

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav základního zpracování dřeva

**Dřevostavba rodinného domu s izolací ze
slámy**

Diplomová práce

Samostatná příloha:

průvodní a souhrnná technická zpráva, výkresová dokumentace

2015

Bc. Petr Koukal

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „Dřevostavba rodinného domu s izolací ze slámy“ zpracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona c. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon c. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne 30. dubna 2015

.....
podpis studenta

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Dr. Ing. Zdeňce Havířové za ochotu a odbornou pomoc při konzultacích diplomové práce. Dále děkuji Ing. Markétě Grufíkové ze společnosti Mitek Industries, spol. s r.o., která mi poskytla cenné rady při návrhu střešní konstrukce a mé rodině a blízkým za dlouhodobou podporu při studiu.

Jméno : Bc. Petr Koukal
Název diplomové práce: Dřevostavba rodinného domu s izolací ze slámy

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tematikou stavitelství ze slaměných balíků a realizací projektu dřevostavby se slaměnou izolací umístěné na konkrétním pozemku. V práci je popsáno slaměné stavitelství od svého historického vývoje přes vlastnosti slaměných balíků až po možná konstrukční řešení. Výkresová dokumentace přiložená k práci je koncipována jako dokumentace pro ohlášení stavby s realizační dokumentací pro samotnou dřevěnou konstrukci. Dále jsou zhotoveny tepelně technické výpočty obvodových konstrukcí a kalkulace materiálových nákladů veškerých stavebních konstrukcí uvedených ve stavebním projektu.

Klíčová slova

Dřevostavby, slaměné balíky, přírodní stavitelství

Name: Bc. Petr Koukal
The title of thesis: Timber structure of family house insulated by straw

Abstract

This masters' thesis deals with the issue of using straw bales in architecture and realization of construction project of wooden structure situated on specific land.

In this thesis is described straw bale architecture from its historical development, through the properties of straw bales to some construction solutions. Design documentation included in this thesis is conceived as documentation for construction notification and project documentation for realization of wooden structure. Furthermore this thesis contains heat engineering calculations and calculation of material costs.

Keywords

Timber structures, straw bales, environmental engineering

1	OBSAH	
2	ÚVOD.....	5
3	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	7
4	MATERIÁL A METODIKA ZPRACOVÁNÍ	8
5	HISTORIE, VÝVOJ A VÝZNAM SLAMĚNÉHO STAVITELSTVÍ.....	9
5.1	Historický vývoj staveb ze slaměných balíků	9
5.1.1	Rané stavby let 1880-1970	9
5.1.2	Vývoj od roku 1970	9
5.2	Současná situace v ČR	10
5.3	Legislativní situace v ČR	10
5.4	Ekologické aspekty	12
6	Slaměné balíky jako stavební materiál a jejich vlastnosti	16
6.1	Všeobecné informace	16
6.2	Základní vlastnosti slaměných balíků	16
6.2.1	Rozměry a objemová hmotnost balíků	16
6.2.2	Vlhkost balíků.....	16
6.2.3	Vedení tepla	17
6.2.4	Tepelná kapacita	17
6.3	Zvuková izolace a akustika	18
6.4	Požární odolnost stěn ze slaměných balíků.....	19
6.5	Biotičtí škůdci	19
6.6	Cena izolace ze slaměných balíků.....	20
6.6.1	Srovnání cen s konvenčními izolačními materiály.....	20
7	Nosné systémy a skladby slaměných stěn	21
7.1	Povrchová úprava slaměných stěn	21
7.1.1	Hliněné omítky	21
7.1.2	Vnější vápenné omítky	23
7.2	Nosná sláma (stěnový systém).....	23

7.3	Hybridní nosný systém.....	25
7.3.1	Metoda Louise Gagného	25
7.3.2	Lehké dřevěné rámy s vloženými balíky	25
7.4	Skeletový systém – nenosné balíky.....	27
7.4.1	Kotvení balíků ve stěně.....	29
8	NÁVRH DŘEVOSTAVBY S IZOLACÍ ZE SLAMĚNÝCH BALÍKŮ	30
8.1	Základní informace charakterizující stavbu	30
8.2	Stavební parcela	31
8.3	Vytyčení stavby.....	32
8.4	Popis jednotlivých stavebních konstrukcí	33
8.4.1	Konstrukce základů a podsklepení	33
8.4.2	Obvodové nosné stěny	34
8.4.3	Vnitřní nosné stěny	37
8.4.4	Příčky	37
8.4.5	Stropní konstrukce	37
8.4.6	Střešní plášť	37
8.4.7	Podlahy	40
8.4.8	Otvorové výplně	41
8.4.9	Terasa a schodiště	41
8.5	Vytápění objektu	42
9.1	Tepelně technické výpočty pro obvodové stěny	43
9.1.1	Prostup tepla obvodovou slaměnou stěnou.....	44
9.1.2	Prostup tepla obvodovou slaměnou stěnou s instalační předstěnou	45
9.1.3	Stropní konstrukce	47
9.1.4	Podlaha na terénu	48
9.1.5	Podlaha nad suterénem	49
9.1.6	Porovnání vypočtených hodnot s normovými hodnotami	50
9.2	Tepelné ztráty vzniklé netěsností obálky budovy	50

10	KALKULACE MATERIÁLOVÝCH NÁKLADŮ	52
11	Diskuse	57
13	SUMMARY	60

2 ÚVOD

Stavebnictví je největší současnou hrozbou životnímu prostředí. Při výrobě stavebních hmot, výstavbě budov, provozu budov a jejich následné likvidaci se spotřebovává odhadem 45 – 50 % veškeré energie (Martón, 2010). Využití alternativních přírodních materiálů v takové míře, ve které by nešlo jen o okrajový stavební směr, jako je tomu v současnosti, by vedlo k výraznému snížení dopadu stavebnictví na životní prostředí.

Na základě odhadů anglické společnosti Amazon Nails¹ bylo kolem roku 2000 stavěno celosvětově okolo jednoho tisíce slaměných domů ročně (Jones, 2001). O tom, že je slámu možné využívat v daleko větší míře však svědčí i fakt o celkové míře nadprodukce tohoto materiálu, která celosvětově činí tato okolo 1,2 mil. tun ročně (Grmela, 2012), odpovídá to množství, které by stačilo na zateplení asi 230 000 domů o podobných parametrech jako má mnou vyprojektovaná stavba.

Stejně jako u dřevní hmoty, ani u slámy není ekologie jediným aspektem předurčujícím ji k použití ve stavebnictví. Možností jak slámu ve stavebnictví využít je velké množství. Nejen, že se jedná o dobrý tepelný izolant, ale může sloužit i jako nosná konstrukce až tří podlažním domům.

Hlavním impulzem k napsání této diplomové práce mi byl můj bratr, který se rozhodl, že má zájem o stavbu rodinného domu svépomocí. Cesta vedoucí od této prvotní myšlenky po bližší materiálovou koncepci rodinného domu byla až překvapivě krátká. Patrně to bylo i díky absenci jisté nedůvěry a skepse vůči přírodním materiálům, která je v české společnosti poměrně rozšířeným jevem. Volba padla na konstrukci rámové dřevostavby, kterou je možné díky svým relativně jednoduchým stavebním detailům a spojům stavět i svépomocí bez předchozích tesařských zkušeností. Prvním argumentem pro výběr slaměné izolace byla pravděpodobně její příznivá cena. Avšak po bližším poznání tohoto materiálu jich byla již celá řada a to od ekologických aspektů, přes kvalitní tepelně izolační účinky až po možnost izolovat dům se svými přáteli či pořádat zde naučné workshopy pro širší veřejnost.

¹ Amazon Nails je anglická nezisková společnost založená v 90 letech 20. stol. na podporu slaměného stavitelství. Společnost se zaměřuje na pořádání seminářů, vydávání stavebních manuálů a působí na poli stavební projekce.

Přestože projekt prezentovaný v této diplomové práci nebude tím podle, kterého bude výstavba probíhat, doufám, že poslouží jako dostatečný podklad pro rozhodování, kterým směrem se při návrhu domu ubírat.

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je poukázat na možnost použití nekonvenčního zateplovacího systému, jakým jsou slaměné balíky, a následně aplikace tohoto systému při návrhu dřevostavby rodinného domu.

Tématika slaměného stavitelství je poměrně rozsáhlá, proto není v možnostech jedné diplomové práce ji zcela obsáhnout, práce si ve své první části spíše bere za cíl informovat o nejdůležitějších vlastnostech a pracovních postupech u daného stavebního systému.

Součástí diplomové práce bude vypracovaný stavební projekt pro rodinný dům. Důležitým specifikem tohoto návrhu bude osazení domu na konkrétním pozemku na katastrálním území Veverské Bítýšky. Ke stavebnímu projektu bude zhotovena i realizační dokumentace dřevěné rámové konstrukce. Pro jednotlivé obvodové konstrukce budou přiloženy výsledky tepelně technických výpočtů, které jsou jedním z hlavních charakteristických znaků obvodových konstrukcí.

Součástí diplomové práce bude vyčíslení materiálových nákladů na pořízení veškerých stavebních konstrukcí uvedených ve stavebním projektu.

4 MATERIÁL A METODIKA ZPRACOVÁNÍ

Tato diplomová práce je rozdělena do dvou částí. Ta první je vypracována převážně v textové formě za použití literárních zdrojů a informací z internetových médií. Tyto informace jsou zpracovány a uceleny tak, aby učinily stručný, avšak dostatečně informativní celek o dané problematice. Tyto kapitoly mají sloužit mimo jiné i jako informativní podklad pro pochopení následného návrhu rodinného domu.

Následující kapitoly se blíže zabývají konkrétním návrhem rodinného domu. Projekt je charakteristický i tím, že je vytvářen pro konkrétní lokalitu a stavbu bylo nutné polohově a výškově zaměřit pomocí totální stanice. Vzhledem k tomu, že se má jednat o stavbu svépomocí, je návrh uskutečněn s důrazem na nízkou pracnost a pokud možno i nízkou pořizovací cenu jednotlivých položek v rozpočtu.

Výkresová dokumentace, zahrnující dokumentaci pro stavební řízení a realizační dokumentaci dřevěné konstrukce, je vytvořena v počítačovém softwaru Autocad[®]. Statický návrh střešní konstrukce pak v programu Mitek[®]. Tepelně technické výpočty pro jednotlivé konstrukce tvořící obvodový plášť budovy jsou vypočteny v softwaru Area[®].

Kalkulace materiálových nákladů vychází z publikovaných cen výrobců, prodejců a individuálních nabídek jimi poskytnutých. Ceny odpovídají cenové hladině z období březen – duben 2015. Hlavními hledisky, na základě kterých jsou vybíráni dodavatelé materiálu, jsou dostupnost, cena a dobré předchozí reference.

5 HISTORIE, VÝVOJ A VÝZNAM SLAMĚNÉHO STAVITELSTVÍ

5.1 Historický vývoj staveb ze slaměných balíků

Původ staveb ze slaměných nosných balíků sahá ke konci 19. století do amerického státu Nebraska. Zde alespoň vznikla první zdokumentovaná stavba. Jednalo se o školní budovu o jedné místnosti vystavené z balíků nosné slámy (Minke, Mahlke, 2009). Impulzem pro využití slámy jako stavebního materiálu byl nedostatek dříví na prériích i nevhodná (příliš písčitá) kvalita hlíny, která znemožňovala výrobu cihel. K tomu aby zdejší osadníci sáhli po slámě na místo po travních drnech, ze kterých byla stavba o poznání náročnější, už zbýval jen malý krok. Brzy se také projevíly pozitivní izolační vlastnosti slaměných stěn v tuhých zimách i horkých létech místního klimatu (Martón, 2010).

