, i nevýhody.

² Jedná se o cenu platnou v době napsání této práce, tedy květen 2023. Cena vyplývá ze zastropovaných cen pro dodávky elektřiny, které byly stanoveny nařízením vlády v účinnosti od 1.1.2023.

ZÁVĚR

Na základě výsledků a jejich diskuze shrnuté v této práci je možné vyvodit následující závěry a doporučení.

- Prefabrikované dřevo-slaměné panely jsou budoucností staveb ze slaměných balíků.
- Evropští výrobci dřevo-slaměných panelů využívají pouze dvou typů dřevěné nosné konstrukce – sloupové s vodorovnými výztuhami a deskové.
- Svislá část nosné konstrukce jde optimalizovat z pohledu tepelného prostupu výměnou výztužných prvků u sloupové konstrukce, nebo využitím prefabrikovaných I sloupů.
- Navrhnutá řešení optimalizace z pohledu prostupu tepla ale přinášejí navýšení nákladů, nebo vyšší pracnost
- Výběr vhodné konstrukce musí zvážit výrobce, s ohledem na místní podmínky, velkoobchodní ceny materiálů a možnosti výroby

Pro další výzkum a využití by bylo vhodné prakticky ověřit cenu za materiál pro konkrétní závod, pracnost výroby a tepelné toky navrhnutými konstrukcemi.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MÁRTON, Jan. *Stavby ze slaměných balíků*. Liberec: Vydáno vlastním nákladem, 2014.
- [2] MINKE, Gernot a Benjamin KRICK. *Straw Bale Construction Manual*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2020.
- [3] KOH, Chuen a Dimitrios KRANIOTIS. Hygrothermal performance, energy use and embodied emissions in straw bale buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2021, (245), 111091 [cit. 2023-05-12]. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111091>
- [4] MILUTIENĚ, Edita, Jurgis STANIŠKIS, Audris KRUČIUS a Daumilas ARDICKAS. Increase in buildings sustainability by using renewable materials and energy. *Clean Technologies and Environmental Policy* [online]. 2012, **14**(6), 1075–1084 [cit. 2023-05-12]. ISSN 1618-9558. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s10098-012-0505-2>
- [5] WALKER, Peter, Andrew THOMSON a Daniel MASKELL. *Straw bale construction* [online]. 2016 [cit. 2023]. Dostupné z: <https://sciencedirect.com/science/article/pii/B978008100038000006>
- [6] TLAJI, Ghadie, Pascal BIWOLE, Salah OULDBOUKHITINE a Fabienne PENNEC. A Mini-Review on Straw Bale Construction. *Energies* [online]. 2022, **15**(21), 7859. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:[10.3390/en15217859](https://doi.org/10.3390/en15217859)
- [7] BARBARA, Jones. *Building with straw bales : a practical manual for self-builders and architects*. Cambridge: Green Books, 2015.
- [8] KING, Bruce. *Design of Straw Bale Buildings*. San Rafael: Green Building Press, 2006.
- [9] LEHNER, Petr, Marie HORŇÁKOVÁ, Pavel VLČEK a Jiří TESLÍK. Experimental Investigation of Two Test Setups on Straw Bales Used as

- Load-Bearing Elements of Buildings. *Buildings* [online]. 2021, 11(11), 539. ISSN 2075-5309. Dostupné z: doi:10.3390/buildings11110539
- [10] ČESKO. § 156 zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) - znění od 24. 1. 2023. In: <i>Zákony pro lidi.cz</i> [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 9. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183#p156>
- [11] ČESKO. Část 4 Hlava 1 Díl 4 zákona č. 283/2021 Sb., stavební zákon - znění od 1. 7. 2023. In: <i>Zákony pro lidi.cz</i> [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 9. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-283#cast4-hlava1-dil4>
- [12] BAOBABY, Z.S. Baobaby přírodní stavby. *Samonosné slaměné panely* [online]. 2020 [cit. 2023]. Dostupné z: <https://www.baobaby.org/slamene-panely/>
- [13] Building elements. In: *Ecococon: Downloads* [online]. Bratislava: EcoCocon s.r.o. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://ecococon.eu/assets/downloads/c1_building-elements.pdf
- [14] *Low-Rise Buildings*. In: *Ecococon: Downloads* [online]. Bratislava: EcoCocon s.r.o. [cit. 2023-05-22]. Dostupné také z: https://ecococon.eu/assets/downloads/c8_low-rise-buildings.pdf
- [15] *Structural design*. In: *Ecococon: Downloads* [online]. Bratislava: EcoCocon s.r.o. [cit. 2023-05-22]. Dostupné také z: https://ecococon.eu/assets/downloads/c5_structural-design.pdf
- [16] LORENZ GMBH. DD-Serie; Boden-, Decken-, Wand und Dämmsysteme aus Holz und Stroh. *Lorenzsysteme*. 2023. Dostupné také z: <https://lorenzsysteme.de/produktlinien/>
- [17] MODCELL®. Modcell® straw technology: technical guide. In: *Modcell® straw technology* [online]. Hamilton House [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://modcell.com/technical/>

- [18] PAILLE-TECH SCRL . PRODUCTEUR D'ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS. *PAILLE-TECH la misione optimale* [online]. 2023 [cit. 2023]. Dostupné z: www.pailletech.be
- [19] PAILLE-TECH SCRL. PAILLE-TECH La misione positive. In: *Explicatif des offres Paille-Tech*. 2016. Dostupné také z: <https://cloud.domainepublic.net/pailletech/s/CKJW8E98ZMHqAnf?dir=undefined&openfile=252111>
- [20] *SLAM-PA* [online]. Tábor: SLAM - PA s.r.o [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: www.slam-pa.cz.
- [21] *Products* [online]. Warszawa: VestaEco COMPOSITES Sp. z o.o., 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: www.vestaeco.cz/Produkty,3.html
- [22] *STEICO__Technicka__prirucka__Nosniky__cz__i*. In: *STEICO: Přírodní stavební systém* [online]. 2019 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Konstruktionshefte/STEICO__Technicka__prirucka__Nosniky__cz__i.pdf
- [23] *DEK: stavebniny* [online]. Praha: DEK a.s., 2023 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: www.dek.cz
- [24] *STEICO Ceník*. In: *STEICO: Přírodní stavební systém* [online]. 2019 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/Czeskie__Media/Downloads/STEICO__Cenik/STEICO__Cenik__cz__202203.pdf
- [25] ČEZ PRODEJ, A.S. Ceník elektřiny pro domácnosti během Období regulace: Elektřina bez závazku. In: *Skupina ČEZ: Ceníky* [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2023/moo/moo__ee__bez__zavazku__cez__01__01__23.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 ÚPLNÝ ENVIROMENTÁLNÍ DOPAD RŮZNÝCH IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ PŘI SROVNATELNÉM TEPELNĚ-IZOLAČNÍM VÝKONU.....	8
OBRÁZEK 2 SLAMĚNÝ BALÍK – VÝŠKA, ŠÍŘKA, DÉLKA [2].....	9
OBRÁZEK 3 GRAF SOUČiniteLE TEPLA U RŮZNÝCH MATERIÁLŮ V ZÁVISLOSTI NA TLOUŠŤCE [2, s. 25].....	11
OBRÁZEK 4 ILUSTRÁČNÍ GRAF – BILANCE ENERGIE LEHKÉ IZOLOVANÉ STĚNY ZA 50 LET ŽIVOTA KONSTRUKCE [1, s. 29].....	11
OBRÁZEK 5 TEPELNÁ KAPACITA RŮZNÝCH MATERIÁLŮ [2, s. 25].....	12
OBRÁZEK 6 ÚTLUM ZVUKU RŮZNÝCH MATERIÁLŮ [2, s. 31].....	13
OBRÁZEK 7 DEFORMACE ZATÍŽENÉHO OBŘÍHO BALÍKU (OFICIÁLNÍ TESTOVACÍ LABORATOŘ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ, UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, TRIER) [1].....	14
OBRÁZEK 8 NÁZORNÁ UKÁZKA MECHANICKÉHO A ELASTICKÉHO CHOVÁNÍ BALÍKŮ V ZÁVISLOSTI NA POLOZE VŮČI ZATĚŽUJÍCÍ SÍLE [2].....	15
OBRÁZEK 9 SAMONOSNÁ STĚNA ZE SLAMĚNÝCH BALÍKŮ [6].....	17
OBRÁZEK 10 NOSNÁ DŘEVĚNÁ KONSTRUKCE S VÝPLNÍ ZE SLAMĚNÝCH BALÍKŮ [6].....	18
OBRÁZEK 11 NOSNÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM FIRMY ECOCOCON [15].....	24
OBRÁZEK 12 TYPY PANELŮ [13].....	24
OBRÁZEK 13 NOSNÁ KONSTRUKCE VÍCEPDLAŽNÍ BUDOVY [14].....	25
OBRÁZEK 14 TYPY SLAMĚNÝCH PANELŮ OD BAOBABY [12].....	26
OBRÁZEK 15 NOSNÝ SYSTÉM FIRMY PAILLE-TECH – ČERVENĚ VNITŘNÍ VÝZTUHY [19].....	27
OBRÁZEK 16 FOTKA FINÁLNÍHO PRODUKTU V DÍLNĚ PAILLE-TECH SCRL [18].....	28
OBRÁZEK 17 VIZUALIZACE PANELU OD FIRMY LORENZ [16].....	28
OBRÁZEK 18 VIZUALIZACE PANELU OD FIRMY MODCELL [17].....	29
OBRÁZEK 19 REALIZACE Z PANELU DNP OD FIRMY SLAMPA [20].....	30
OBRÁZEK 20 IZOLAČNÍ DESKA VESTAECO WALL A JEJÍ PARAMETRY [21].....	31
OBRÁZEK 21 SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE	35
OBRÁZEK 22 DETAIL 6.1 POLE TEPLŮT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	36
OBRÁZEK 23 SLOUKOVÁ KONSTRUKCE S IZOLACÍ Z MINERÁLNÍ VATY	37
OBRÁZEK 24 DETAIL 6.2 POLE TEPLŮT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	38