Nedílnou součástí rozvoje slaměných staveb byl vynález balíkovacího stroje, který dokázal stlačit slámu na požadovanou objemovou hmotnost. První balíkovací stroje byl poháněny koňmi, posléze parou (Martón, 2010).

5.1.1 Rané stavby let 1880-1970

Rané slaměné domy byly stavěny bez dřevěných konstrukcí jako jednopodlažní a dvoupodlažní objekty tento nosný systém je v literatuře označován jako technika z Nebrasky (Minke, Mahlke, 2009). V éře mezi lety 1890 – 1930 bylo postaveno odhadem okolo 60 domů, slaměné stavitelství tedy představuje i v daných oblastech pouze okrajový stavební směr (Martón, 2010). První zmínky o izolování staveb slaměnými balíky se v Evropě vyskytují v meziválečném období. Především se jednalo o hospodářská stavení.

Roku 1936 byl dokončen dvoupodlažní dům ve státě Alabama, který se od svých předchůdců lišil ve zvolené nosné konstrukci. Zde byla poprvé použita dřevěná nosná konstrukce se slámou jako izolační výplní (Martón, 2010).

V 50. letech minulého století vlivem rozvoje dopravy a infrastruktury pomalu utichá ruch kolem slaměného stavitelství. Vliv na to má patrně i zrychlující se životní styl, kdy o dobývání stavebního materiálu ve vlastní režii přestává být zájem (Martón, 2010).

5.1.2 Vývoj od roku 1970

Právě v 70. letech, kdy vzniká myšlenka o udržitelném rozvoji lidské společnosti z hlediska čerpání přírodních zdrojů, zažívá slaměné stavitelství období renesance a oživení původních tradic. Velký podíl na této skutečnosti má i celá řada autorů, kteří

dokáží rozeznat výhody slaměných domů a definovat jejich místo v dnešní době, a to sice jako bydlení nízkonákladové, jednoduché, dostatečně izolované a minimálně zatěžující životní prostředí (Martón, 2010).

V 90. letech 20. století došlo v USA k opravdovému boomu ve slaměném stavitelství. Především z nosné slámy se na jihozápadě USA postavilo tolik budov, že došlo k vydávání speciálních předpisů a návodů pro tento typ stavitelství. V těchto letech se také realizují slaměné stavby v mnoha evropských státech, jako jsou Anglie, skandinávské země, Dánsko, Rakousko, později Německo, ČR a další (Minke, Mahlke, 2009).

5.2 Současná situace v ČR

Za průkopníka slaměného stavitelství v ČR bývá považován akademický architekt Aleš Brotánek, který se ve své praxi už dlouhá léta zabývá ekologickým a energeticky nenáročným způsobem výstavby (Martón, 2010). Od počátku 90. let je členem občanského sdružení Ekodům, v rámci kterého uspořádal řadu kurzů a také spolupracoval na požárních zkouškách s ČVUT, jejichž výsledkem bylo mimo jiné prokázání požární odolnosti stěny z nosné slámy REI 120 (Ekodům, 2013).

Mezi další významné architekty působící na tomto poli patří mimo jiné Ing. Arch. Jan Martón spolupracující s Alešem Brotánkem, Ing. Arch. Mojmír Hudec z architektonického ateliéru Elam a Ing. Daniel Grmela, stavební inženýr zabývající se především tepelně technickými vlastnostmi slámy a implementací získaných poznatků do praxe.

Dle Grmely (2012) roste podíl slaměných domů na celkové výstavbě podobným tempem, jako je tomu u klasických dřevostaveb. Podíl dřevostaveb na výstavbě rodinných domů v posledních 14 letech vzrostl zhruba z původních 1,51 % na 9,94 % v roce 2012 (Dřevo a stavby, 2013).

5.3 Legislativní situace v ČR

Z hlediska získání stavebního povolení je nejdůležitější postoj příslušného stavebního úřadu. Vzhledem ke složitosti legislativy, je výklad stavebního zákona úřadem hlavním mezníkem při navrhování domu s použitím nenormalizovaného materiálu.

Stavební zákon č. 183/2006 se konkrétně o výstavbě ze slaměných balíků pochopitelně nezmiňuje, ale obecně lze požadavky na výstavbu najít v § 156:

- 1) *Pro stavbu mohou být navrženy a použity jen takové výrobky, materiály a konstrukce, jejichž vlastnosti z hlediska způsobilosti stavby pro navržený účel zaručují, že stavba při správném provedení a běžné údržbě po dobu předpokládané existence splní požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu, požární bezpečnost, hygienu, ochranu zdraví a životního prostředí, bezpečnost při udržování a užívání stavby včetně bezbariérového užívání stavby, ochranu proti hluku a na úsporu energie a tepla.*

Tyto požadavky dokáží slaměné stavby s přihlédnutím na konkrétní konstrukční systém bez problémů splnit.

V procesu navrhování pak legislativa vstupuje převážně v těchto bodech:

1) Mechanická odolnost a stabilita:

Statický výpočet prokazuje, že je stavba navržena tak, aby na ni působící zatížení nemělo za následek poškození stavby. U staveb s nosnou konstrukcí ze dřeva nepředstavuje prokázání mechanické odolnosti a stability statickým výpočtem problém, protože jsou k dispozici normami podložené vlastnosti dřeva jako stavebního materiálu. V ČR prozatím nebyly provedeny zkoušky únosnosti stěn, kde nosnou funkci plní samotné balíky, a proto se prakticky nevyskytuje statik, který by byl ochoten podepsat statický posudek. Je tedy na každém projektantovi, zda se pustí na tenký led a stavbu z nosných balíků navrhne, odpovědnost za případné škody bude vždy na něm (Martón, 2010). Z tohoto důvodu se na našem území prozatím objevují jen jednopodlažní stavby z nosných slaměných balíků, ale například v Jižním Tyrolsku v Itálii byl před několika lety postaven 3 podlažní apartmán z obřích balíků (Minke, Mahlke, 2009).



Obr. 1;2 *Třípodlažní apartmán z nosné slámy postavený v Jižním Tyrolsku (Natural Building Blog, 2012)*

2) Požární bezpečnost

Při výpočtu požární bezpečnosti se posuzují dvě kritéria:

- 1) **Požární odolnost konstrukce** – je daná třídou požární odolnosti, dle toho po jakou dobu je konstrukce schopna odolávat požáru jak po statické stránce, tak i po stránce prostupu tepla stěnou. Dostatečnou požární odolnost slaměné stěny splňují bezproblémově. Blíže se této problematice věnuje kapitola 7.3 *Požární odolnost stěn ze slaměných balíků*.
- 2) **Požární odstupy staveb** – určují se na základě velikosti „troskového stínu“ a definování konstrukce jako „zcela požárně otevřené plochy“² nebo jako „částečně požárně otevřené plochy“³. U zcela požárně otevřených ploch je nutné vypočítat požární odstup staveb na základě požárního zatížení a můžeme dojít k vysokým odstupovým hodnotám (Stavební fakulta VUT Brno, 2013). Jako zcela požárně otevřené plochy bývají obvykle posuzovány i dřevostavby, nemají-li obvodový plášť z nehořlavých materiálů, což je z hlediska požárních odstupů často diskvalifikuje. Slaměné stavby s dostatečně silnou vnější omítkou mohou být posuzovány i jako konstrukce typu DP2, nicméně vždy záleží na požárníkovi zhotovujícím požární zprávu. Vzhledem k málo známému konstrukčnímu systému není jednoduché najít takového, který bude stavbu skutečně posuzovat jako částečně požárně otevřený prostor.

5.4 Ekologické aspekty

V době kdy trhu dominuje celá řada uměle vytvořených Hi-Tech materiálů se může zdát, že je sláma jako stavební materiál již dávno překonána. Nicméně ekologické aspekty takto snadno získatelného, obnovitelného a recyklovatelného zdroje materiálu lze překonat jen s těžší.

Za účelem posouzení vlivu materiálů na životní prostředí bylo zavedeno několik ukazatelů, kterými lze jednotlivé materiály měřit. Především se jedná o ukazatel množství vázané primární energie (PEI), ukazatele emisí CO₂ (GWP) a SO₂ (AP) (Labudek, 2013). **Množství vázané primární energie (PEI)** – jedná se o tzv. šedou energii. Údaj udává jaké množství energie v MJ/kg, které bylo vynaloženo na získání, výrobu a dopravu materiálu (Labudek, 2013).

² Do zcela požárně otevřených ploch spadají např. hořlavé střešní pláště, vnější dřevěné konstrukce a veškeré další konstrukce zařazené do DP3

³ konstrukce typu DP1 a DP2 opatřené obkladem z hmot třídy reakce na oheň B až F

Emise CO₂ (GWP) – emise látek přispívajících ke skleníkovému efektu. Znázorňuje množství CO₂ uvolněného během výroby, přípravy a zabudování na stavbě. U přírodních materiálů mnohdy dochází k tzv. negativní bilanci CO₂, to znamená, že množství CO₂, které je absorbováno během růstu rostlin, převyšuje množství plynu následně uvolněného. Tento proces je možný jen díky fotosyntéze, která probíhá v době růstu (Labudek, 2013).

Emise SO₂ (AP) – zahrnuje SO₂ a jiné plyny, které mají za následek acidifikaci životního prostředí, tedy vznik kyselých dešťů (Labudek, 2013).

Pro názorné porovnání ekologických dopadů jednotlivých stavebních materiálů jsou v *tabulce 1* zobrazeny často využívané konvenční materiály, materiály pro konstrukce staveb na bázi dřeva a jejich vliv na tři základní ukazatele vyjadřující působení na životní prostředí. Součinitel tepelné vodivosti materiálu pak přímo ovlivňuje spotřebu tepla na vytápění objektu či množství materiálu potřebného k dosažení určitých tepelně izolačních hodnot. Vzájemné porovnání více konstrukčních systémů je v *tabulce 2*. Zde je zapotřebí vzít v úvahu množství materiálu použitých v konstrukci. Lehká rámová konstrukce dřevostavby zanechá, i přes využití nepříliš ekologických deskových materiálů, mnohem menší ekologickou stopu než stejně rozměrná konstrukce se zateplenou betonovou stěnou.

Tab. 1 Vybrané konvenční i alternativní stavební materiály a jejich vliv na ŽP (Envimat, 2015; Labudek, 2013; Martón, 2010; Chybík, 2009)

Materiál	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Primární energie (PEI)[MJ/kg]	Emise CO ₂ (GWP) [kg CO ₂ ekv./kg]	Emise SO ₂ (AP) [g SO ₂ ekv./kg]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]
Beton prostý	2380	0,575	0,11	0,185	1,36
Cihla lehčená pálená	600	2,574	0,239	0,546	
Vápenopísková cihla	1530	1,279	0,13	0,213	0,5
Řezivo, uměle sušené 10%	400	3,353	-1,49	1,168	0,18
OSB Deska	650	12,506	-1,25	2,037	0,13
SDK deska	1000	5,745	0,354	1,098	0,36
Hliněná omítka	1815	0,482	0,019	0,072	0,57
Vápenocementová omítka	2000	1,46	0,213	0,354	0,99
Polystyrén pěnový EPS	30	105,073	4,212	14,9	0,035
Polystyrén extrudovaný XPS	25	96,515	3,821	13,392	0,034
Minerální vlna kamenná	32	20,192	1,133	8,358	0,036
Minerální vlna skelná	40	45,534	1,496	6,968	0,04
Pěnové sklo	110	35,061	1,572	3,922	0,04
Dřevotřísková deska	680	8,856	0,388	1,665	0,18
Fasádní dřevovláknitá deska	300	5,095	-1,432	0,63	0,038
Foukaná celulóza	50	7,144	-1,312	2,905	0,04
Balík slámy (místní)	110	1,54	-2,2		0,04 – 0,07

K samotným balíkům slámy bohužel nejsou k dispozici hodnoty všech ekologických ukazatelů, nicméně lze očekávat, že množství emisí SO₂, ke kterým bude docházet jen z potřeby pohonu zařízení na sběr a balíkování slámy a následné dopravě ke spotřebiteli, bude nižší než u jiných izolačních materiálů.