OBRÁZEK 25 DESKOVÁ KONSTRUKCE	38
OBRÁZEK 26 DETAIL 6.3 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	39
OBRÁZEK 27 SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE S IZOLACÍ Z DESEK ZE SLISOVANÉ SLÁMY	41
OBRÁZEK 28 DETAIL 7.1 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	42
OBRÁZEK 29 SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE OPLÁŠTĚNÁ TEPELNĚ IZOLAČNÍ DESKOU.....	42
OBRÁZEK 30 DETAIL 7.2 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	43
OBRÁZEK 31 SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE OPLÁŠTĚNÁ MDF DESKOU.....	44
OBRÁZEK 32 DETAIL 7.3 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	45
OBRÁZEK 33 SLOUPKOVÁ KONSTRUKCE OPLÁŠTĚNÁ DESKOU 2	46
OBRÁZEK 34 DETAIL 7.4 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	47
OBRÁZEK 35 DETAIL 7.4.2 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA	47
OBRÁZEK 36 ROZMĚRY STĚNOVÉHO NOSNÍKU STEICO WALL SW 60 [22].....	48
OBRÁZEK 37 ŘEZ SPOJENÍM DVOU PANELŮ S NOSNOU KONSTRUKCÍ Z PREFA. I SLOUPU [22]	48
OBRÁZEK 38 FYZIKÁLNÍ ÚDAJE O MATERIÁLECH POUŽITÝCH PŘI VÝROBĚ NOSNÍKU STEICO [22]	49
OBRÁZEK 39 DETAIL 7.5 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	49
OBRÁZEK 40 ŘEZ SPOJENÍM DVOU PANELŮ S NOSNOU KONSTRUKCÍ Z PREFA. I SLOUPU S IZOLOVANOU STOJNOU [22].....	50
OBRÁZEK 41 DETAIL 7.6 POLE TEPLIT VYOBRAZENÉ NA ZÁKLADĚ VÝPOČTU V PROGRAMU AREA.....	50

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 OBVYKLÉ ROZMĚRY SLAMĚNÝCH BALÍKŮ [2]	9
TABULKA 2 PŘEHLED VÝROBCŮ PREFABRIKOVANÝCH DŘEVO-SLAMĚNÝCH PANELŮ V EU.....	22
TABULKA 3 NÁKLADY NA MATERIÁL NAVRŽENÝCH KONSTRUKCÍ.....	51
TABULKA 4 PRACNOST VÝROBY	52
TABULKA 5 VÝSLEDKY.....	53
TABULKA 6 PŘEPOČET TEPELNÉHO TOKU STĚNOU NA ROZMĚRY RODINNÉHO DOMU.....	53

SEZNAM PŘÍLOH

1. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 1
2. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 2
3. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 3
4. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 4
5. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 5
6. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 6
7. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 7
8. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 7.2
9. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 8
10. VÝPOČET DVOUROZMĚRNÉHO STACIONÁRNÍHO POLE TEPLIT DETAILU 9

SEZNAM ZKRATEK

- ⁱ EPS – Extrudovaný polystyren
- ⁱⁱ LDF – Low Density Fiber, tedy desky z celulózových vláken (obvykle dřevěných, ale vyrábí se i slaměné) s nízkou hustou, které se obvykle používají jako krycí, izolační.
- ⁱⁱⁱ OSB – Oriented strand board, tedy deska z lepených, plochých orientovaných třísek
- ^{iv} CLT – Cross Laminated Timber – vrstvené lepené dřevo