Tab.2 Energetická náročnost stavebních konstrukcí vyjádřená primární energií PEI (Minke, 2009)

č.	Popis konstrukce	Primární energie PEI [kWh/m ²]
1	Nosné slaměné balíky s povrchovou úpravou	16,8
2	Dřevěný skelet a slaměné balíky	48,1
3	Betonová stěna s tepelně izolační vrstvou	280,9

Další výhodou při použití přírodních materiálů je, že můžeme zcela přirozeně dokončit ekologický koloběh jejich života zkompostování případně zpracováním za účelem výroby energie.

6 Slaměné balíky jako stavební materiál a jejich vlastnosti

6.1 Všeobecné informace

Za slámu se považují suché stonky vymláceného obilí (pšenice, žito, ječmene, ovs, prosa) nebo i rostlin jako je len, konopí a rýže, přičemž pro stavbu domu se hodí zejména pšeničná a žitná sláma vykazující dostatečnou pevnost a trvanlivost. Pro svázání balíků se nejlépe osvědčil pevný polypropylenový motouz (Grmela, 2012). Jako obnovitelná surovina vzniká sláma fotosyntézou, při které dochází k přeměně přijaté sluneční energie, vody, oxidu uhličitého a půdních minerálů. Vzniká tak materiál skládající se z celulózy, ligninu a oxidu uhličitého, jehož povrch je opatřen voskovitou vrstvou, odpuzující vodu (Minke, 2009).

6.2 Základní vlastnosti slaměných balíků

6.2.1 Rozměry a objemová hmotnost balíků

Rozměry slaměných balíků ovlivňují především možnosti balíkovacích lisů. Lisy na malé balíky jsou schopny vyrábět balíky o rozměrech 28x40x50 cm až 45x55x80 cm a objemové hmotnosti 70 - 130 kg/m³ (Grmela, 2012). Obvykle využívaným rozměrem pro stavební účely je 35x50x 60 až 80 cm - lis vytváří balíky zpravidla v délkových odstupech po 10cm. Objemová hmotnost těchto balíků by měla být mezi 70 – 120 kg/m³. Dále lisy vytvářejí střední balíky o rozměrech 50x80x70 až 240 cm a velké neboli jumbo balíky s rozměry 70x120x100 až 300 cm (Minke, 2009). Tyto velké balíky pak mohou být s výhodou využity i pro vícepatrové stavby z nosné slámy, naproti tomu menší velikost je účelná pro vkládání mezi rastrové sloupky dřevostaveb.

6.2.2 Vlhkost balíků

Vlhkost je z hlediska trvanlivosti balíků velmi důležitým aspektem. Jelikož se balíky vyrábí z již suché slámy, neměla by jejich počáteční vlhkost ani vlhkost po zabudování do stavby přesáhnout 15 % (Minke, 2009).

Provlhnutí balíků ve stavbě může způsobit více rizikových faktorů. Mezi první patří ty, které mohou přijít v průběhu výstavby. Dále pak ty, jež můžeme omezit správným návrhem⁴ a ty, které jsou způsobeny kondenzací vody jakožto důsledek difuze vodních par.

⁴ Konstrukční ochrana materiálu ve stavbě použitého. Především se jedná o zamezení zatékání vody, ochrana před odstříkující vodou

Ve fázi stavby je tedy nutné balíky správně skladovat pod střechou a u stavby s nosným dřevěným skeletem je zabudovávat až ve chvíli, kdy je hotový střešní plášť. Mírné provlhnutí balíků způsobené krátkodobým deštěm zpravidla nepředstavuje žádné riziko a balíky jsou schopné brzy zase vyschnout. Sláma na rozdíl od sena podléhá hnilobným procesům jen velmi pomalu.

Konstrukční ochrana zabudovaných balíků ve stěně je prakticky shodná s ochranou u klasických rámových dřevostaveb, a to i včetně ochrany před z kondenzovanou vodou vlivem difuze vodních par. Rozdíl lze však spatřit v chování slámy po navlhnutí – zatímco minerální izolace v místě, kde dochází ke kondenzaci, zůstávají lokálně mokré, sláma dokáže pomocí svých vodivých pletiv vlhkost rozvádět a tím dosáhnout nižší relativní vlhkosti v daném místě (TZB info, 2012).

6.2.3 Vedení tepla

Základní hodnotou určující tepelnou vodivost materiálu je součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]. Slaměný balík není z hlediska vedení tepla izotropním materiálem, neboť tepelný tok je rozdílný ve směru slaměných stébel a kolmo na slaměná stébla, viz tabulka níže.

Tab. 3 Vliv orientace slaměných balíků na tepelný tok (Grmela, 2012)

Orientace uložení balíku	Směr toku tepla vzhledem ke slaměnému stéblu	součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Stěna z balíků na výšku	Tok tepla kolmo na stébla	0,05	0,14 při tl. stěny 35 cm
Stěna z balíků na plocho	Tok tepla rovno-běžně se stébly	0,06	0,12 při tl. stěny 35 cm

Nutno podotknout, že hodnoty součinitele tepelného toku jsou v literatuře poměrně proměnlivé a liší se v řádu setin až desetin. Pravděpodobnou příčinou je, že měření probíhaly na balících s rozdílnou hustotou a vlhkostí.

Oproti konvenčním izolačním materiálům jako je minerální vlna či polystyren má sláma asi o 30 – 60 % horší tepelně izolační vlastnosti v závislosti na orientaci balíku.

6.2.4 Tepelná kapacita

Budovy s dostatečně velkým množstvím hmoty schopné akumulovat teplo nabízejí vyrovnané vnitřní klima, a tím i vysoký tepelný komfort. U slaměných stěn s balíky o hustotě 100 kg/m³ a měrné tepelné kapacitě $c = 2$ kJ/kgK není akumuláční schopnost

příliš vysoká. Ke zlepšení těchto parametrů napomáhají tlusté hliněné omítky o 20x vyšší hustotě a měrné tepelné kapacitě okolo 1 kJ/kgK, a to především na straně interiéru (Martón, 2010).

Řada architektů působící na poli slaměného stavitelství, navrhuje za účelem zvýšení tepelné akumulace budovy vnitřní příčky z nepálených cihel. Méně ekologickým avšak účelným řešením je i vrstva podkladního podlahového betonu nad tepelnou izolací.

Porovnáme-li však schopnost slámy akumulovat teplo s konvenčními zateplovacími materiály, jež jsou užívány v dřevostavbách, získáme hodnoty překvapivě kladně vypovídající o akumulacích vlastnostech slaměných balíků.

Tab. 4 Porovnání tepelně akumulacích schopností různých izolačních materiálů (Isover, Steico, Climatizer, Grmela)

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	objemová hmotnost [kg/m ³]	měrná tepelná kapacita [kJ/kgK]	tepelná kapacita [kJ/m ³ K]
Minerální vlna Isover Orsik	0,038	30	800	24
Fasádní polystyren Isover EPS 70 F	0,038	18	1270	22,86
Foukaná celulóza Climatizer plus	0,04	30	2020	60,6
Dřevovláknitá izolace měkká Steico Flex	0,038	50	2100	105
Slaměný balík postavený na výšku	0,05	100	2000	200

V kombinaci s hliněnými omítkami a správným architektonickým návrhem tak lze snáze postavit objekt, který je méně náchylný k přehřívání v letních měsících než většina v současné době stavěných rámových dřevostaveb.

6.3 Zvuková izolace a akustika

Obvodová slaměná stěna s hliněnou omítkou (balík 400mm, omítky 2x40mm) má v závislosti na objemové hmotnosti balíků (70-90kg/m³) akustický útlum 50-55dB (Grmela, 2012), normový požadavek je dle ČSN 73 0532 *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky* v závislosti na podmínkách max. 48 dB. Obyvatelé slaměných domů akustickou kvalitou jejich

vnitřního prostředí okamžitě zaznamenají. V USA jsou ze slámy postavena nejméně dvě nahrávací studia a řada meditačních center. V čím dál větší míře jsou slaměné balíky využívány také pro stavby akustických clon silnic pro motorová vozidla a letišť (Jones, 2001).

6.4 Požární odolnost stěn ze slaměných balíků

Jakmile je slaměná stěna postavena a omítnuta, není v ní dostatek kyslíku k šíření plamene. Největší požární riziko proto představuje volně rozsypaná sláma po stavbě (Jones, 2001). Například dle laboratorní zkoušky z roku 1993, která proběhla v Sandii v Novém Mexiku, odolávala neomítnutá zeď ze slaměných balíků po dobu 34 minut, než pronikly plameny spárami (Martón, 2010).

Za posledních 20 let byla provedena řada dalších zkoušek potvrzujících vysokou odolnost oboustranně omítnutých balíků. Německá organizace FASBA provedla test dle evropské normy EN 1365-1 a potvrdila pro slaměnou stěnu z balíků položených na šířku o tl. 46cm s oboustrannou hliněnou omítkou tl. 3cm požární odolnost F90 (90minut) a hořlavost B2 – normálně hořlavé (Grmela, 2012). Dle ČSN 73 0802 – *požární odolnost budov – nevýrobní objekty* je potřebná požární odolnost u 1 patrového objektu s konstrukčním systémem klasifikovaným jako „hořlavý“ nutná požární odolnost obvodových stěn alespoň 30 min.

Na stavební fakultě ČVUT v Praze byly již v roce 2011 provedeny zkoušky na požární odolnost stěn jak z nosné slámy, tak rámové konstrukce se slámou jako izolační výplní. Výsledkem byla schopnost stěny odolávat až po dobu 144 min, a to na celistvost, únosnost i izolační schopnost stěny (ČVUT, 2011).

6.5 Biotičtí škůdci

To že hlodavci a hmyz napadají balíky slámy a tím stavbu ohrožují, je dlouhodobě udržovaný mýtus. Hlodavci ani hmyz⁵ neumějí štěpit celulózu, a tedy nejsou schopni slámu strávit. Hlodavci představují jisté riziko tehdy, když sláma není správně vymláčená a nacházejí se v ní zbytky klasů s obilím nebo plevel. Proto je třeba dbát na získání kvalitních slaměných balíků bez těchto zbytků nebo plevelových součástí. Dále pro hlodavce může být lákavá sláma tehdy, když není dostatečně slisovaná nebo nejsou vyplněny mezery mezi balíky a sláma pro ně představuje zateplené obydlí. Tomuto se dá

⁵ Neplatí pro termity a všekazi, kteří se na našem území nevyskytují.

opět zabránit pořízením kvalitních balíků, důkladným vycpáním mezer a především včasným omítnutím, přes které se hlodavci nedokáží dostat (Chybík, 2009).

6.6 Cena izolace ze slaměných balíků

Prodejní cena slaměných balíků je značně kolísavá a záleží na daném zemědělci, na kolik si cení své práce. Dle aktuálních nabídek z internetového portálu Slamak.info.cz (2015) se ceny pohybují od 15 do 45 Kč za malý balík, tedy balík s rozměry 35 x 50 x 60 – 80 cm.

Například při izolaci obvodových stěn u průměrně velkého jednopodlažního domu s plochou fasády 120 m² s kladením balíků na výšku zaplatíme pouhých 5 200 – 15 400 Kč⁶ za slaměné balíky.

6.6.1 Srovnání cen s konvenčními izolačními materiály

Pro srovnání cen izolací je nutné stanovit výchozí parametr, který z objektivního hlediska množství izolace sjednotí. Nejobektivnějším výchozím parametrem je pravděpodobně součinitel prostupu tepla. V našem případě bude mít hodnotu 0,15 W/m²K, tedy hodnotu odpovídající balíku slámy o tloušťce 35 cm postavenému na výšku.

Tab. 5 Ceny izolačních materiálů vztahované k izolačním vlastnostem (Dektrade, 2015, CIUR, 2015; Stavbaonline, 2015; Martón 2010)

Materiál	Tloušťka izolace [m]	Cena za m ³ [Kč/m ³]	Cena za m ² při U = 0,15 W/m ² K [Kč/m ²]
Minerální vlna ISOVER UNI	0,233	1 040	242 Kč
Fasádní polystyren Isover EPS 70 F	0,253	921	233 Kč
Foukaná celulóza Climatizer plus	0,267	1200	320 Kč
Dřevovláknitá izolace měkká Steico Flex	0,253	2609	660 Kč
Slaměný balík postavený na výšku	0,35	80 - 400*	28 - 140 Kč

⁶ Vycházím z ceny 15 – 45 Kč za balík a rozměru balíků 35 x 50 x 70 cm.

7 Nosné systémy a skladby slaměných stěn

Z principu se rozeznávají 3 konstrukční typy stěn se slaměnými balíky. Jedná se o stěny, kde nosnou funkci plní samotné balíky, o konstrukce kde balíky slouží pouze jako výplň, nosnou funkci zde přebírají sloupky (obvykle dřevěné) a posledním typem je hybridní systém, tedy jistý druh kombinace dvou předchozích systémů.

Speciálním případem použití slámy jsou stěnové panely ze slisované slámy oboustranně polepené lepenkou, které jsou u nás k dostání pod obchodním názvem Ekopanel. Panely dodávané v tloušťkách 38 a 58 mm jsou vhodné k tvorbě nenosných příček, případně opláštění rámové konstrukce nosných stěn (Ekopanely, 2015). Nevýhodou panelu jsou nedostatečné parametry akustického útlumu, které mají za následek potřebu zdvojení konstrukce pro dosažení normovaných hodnot⁷. Tím samozřejmě významně roste i pořizovací cena dané konstrukce.

7.1 Povrchová úprava slaměných stěn

Ještě před rozdělením samotných konstrukčních systémů a ukázkou několika variant skladeb konstrukcí věnuji pár řádků omítkám, které jsou se slaměným stavitelstvím velmi úzce spjaty.

Nejjednodušším způsobem, jak chránit stěny před povětrností z vnější strany a vytvořit funkční interiérovou vrstvu, je balíky oboustranně omítnout. Pro své kladné působení na vnitřní mikroklima, jsou slaměné stěny ze strany interiéru omítány hliněnými omítkami a z vnější strany obvykle vápennými. Cementové a vápenocementové omítky se nepoužívají z důvodu nedostatečné pružnosti a pro venkovní užití i z důvodu vysokého difúzního odporu.

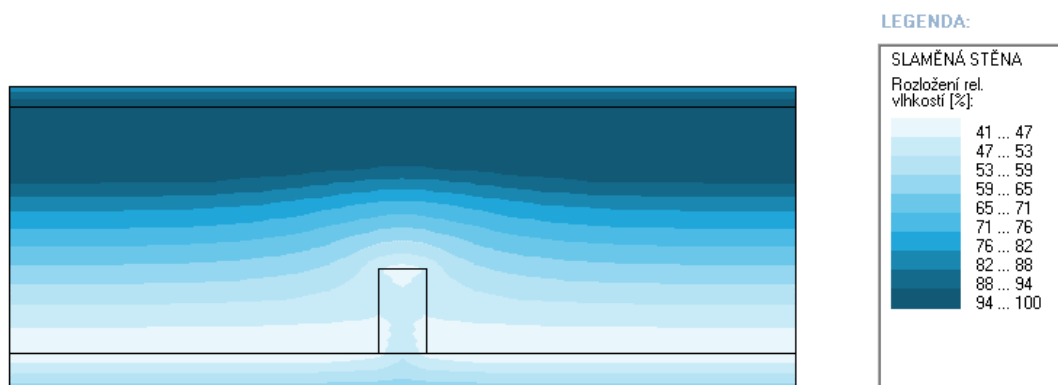
7.1.1 Hliněné omítky

Jak již bylo uvedeno výše, hliněné omítky se hojně používají v interiéru pro své kladné působení na vnitřní mikroklima. Výzkumy na Univerzitě v Kasselu ukázaly, že hliněné omítky dokáží absorbovat více vlhkosti než jiné omítky a přiměřeně tomu také vlhkost odevzdávat zpět do interiéru (Minke, Mahlke, 2009).

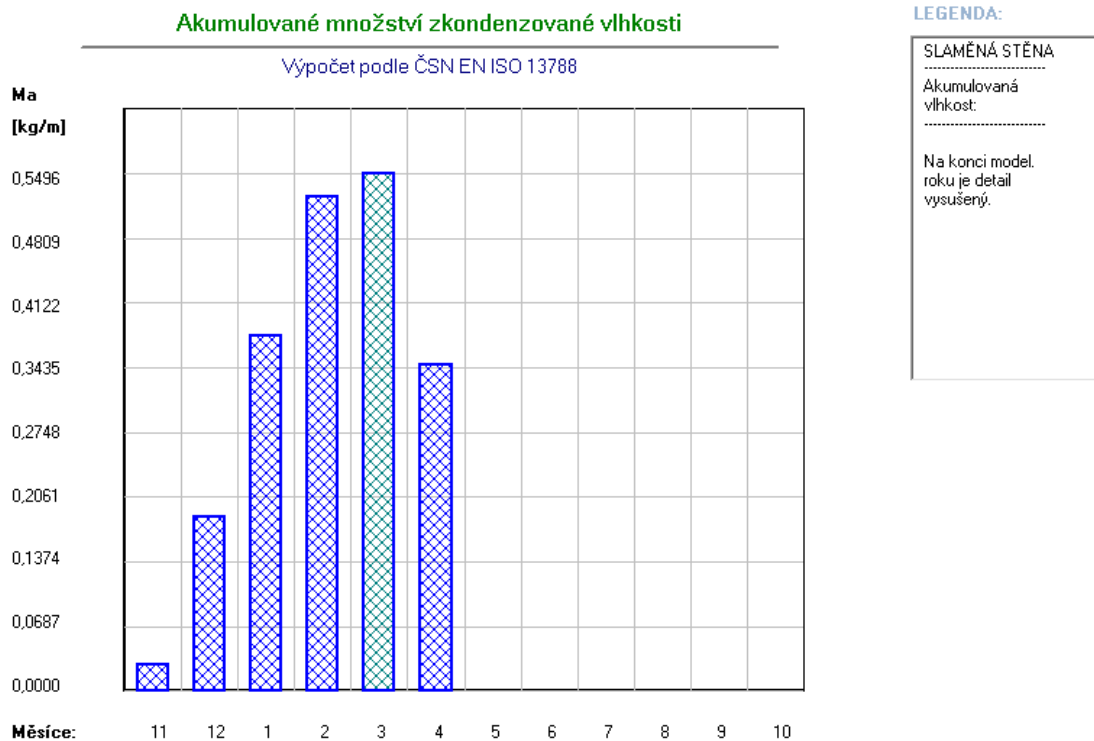
Hliněné omítky o tloušťce 4 a více cm také plní funkci parobrzd, a to i při relativně nízkém faktoru difúzního odporu $\mu = 8$ (Minke, Mahlke, 2009). Přestože má tato vrstva mnohonásobně nižší difúzní odpor než parobrzd z deskových materiálů,

⁷ Deska tl. 58 mm má akustický útlum 33 dB, zatímco normová hodnota pro příčky mezi obytnými místnostmi dle ČSN 73 0532 Akustika činí 42 dB.

dokáží díky své absorpční schopnosti vstřebávat případnou vysráženou vlhkost ve slaměných balících. Bilance vodních par dle výpočtových metod nemusí vycházet zcela příznivě, ale dle Grmely (2012) zatím nejsou známy případy, kdy došlo k poškození slaměného domu s vnitřní hliněnou omítkou vlivem kondenzace vodních par. Přesto jsem se rozhodl podrobit tuto skladbu výpočtu bilance vodních par, jehož výsledky jsou znázorněny níže.



Obr. 3 Rozložení relativní vlhkosti ve slaměné stěně. Stěna s 5 cm tlustou hliněnou omítkou na interiérové straně, 35 cm tlustou izolací ze slaměných balíků vnější 3 cm tlustou vápennou omítkou. Faktor difuzního odporu: hliněná omítka $\mu=9$, slaměný balík $\mu=2$ a vápenné omítky $\mu=11$ (Minke, Mahlke, 2009).



Obr. 4 Množství naakumulované vody v jednotlivých měsících kalendářního roku

Výše uvedený graf poukazuje na velké množství akumulovaného množství vlhkosti, které se v konstrukci objevuje od listopadu do dubna. Jak již bylo uvedeno, dosud nejsou známy případy, kdy by docházelo k degradaci stěn postižených prostupem vodních par, nicméně osobně bych skladbu bez použití parobrzdy ve formě OSB desek v našem klimatickém prostředí příliš nedoporučoval.

Hliněné omítky se jako vnější omítky využívají méně. Důvodem je jejich nízká odolnost proti působení povětrnostních vlivů. Pakliže jsou použity, je vhodné je chránit prostřednictvím příměsí a nátěrů, jako jsou lněnoolejné fermeže nebo latexové a kaseinové nátěry (Minke, Mahlke, 2009).

7.1.2 Vnější vápenné omítky

Mezi požadavky na vnější omítkové systémy patří schopnost zabránit vniknutí vody z vnějšího prostředí do slámy a současně dostatečná difuzní otevřenost, aby mohly vodní páry pronikat směrem ven ze stěny. Navíc musejí být omítky dostatečně pružné a to především u staveb z nosných slaměných balíků, kdy během procesu sedání nesmějí příliš popraskat. Vápenné omítky odpovídají těmto požadavkům nejlépe.

Vápenná omítka se vytvoří z hašeného vápna, písku a vody. Kvalita této omítky závisí na době zrání hašeného vápna, přičemž s delší dobou zrání kvalita roste. Důležité je si uvědomit, že vápenná omítka tvrdne při reakci s CO_2 ze vzduchu, čímž tuhne na uhličitán vápenatý CaCO_3 , a že se tento proces odehrává pouze ve vlhkém stavu. Z této příčiny je důležité, aby omítka vysychala pomalu a bylo pokud možno zamezeno přímému slunečnímu svitu (Chybík, 2009).

Téma omítkových systémů je ve skutečnosti velmi rozsáhlé a proto jsem jej redukoval tak, aby bylo dostačující pro potřeby této diplomové práce.

7.2 Nosná sláma (stěnový systém)

Stěnový systém z nosné slámy je také nazývám stylem „Nebraska“ (dle lokality svého vzniku). Veškerá zatížení stěny jsou přenášena pouze samotnými slaměnými balíky (Minke, Mahlke, 2009).

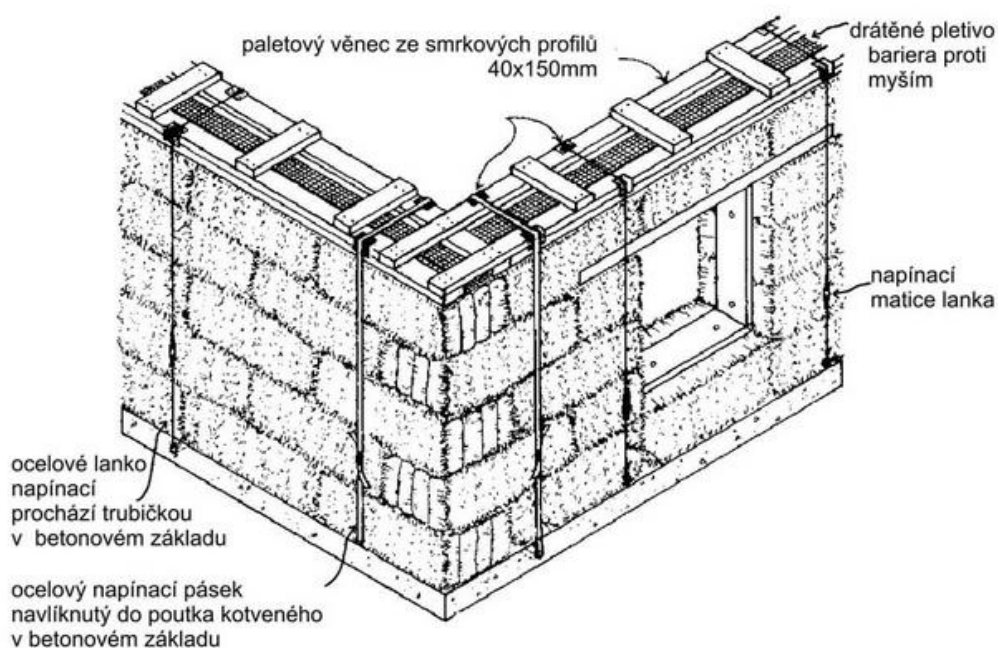
Jednotlivé balíky se na sebe kladou ve vrstvách s přeložením svíslé spáry (na vazbu), stejně jak je tomu u zděných stěn. Aby stěna pod zatížením nevybočovala, je nutné jednotlivé balíky propojovat svíslými dřevěnými kolíky. Po dokončení stěny a osazení dřevěného věnce se stěny stlačují za pomoci ráčen. Stlačení má zamezit následnému sedání stěny pod zatížením (Grmela, 2012).

Mezi další podmínky k zajištění stability patří kladení balíků vždy na plocho (stěbla probíhají v horizontální rovině), balíky díky tomu vykazují značně vyšší stabilitu. Mimo to je kladen důraz na vysokou hustotu slisovaných balíků – 120 kg/m³ a více (Minke, Mahlke, 2009).

Důležitým pravidlem při stavbě z nosných balíků je, že by pro dostatečnou stabilitu neměla přesáhnout výška stěny ku její tloušťce poměr 1/6. (Jones, 2001) Pro výšku jednopodlažního objektu tedy postačují malé balíky položené naplocho, pro vyšší budovy jsou pak vhodnější i z hlediska rychlosti práce balíky větší.

Hodnoty únosnosti balíků jsou udávány v jistém rozptylu. Například Minke (2009) udává hodnotu 0,01 MPa (10 kN/m²) s hustotou balíku okolo 90 kg/m³. Kalifornské stavební zákony udávají možné zatížení 1,95 MPa (King, 2006). Na univerzitě v Trieru byly zkoušeny velké balíky o hustotě 130 kg/m³, které se při zatížení 0,02 MPa zdeformovali o 1,25 %, při zatížení 0,071 MPa byla deformace 5 %. Komprese balíků při zatížení tedy roste proporciálně (Minke, Mahlke, 2009).

Stěna z těch nejlépe slisovaných balíků si „sedne“ asi o 12 - 50 mm (při výšce 7 balíků). Z toho důvodu se nade dveřmi a okny nechává asi 75 mm vysoká mezera. Během sedání je zajištěna skládacím dřevěným klínem, který mezeru postupně redukuje tak, jak je sedající budovou posupně stlačován. Je také možné stlačit zdi již předem. Zeď z balíků je stažena třmeny upevněnými mezi základ (k základu či pod něj) a věnec v asi 1 m rozstupech po délce zdi (Jones, 2001).



Obr. 5 Stěna s nosnou slámou s ukázkou způsobu předpětí a nosným věncem (TZB info, 2012)

Tab. 6 *Výhody a nevýhody konstrukčního systému z nosné slámy*

Nosná sláma	
Výhody	Nevýhody
Úspora finančních nákladů za řezivo	Problematická ochrana vůči dešti během výstavby
Tvarová přizpůsobivost (v půdorysné rovině)	Nedostatek statických zkoušek pro tento typ výstavby
Rychlost výstavby	Vyšší nároky na kvalitu slaměných balíků
	Sedání balíků
	Plocha otvorů pro okna a dveře nesmí přesáhnout 50 % plochy stěny

7.3 Hybridní nosný systém

Tento systém je z hlediska statiky založen na spolupůsobení slámy a dalších nosných elementů, obvykle dřevěných prvků.

7.3.1 Metoda Louise Gagného

Jde vlastně o jedinou hybridní metodu, u které nespolupůsobí balíky s dřevěnými prvky, ale s cementovou maltou.

Metoda je založená na stavění balíků jako při zdění bez vazby, tedy tak aby vznikala průběžná svislá spára mezi balíky. Tím vzniká rastr, jež se ve vodorovném i svislém směru vyplňuje cementovou maltou. Balíky se poté cementovou maltou také omítají, a tím je dokončena stabilizace stěny.

Vzhledem ke svým tepelným vlastnostem je tento systém v našich klimatických podmínkách prakticky neaplikovatelný, neboť vlivem velkých tepelných mostů by docházelo k brzkému znehodnocení slaměných balíků (Martón, 2010).

7.3.2 Lehké dřevěné rámy s vloženými balíky

Spojují výhody stěnového systému z nosné slámy a systému skeletového, zejména ochranu balíků před deštěm během stavby a stlačení slaměných stěn. Subtilní až poddimenzovaný skelet nese zpočátku lehkou střechu. Až se stěny z balíků pod střechou vyzdí, střecha se na ně spustí a může být dodatečně zatížena (nejlépe hlínou a osázena trávou). Tato technologie je vhodná i pro větší a složitější stavby (Grmela, 2012).

Přenos vodorovných sil v konstrukci zajišťují slaměné balíky. Balíky také brání vybočení stěnových stojek při vzpěru. Dřevěné sloupky se obvykle umísťují do rohů stavby a po obou stranách všech stavebních otvorů. Navrhují se tak, aby nebránili stlačení slaměných balíků a tím jejich zapojení do nosné složky konstrukce (Grmela, 2012).

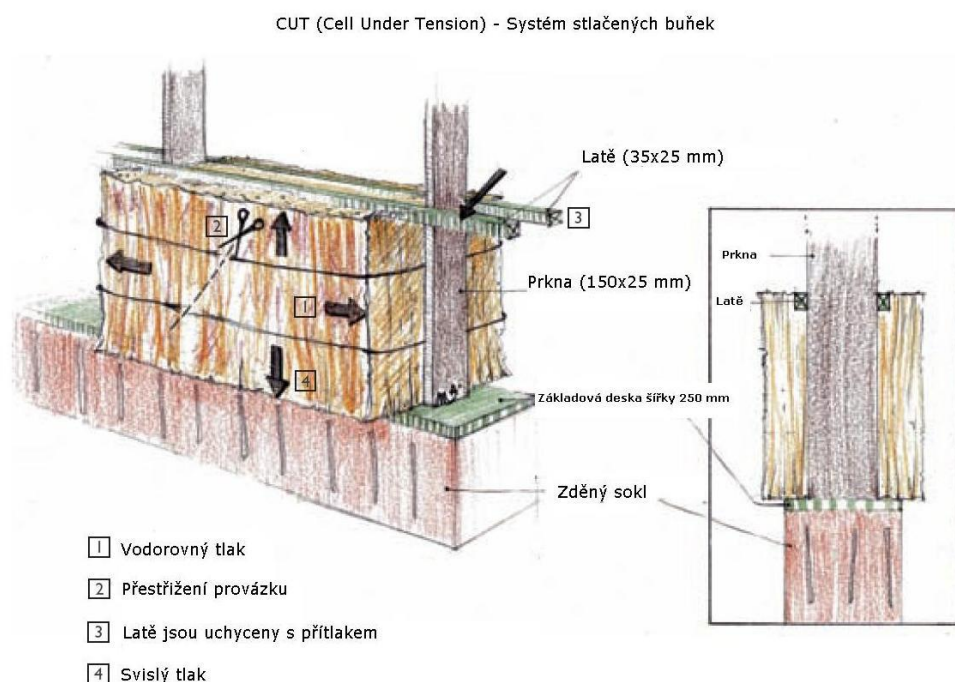
Experimentálních metod, které využívají hybridních nosných systémů, je pravděpodobně velmi široká škála, proto v práci uvádím jen ty, které se dostaly do širšího podvědomí stavební komunity.

CUT technika

Jednou z variací hybridního systému je tzv. CUT⁸ technologie výstavby slaměných stěn Toma Rijvena⁹. Mezi stojky z coulových prken jsou balíky kladeny do sloupců, pole mezi stojkami je o něco kratší než délka balíku.

V každé vrstvě se balíky stlačí shora párem latí, které se připevní ke stojkám. 2,5 metru vysoká stěna postavená touto technologií unese zatížení 1,2kN na metr délky. Tato technologie není náročná na zkušenost stavitele, dobrých výsledků dosahují i úplní začátečníci.

Nevýhodou je neznámá velikost tlaku, jaký buňka po přestřižení provázku vyvine. Zkušenosti z Rakouska ukazují, že balík nemusí být schopen vyplnit přilehlé prostory (Grmela, 2012).



Obr. 6 CUT technika stavitele Toma Rijvena (Grmela, 2012)

Nevýhodou je komplikace s uchováním slámy v suchu v průběhu výstavby obdobně jako u nosné slámy. Systém je praxí ověřen pouze na menších stavbách (s délkou stěn do 6m). U větších staveb je riziko nedostatečné prostorové tuhosti (Grmela, 2012)

⁸ Cell under tension – systém stlačených buněk

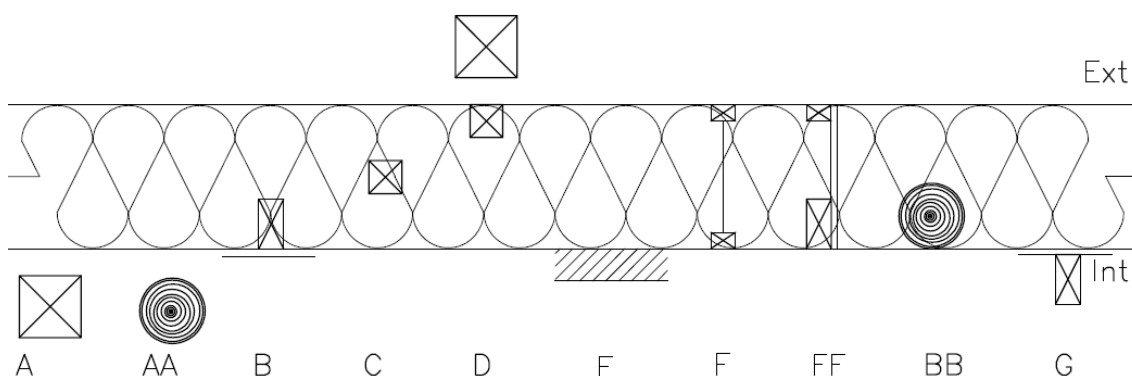
⁹ Tom Rijven je významný holandský stavitel a autor knih o využití slámy a hlíny ve stavebnictví.

Tab. 7 Výhody a nevýhody hybridního konstrukčního systému

Hybridní metody	
Výhody	Nevýhody
Většina výhod systému stěnového	Technicky náročnější zajištění stability před vložení balíků
Střecha je postavena dříve než slaměné stěny, chrání je před deštěm	V současné době chybějící certifikáty požární odolnosti v ČR
Rámová konstrukce může být vyrobena mimo staveniště	Na našem území malé množství architektů se zkušenostmi s tímto systémem
Větší stabilita rámu oken a dveří (oproti systému stěnovému)	
Značná úspora dřeva (oproti systému skeletovému)	

7.4 Skeletový systém – nenosné balíky

Jak již název napovídá, balíky slámy u tohoto nosného systému slouží pouze jako výplňový a tepelně izolační materiál. Veškerou statickou funkci včetně zavětrování přebírá dřevěná konstrukce. Na obrázku níže je znázorněno, jakou má tento systém variabilitu co se týče průřezové charakteristiky nosného prvku a jeho umístění ve stěně.



Obr. 7 průřezová charakteristika a umístění nosného prvku ve stěně (Martón, 2010)“

A; AA) Poloha sloupků před stěnou ze strany interiéru umožňuje volný průběh zdi balíku, s tím je spojena vysoká rychlost pokládky, snížení pravděpodobnosti výskytu spár z důvodů absence prvků narušujících HOMO, absence tepelných mostů tvořených konstrukcí. Nevýhodou je nutnost vyšší šíře základů, a málo možností jak uchytit dřevěné obložení, proto jsou balíky obvykle oboustranně omítány (Martón, 2010).

B;BB) Velmi často aplikovaný způsob, vychází z konstrukčního systému rámových dřevostaveb (two by four). Rastr se obvykle navrhuje tak, aby vzdálenost mezi jednotlivými sloupky byla cca o 3 cm menší, než je délka balíku. Ten se pak do mezery

vtačí, ideálně za pomoci dvou tenkých plechů. (Grmela, 2012). Vytvořená kostra se zavětruje z vnitřní strany diagonálním latěním nebo OSB deskami, které plní i funkci parozábrany.

C) Pozice sloupku uprostřed balíku je častější spíše u hybridního systému, ale i s nosným se můžeme setkat. Před návrhem je nutné předem znát velikost balíků, protože vyřezávání může být velmi náročné (Martón, 2010).

D) Pozice sloupků ve stěně fasády se z důvodu lokalizace v kondenzační zóně balíku v naší oblasti nevyužívá (Martón, 2010). Sloupky předsazené před slaměnou stěnu jsou možným řešením, problematické však je napojení na vodorovné konstrukce v rámci eliminace tepelných mostů (Minke, 2009).

E) Průběžná konstrukce z masivních panelů má řadu výhod. Balíky je možné velmi rychle klást na její vnější obvod, masivní panely obvykle umožňují vedení rozvodů v prefabrikovaných dutinách, slouží jako parobrzdna a zároveň pohledová vrstva. Na území ČR působí již více než 20 let společnost Agroup Nova, a. s. vyrábějící masivní panely Novatop. Výhodou tohoto systému je také celková prefabrikace nosné konstrukce s následnou rychlou montáží na staveništi.

F;FF) Řešení realizované buď prefabrikovaným I profilem nebo dřevěnou latí připevněnou plošným prvkem (např. OSB deskou) k vnitřnímu sloupku. Stejně jako u způsobu C, i zde je nutné předem znát rozměry slaměných balíků. Toto řešení umožňuje jak připevnění plošného materiálu z vnitřní strany, tak izolačních desek či roštu s provětrávanou fasádou a dřevěným obkladem z vnější strany.

G) Tento způsob umožňuje ponechání viditelného dřevěného prvku v interiéru nebo jeho zaklopení další tepelně izolační skladbou pro dosažení vyššího tepelně izolačního standartu (Martón, 2010).

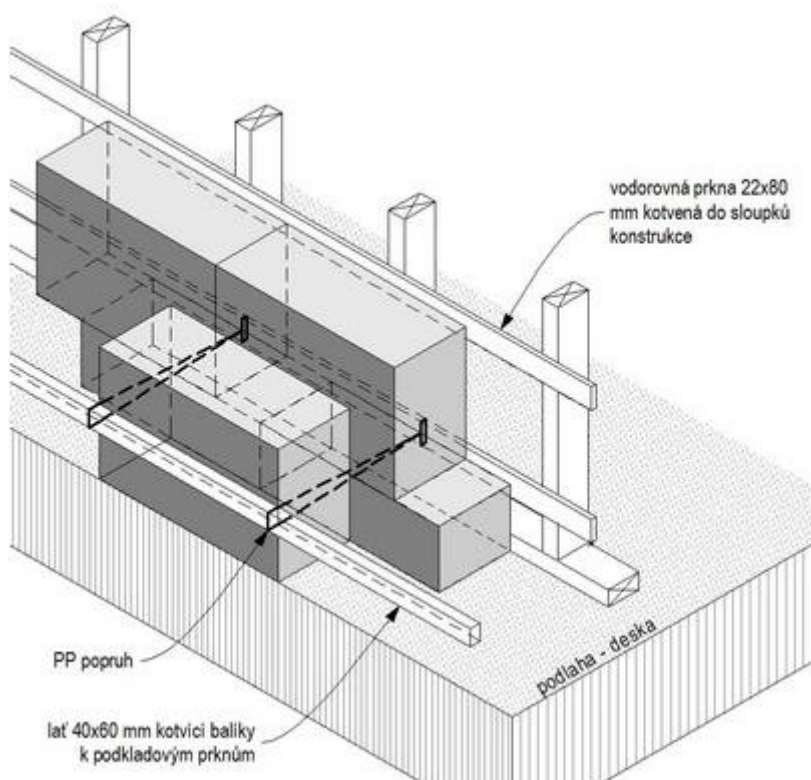
Tab. 8 *Výhody a nevýhody konstrukce s nosným dřevěným skeletem*

Skeletový systém	
Výhody	Nevýhody
Aplikace zažitých stavebních metod	Vyšší cena
Střecha je postavena dříve než slaměné stěny, chrání je před deštěm	Větší environmentální dopady.
Rámová konstrukce může být vyrobena mimo staveniště	Vyšší nároky na znalost tesařských prací
Větší stabilita rámu oken a dveří	
Minimální konstrukční omezení	
Jednodušší prosazování na stavebních úřadech	
Možnost dosáhnout menší tloušťky stěny.	

7.4.1 Kotvení balíků ve stěně

Balíky, které nejsou vkládány přímo mezi dva nosné prvky o stejné šíři jako je balík (viz řešení F; FF z obr. 6), je nutné ve stěně stabilizovat. Cílem stabilizace je zajistit, aby balíky ze stěny nikterak nevybočovaly a působily jako jedolitá stěna. Zanedbání dostatečného stabilizování může způsobit vznik vypouklin a dutin, jejichž oprava bývá časově náročná (Martón, 2010).

Konkrétních systémů stabilizace bylo za období slaměného stavitelství vynalezeno poměrně hodně. Často užívanou metodu představuje propojování balíků dřevěnými štěpy zaraženými do jejich středu, čímž je navzájem vertikálně propojeno několik balíků. Tyto štěpy je pak možné buď přímo přivázat polypropylenovými provázky či popruhy k nosné konstrukci, nebo z vnější strany balíků přidělat lať a teprve ji přivazovat k nosné konstrukci. Důležité je, že nemusí být přímo každý balík kotven k nosnému systému, postačuje, když je propojen s jinými balíky, které jsou spjaty s nosným systémem. U stěn s nosnou dřevěnou konstrukcí, o kterou se může slaměný balík opřít, postačuje kotvení pouze za použití venkovních latí umístěných v každé řadě balíků, viz obrázek níže.

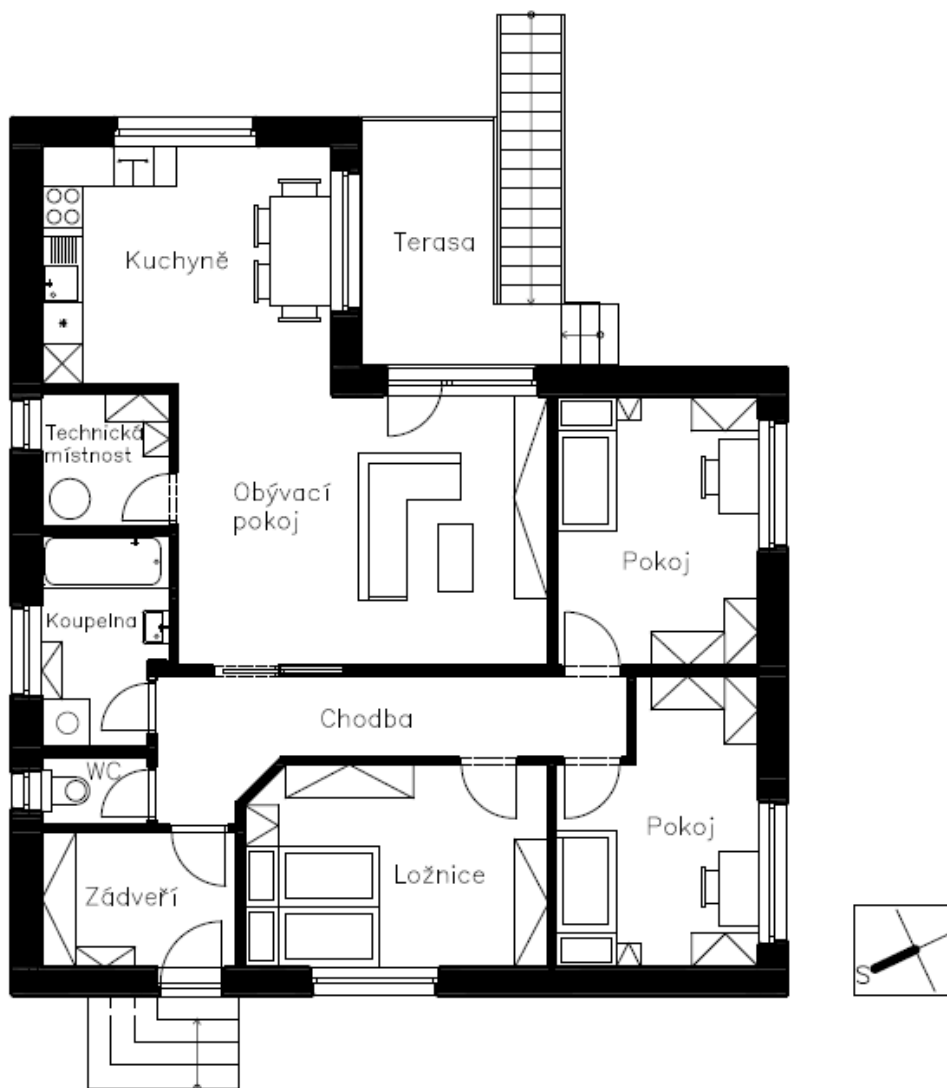


Obr. 8 Kotvení balíků ke stěně vodorovným latěním s PP provázky - pasivní dům s dvojitou slaměnou izolací v Třebosicích (Nature systems, 2010). Při jednořadém uspořádání balíků stavitelé uplatňují i značně menší průřez kotvící latě.

8 NÁVRH DŘEVOSTAVBY S IZOLACÍ ZE SLAMĚNÝCH BALÍKŮ

8.1 Základní informace charakterizující stavbu

Typ stavby:	Rodinný dům
Zastavěná plocha:	126 m ²
Čistá půdorysná plocha:	100 m ²
Obestavěný prostor:	596 m ³
Vnitřní dispozice:	4 + KK



Obr. 9 Dispoziční řešení navrženého rodinného domu.

Jedná se o rodinný dům, který je řešen jako samostatně stojící objekt. Dům je částečně podsklepený s jedním nadzemním podlažím. Dispozičně je řešen tak, aby vyhověl požadavkům pro čtyř až pěti člennou rodinu. Velikostí obytné a užitkové plochy patří mezi střední domy (do 150 m²).

Objekt je navržen na půdorysu ve tvaru písmene L. Obě křídla objektu spolu svírají úhel 90°. Na pozemku je objekt situován tak, že první křídlo je orientováno směrem na jihovýchod a druhé na jihozápad. Jihovýchodní křídlo s menší půdorysnou plochou zasahuje do svažité části pozemku a je zde podsklepeno. Jihozápadní křídlo leží na rovinaté části terénu a je založeno bez podsklepení. Tím se vnitřní část půdorysu mezi křídly otevírá k jihu.

Z hlavního vstupu do domu, který je situován ve stěně rovnoběžné s přílehlou pozemní komunikací, vcházíme do zádveří. Zádveří je napojeno na chodbu, ze které je přístupná ložnice, dva dětské pokoje, WC, koupelna a obývací pokoj. Obývací pokoj je přímo propojen s kuchyňským koutem, toto spojení má usnadnit pohyb mezi prostory a vzbudit pocit prostornosti. Z obývacího pokoje dále vstupujeme do poslední místnosti prvního nadzemního podlaží, tedy technické místnosti a dále na venkovní dřevěnou terasu.

Částečně terasovitý terén je důvodem, který rozhodnul o podsklepení prostoru pod kuchyňským koutem. Sklep bude využíván jako kotelna se zásobou paliva a domácí dílna.

Nosná konstrukce domu je rámová dřevostavba postavená staveništní montáží. Charakteristickým znakem této stavby bude izolování svislých obvodových stěn slaměnými balíky a také ozelenění střešního pláště.

Jedním z hlavních znaků celého domu je, že jej chce investor v co největší míře postavit svépomocí, za pomoci přátel a rodiny. Tento aspekt jsem se při návrhu snažil brát v potaz a navrhoval jsem jednotlivé skladby konstrukcí tak, aby byly co nejméně pracné a finančně dostupné. Takto jsem postupoval i na úkor toho, že ne vždy se jednalo o zcela ekologické řešení¹⁰.

8.2 Stavební parcela

Pozemek se nachází v katastrálním území obce Veverská Bítýška [781304]. Stavební parcela má číslo 2002 a je v současnosti v katastru nemovitostí vedena jako zahrada. Pozemek o ploše 413 m² je volný, nezastavěný a přístupný z veřejné

¹⁰ Viz podlahový polystyren na místo slaměných balíků a sádrokartonové příčky s minerální vatou na místo zdí z nepálených cihel.

komunikace. Je vhodný pro stavbu. Záměr je v souladu s územním plánem obce, který pro danou oblast neobsahuje žádné regulativy a nachází se v lokalitě určené pro zástavbu rodinných domů. Ke stavební parcele přiléhá z jihovýchodní strany parcela o ploše 884 m² s parcelním číslem 2003, která je také ve vlastnictví investora a bude sloužit jako zahrada. Fotografie níže je nafocena při pohledu ze zahrady na stavební parcelu. Na fotografii je v horní části vidět stavební parcela a k ní přiléhající terénní terasy. Mezi stavební parcelou a zahradou protéká malý potůček, který zajímavě dotváří charakter pozemku. Více informací o stavební parcele nabízí průvodní a souhrnná technická zpráva v příloze diplomové práce.



Obr. 10 Pohled ze zahrady na stavební parcelu a terasy k ní přiléhající.

8.3 Vytyčení stavby

Pro správné osazení stavby do terénu bylo nutné nejdříve pozemek zaměřit. K zaměření byla použita totální stanice Nikon DTM - 400. Předpokladem vyhovujícího osazení do terénu je minimalizovat množství zeminy potřebné k odvozu nebo naopak přívodu na staveniště.

Zaměření pozemku probíhalo v těchto krocích:

- 1) Vyznačení rohových bodů objektu pomocí dřevěných latí.
- 2) Založení výchozího bodu pro měření.

- 3) Zaměření rohových bodů objektu.
- 4) Zaměření okolního terénu, především terénních zlomů a vedlejších objektů. Vzdušná vzdálenost jednotlivých bodů se pohybovala v rozmezí 2 – 3 metrů.
- 5) Export dat z přístroje do softwaru Autocad a tvorba vrstevnic na základě zaměřených výšek.
- 6) Určení výšky upraveného terénu na základě aritmetického průměru ze 4 krajních bodů objektu¹¹. Výška upraveného terénu přiléhající k 1. NP činí 252,69 m n. m.; výška terénu v okolí suterénu 250,49 m n. m.
- 7) Tvorba výkresu „Osazení objektu do terénu“.

Při stanovení nadmořské výšky výchozího bodu pro měření jsme vycházeli z veřejně dostupných mapových podkladů katastru nemovitostí a stanovili ji na 250 m. n. m. Tím nebylo dosaženo zcela přesných výsledků z pohledu nadmořské výšky výškového systému Bpv¹², ale pro účely osazení objektu do terénu nemá tato nepřesnost vliv, neboť důležité jsou pouze rozdíly výšek mezi jednotlivými body.

8.4 Popis jednotlivých stavebních konstrukcí

Ke zde zmíněným konstrukcím je vypracován výkres skladeb, kde jsou dané konstrukce vyobrazeny včetně příčných rozměrů jednotlivých vrstev. Výkres skladeb je součástí přílohy. Viz příloha č. 1, výkres č. 10;11;12.

8.4.1 Konstrukce základů a podsklepení

Dům je založen na základových pasech z prostého betonu, které sahají pod úroveň nezámrzné hloubky¹³. Pasy jsou vybudovány vždy pod nosnými stěnami. V prostoru pod a mezi pasy je vrstva zhutněného štěrku o tloušťce 100 mm. Betonová mazanina nad vrstvou štěrku zajišťuje vhodné prostředí pro pokládku hydroizolace, která chrání výše položenou železobetonovou desku od vztlínání zemní vlhkosti. Aby se ochránily dřevěné prvky od nasávání vlhkosti z betonové desky, jsou pod nosnými stěnami 0,5 m široké asfaltové pásy. Celý základ je po obvodu tepelně izolován deskami z extrudovaného polystyrenu o tloušťce 50 mm.

¹¹ Podsklepené křídlo objektu nebylo započteno, zde vytěžená zemina se použije na vyrovnání sklonu terasy tvořící rovinu před suterénem.

¹² Bpv je zkratka pro výškový systém baltský po vyrovnání používaného v Česku.

¹³ Úroveň nezámrzné hloubky se stanovuje na základě zeměpisné oblasti a druhu zeminy. V dané lokalitě s jílovitou zemínou je nezámrzná hloubka 1000 mm.

Podsklepení je založeno opět na základových pasech a železobetonové desce. Na desku jsou naskládány tvárnice ztraceného bednění, kterými se před vyplnění betonem vedou ocelové výztuhy. Stropní konstrukci tvoří monolitický betonový strop, který volně navazuje na základovou desku ve stejné výškové úrovni. Železobetonovou desku i stropní konstrukci vyztužují ocelové kari sítě s průměrem oceli 6 mm a rozměry ok 150 x 150 mm. Množství výztuh určuje na statické základě výpočtů, ale pro prvotní odhad ceny byla navržena 1 vrstva výztuže v základové desce a 2 vrstvy výztuží nad sebou ve stropní konstrukci.

Při stavbě slaměných domů preferuje řada stavitelů založení na subtilnějších konstrukcích, volí spíše zakládání na základových patkách a u dočasných staveb například na ekologických variantách základových pasů (bez betonování). Naproti tomu zakládání na daném pozemku, kde část stavby zasahuje do svahu, vyžaduje založení dostatečnou plošnou tuhost, a proto jsem navrhnul výše uvedenou variantu. U základových patek ve svahu by mohlo dojít k posunu jednotlivých bodů a tím ohrožení stability celé stavby. Dalším důvodem pro založení tímto způsobem je možnost vytvoření částečného podsklepení pod půdorysnými prostory kuchyně.

8.4.2 Obvodové nosné stěny

Obvodové stěny jsou koncipovány jako difúzně otevřená konstrukce, tzn. že veškeré plyny (tedy i vodní pára) mohou prostupovat konstrukcí mechanismem označovaným jako difúze vodních par. Díky tomu není třeba používat foliové parozábrany, jejichž užití by v dané konstrukci bylo komplikované, neboť parozábrana nesmí přijít do styku s ostrými stěbly slámy. Postačuje užití parobrzděné vrstvy ve formě OSB desek, jejichž spoje na pero a drážku jsou slepeny lepidly na bázi polyuretanu (výhodou těchto lepidel je jejich nabobtnávání při vytvrzování). Rohové spoje jsou přelepeny těsnícími „airstop“ páskami. V ekologickém stavitelství jsou jako parobrzděné vrstvy často aplikovány i silné hliněné omítky (5 a více cm), jejich nevýhodou je potřebná preciznost provedení a přesto nezaručují 100 % ochranu před negativními účinky kondenzační vody (viz kapitola 7.1).

Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je tvořena KVH hranoly o rozměrech 120 x 60 mm, jež jsou uspořádány v pravidelném rastru 730 mm a opláštěné OSB deskami tloušťky 15 mm z vnitřní strany.

Izolace slaměnými balíky

V našem případě je uvažováno s izolováním nosného skeletu z vnější strany balíky o rozměrech 35x50x70 cm. Balíky jsou do konstrukce vkládány nastojato, aby byla využita jejich vyšší izolační schopnost v příčném směru oproti podélnému, a také byla redukována šířka izolace na 35 cm místo 50 cm při ležatém uspořádání. Délka balíku 70 cm umožňuje aplikovat jej do rastru s osovou vzdáleností sloupků 730 mm s vnitřním rozměrem 670 mm mezi sloupky, a to obvykle bez nutnosti vyřezávání neboť dle Grmely (2012) je možné balík stlačit do mezery menší o cca 3 cm. V případech, kdy již dochází k prohýbání balíků, není problém vytrhat z čela potřebné množství slámy. V místě sloupků mezi balíky tím vzniká svislá spára o šíři cca 3 cm, tu je nutné po aplikaci slaměných balíků vycpat volnou slámou. Jedná se o činnost poměrně pracnou, protože je nutné slámu do mezer cpát skutečně silou, aby bylo docíleno podobné objemové hmotnosti, jakou mají slaměné balíky v okolí. Ve vertikálním směru je modul navržen tak, že nad sebe bude naskládáno vždy 6 řad slaměných balíků, které budou částečně přesahovat do vazníkové konstrukce a z vnitřní strany budou v kontaktu s foukanou izolací zateplující oblast stropu.

Kotvení balíků je navrženo dle popisu v kapitole 8.4.1 *Kotvení balíků ke stěně* za pomoci polypropylenových popruhů a latí o rozměru 2 x 3 cm. Popruhy se k rámové konstrukci připevňují prostým přistřelením sponkou ze sponkovací pistole na OSB do KVH nosníku. V rozích stěn se balíky přeloží střídavě na vazbu, propojí svislými kolíky o průměru cca 20 mm a přitáhnou latěmi s popruhy.

Vnitřní hliněné omítky

Vnitřní omítky není možné nanášet přímo na OSB desky, je nutné ke stěně nejdříve připevnit nosič omítky. Pro tento účel velmi dobře poslouží rákosové rohože uchycené sponkami do OSB desek. Výhodou omítání na OSB desku s nosičem je, že postačuje menší vrstva omítky pro dosažení rovného povrchu.

Aplikace omítky probíhá ve třech krocích:

- 1) První vrstva se nanáší v řídkém stavu, aby dokonale pronikla rákosovou rohoží. Pro rychlejší aplikaci je možné ji nastříkat pomocí čerpadla. Aby omítka dobře přilnula, musí být co „nejtučnější“. To znamená, že musí obsahovat vysoký podíl jílu (Minke, 2009).
- 2) Druhou vrstvu je třeba, z důvodu redukování trhlin při sesychání, silněji ochudit prostřednictvím písku. K ochuzení se dá též využít dřevěných pilin či jemné slámové řezanky (Minke, 2009). Vzhledem k omítání relativně rovného

povrchu není nutné tvořit příliš silnou vrstvu omítky, postačí vrstva silná cca 1,5 cm. Obvyklý objemový poměr mezi jednotlivými komponenty omítky – jíl-písek-řezanka je 1:2:1 (Chybík, 2009). Ideálním pracovním postupem však je vytvořit více rozdílných směsí a v malém měřítku je vyzkoušet v praxi.(Chybík, 2009).

Vzhledem k silně jílovité zemině v místě stavby je pravděpodobné, že bude poměr písku v omítce ještě vyšší, aby se zabránilo popraskání omítky při sesychání. Ideální velikost zrna písku pro omítku tloušťky 1,5 cm je 0-4 mm. (Martón, 2010). Před zaschnutím hrubé omítky je důležité do ní vtlačit zpevňující jutovou tkaninu

- 3) Třetí a finální vrstva je hlazená štuková omítka o tloušťce do 5 mm. Ta se nanáší pomocí hladítka na navlhčený povrch. Obvykle se nanáší ve dvou co nejslabších vrstvách, skládajících se z písku o jemné zrnitosti 0,2 – 2 mm a jílu či hlíny. (Martón, 2010).

Vnější vápenné omítky

Nevýhodou při kladení balíků nastojato je, že konce stěbel nevyčnívají ven ze stěny, tím pádem konstrukci chybí tento přirozený nosič omítky. Nejčastěji využívaným nosičem je rabicové pletivo, které je zakotveno do dřevěných desek na vrcholu stěny a plošně protáhnutím zahnutého drátu skrz pletivo a dále cca 10 cm do slaměného balíku (Grmela, 2012) nebo připnuto terčíky na kotvení fasádního polystyrenu (Chybík, 2009).

I zde probíhá aplikace omítky ve třech krocích.:

- 1) Nástřik hrubé omítky na slaměné balíky s upevněným rabicovým pletivem. Hrubá omítka je ze směsi 1 dílu vápna a 2 dílů písku (zrnitost 0-8 mm). Obvykle rychle tuhne a další den je možné nanášet 2. vrstvu (Chybík, 2009).
- 2) Druhá vrstva omítky bývá obohacena o kravské či kozí chlupy, popřípadě rostlinná vlákna ze slámy nebo kokosu. Vlákna slouží ke zvýšení pevnosti omítek v tahu. Doba tuhnutí této vrstvy bývá v rozmezí 2 – 7 dnů. Po tuto dobu je dobré chránit omítku před přímým působením slunce, deště a mrazu (Chybík, 2009) Především nesmí omítka příliš rychle vyschnout, protože proces tuhnutí vápenných omítek se odehrává pouze ve vlhkém stavu (Minke, Mahlke, 2009). Omítka obvykle v průběhu tuhnutí popraská a musí se průběžně opravovat (Chybík, 2009).
- 3) Posledním krokem při tvorbě omítky je líčení vápenným nátěrem, který povrch zpevní a uzavře trhliny (Chybík, 2009).

8.4.3 Vnitřní nosné stěny

Stěny jsou tvořeny KVH hranoly ve stejném rastru jako ty obvodové a se stejnými rozměry profilů 120 x 60 mm. Rám je vyplněn minerální vatou, která zde slouží jako ochrana proti šíření hluku. Opláštění rámu je provedeno z jedné strany vyztuženými sádrokartonovými deskami Rigips Stabil tloušťky 15 mm, které dodávají rámu prostorovou tuhost. Z druhé strany postačí již klasické sádrokartonové desky, v našem případě opět tloušťky 15 mm. V běžné praxi se častěji užívají desky tloušťky 12,5 mm, ale z osobních preferencí a volím raději tloušťku 15 mm zajišťující vyšší pevnost proti mechanickému poškození a lepší zvukově izolační vlastnosti.

8.4.4 Příčky

Konstrukce příček je shodná jako konstrukce vnitřních nosných stěn s tím, že rozměry KVH profilů jsou 80 x 60 mm. Aby příčky nevytvářely na vaznicích nechtěné podporové reakce, je nutné jejich kluzné uložení viz stavební detail „F“ na výkresu č. 15 ve výkresové části diplomové práce.

8.4.5 Stropní konstrukce

Nosnou funkci pro strop i střešní plášť plní konstrukce příhradových vazníků s osovou roztečí 900 mm. Na spodní pásnici jsou vruty přichyceny OSB desky tl. 18 mm, ty plní mimo jiné funkci záklopu pro foukanou izolaci z celulózových vláken o tloušťce izolační vrstvy 30 cm. Foukání tepelné izolace zprostředkuje specializovaná firma, která zajistí, aby výška foukané izolace odpovídala minimálně dané hodnotě. Foukanou izolaci jsem zde zvolil pro její dobré izolační vlastnosti, schopnost dokonale vyplnit mezery ve vaznicích a v neposlední řadě pro vysokou rychlost aplikace v takto rozměrných dutinách.

Směrem dolů od OSB desky jsou na závěsných hliníkových profilech s roztečí 500 mm přichyceny sádrokartonové desky tloušťky 12,5 mm. Prostor, který mezi hliníkovými profily vzniká, lze využít pro vedení elektro instalací.

8.4.6 Střešní plášť

V případech, kdy má střecha mírný sklon (do 15 °), je ozelenění střešního pláště relativně jednoduchým, cenově dostupným, tvanlivým, estetickým a ekologickým řešením.

Příhradové vazníky

Pro příhradové vazníky jsem se rozhodl především pro jejich rychlou montáž, která umožňuje brzy skryt dřevěnou konstrukci pod střechu a pro vysokou únosnost při nízké spotřebě řeziva.

Střecha byla navržena a staticky posouzena ve výpočetním programu Mitek. V tabulce níže je výčet zatížení vlastní tíhou střešní konstrukce¹⁴. Program provádí výpočty na základě ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1 – obecná zatížení a ČSN EN 1995 -1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí.

Tab. 9 Zatížení příhradového vazníku tíhou střešní a stropní konstrukce

Název	Šířka [m]	Výška [m]	Délka [m]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	char. Hodnota [kN/m ³]	Souč. zatížení	Návrhová hodnota [kN/m ³]
Substrát s vegetací	1	0,08	1	1200	0,960	1,35	1,296
Filtrační textilie	1	0,001	1		0,001	1,35	0,001
Drenážní kamenivo	1	0,05	1	860	0,430	1,35	0,581
Geotextilie	1	0,001	1	300	0,003	1,35	0,004
Hydroizolace	1	0,0015	1	1200	0,018	1,35	0,024
Geotextilie	1	0,001	1	300	0,003	1,35	0,004
Prkenný záklop	1	0,025	1	420	0,105	1,35	0,142
Latě 60x80 mm	0,06	0,08	1	420	0,020	1,35	0,027
Difúzní folie	1	0,0004	1	285,7	0,001	1,35	0,001
Foukana celulosa	0,934	0,3	1	45	0,126	1,35	0,170
OSB 3	1	0,018	1	600	0,108	1,35	0,146
SDK se závěsem	1	0,0125	1	840	0,105	1,35	0,142
Zatížení na horní pásnici celkem					1,541	1,35	2,081
Zatížení na spodní pásnici celkem					0,339	1,35	0,458

Zatížení sněhem stanovuje software samostatně na základě vstupních údajů o tvaru střechy a určení sněhové oblasti, která je v našem případě v oblastí č. 2 s charakteristickou hodnotou zatížení 1 kN/m². U zatížení větrem je tomu nápodobně, výchozími údaji jsou však výška budovy od země po uložení vazníku¹⁵, tvar střechy a rozměry střechy, větrná oblast – pro Veverskou Bítýšku oblast č. II se základní rychlostí

¹⁴ Tíhu vazníků započítává program automaticky.

¹⁵ Ze strany bezpečnosti byla za výchozí výšku považována výška od suterénu, tedy 5,4 m.

větru 25 m/s a kategorie terénu – v našem případě kategorie č. III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami.

Vegetační vrstva

Střecha bude ozeleněna tzv. extenzivní vegetací, tedy vegetací nenáročnou na údržbu. Konkrétní druh vegetace bývá zpravidla zvolen dle tloušťky substrátu, se kterou jde ruku v ruce schopnost souvrství akumulovat vodu. Tloušťka substrátu 8 cm představuje při nízkém sklonu dostatečnou mocnost pro ozelenění mechy, rozchodníky a bylinami. Nízký sklon střechy umožňuje aplikovat vegetaci prostým výsevem bez nutnosti pokládání drahých vegetačních koberců či přímé výsadby. Aby se zamezilo splavení semen, je nutné nanést nejdříve jen polovinu substrátu, provést výsev a překrýt jej druhou částí (Čermáková, Mužíková, 2009).

Substrát / zemina

Obvykle bývá možné na místo kupovaného substrátu využít zemin přímo z místa stavby. Zemina však musí mít určité vlastnosti, především nesmí být příliš jílovitá (Minke, 2001). Bohužel na daném pozemku se právě jílovité zeminy nacházejí, proto bude patrně nutné opatřit si jinou zeminu či substrát. Důležité je, aby byla zvolena taková varianta, která zajistí dobrou schopnost zadržet vodu a zároveň nebyla příliš výživná – to může vézt k přílišnému bujení vegetace (Čermáková, Mužíková, 2009).

Filtrační vrstva

Filtrační vrstvu je zapotřebí použít, aby nedocházelo k zanášení drenážní (nopkové) folie substrátem či zeminou. Pro tento účel jsem zvolil obyčejnou netkanou textilií, která je k dostání v mnoha zahradnictvích a představuje velmi malý finanční náklad.

Drenážní vrstva

U střech s nízkým sklonem dochází ke zpomalenému odtoku vody. Vlivem přemokření kořínků pak rostliny odumírají (Čermáková, Mužíková, 2009). Drenážní funkci plní drenážní kamenivo Liapor frakce 4 – 8 mm. Pro dané účely lze použít i nopkovou folii s 20 mm vysokými nopky, které jsou překryty přilepenou drenážní folií. Aplikace takové folie je velmi rychlá, nicméně cena je oproti kamenivu více než dvojnásobná.

Ochranná vrstva hydroizolace

Abychom zajistili, že nedojde k poškození hydroizolace ostrými kusy drenážního kameniva, pokládá se na hydroizolaci další vrstva geotextilie.

Hydroizolace

Hydroizolace zelených střech musí mít deklarován atest proti prorůstání kořínků vydávaný německou společností FLL¹⁶. Na českém trhu je dobře dostupná Fólie DEKPLAN 77 vyráběná z PVC-P (měkčený polyvinylchlorid), obsahující skleněnou výztužnou vložku. Jednotlivé pruhy folie jsou svařovány horkým vzduchem v přesahu 5 cm a pomocí tlaku válečku homogenně spojeny.

Hydroizolaci je z bezpečnostních důvodů lépe nepokládat přímo na bednění, ale vložit pod ni ještě geotextilii s gramáží 300g/m² a více jako ochranu před poškozením ostrými výstupky.

Bednění

Základní vazníků vytváří smrková prkna tloušťky 25 mm.

Provětrávaná mezera a pojistná hydroizolace

Vícevrstvé střešní pláště se vyznačují odvětrávanými mezerami, které mají za úkol odvézt případnou vlhkost, a také eliminovat teplotní výkyvy v letních měsících. *Norma ČSN 73 1901 – navrhování střech – Základní ustanovení* stanovuje minimální tloušťku větrané vzduchové vrstvy, určené pro odvod vodní páry difundující do střešní konstrukce při délce hrany střešního pláště téměř 10,5 metrů a sklonu střechy 5° na 66 mm. Má – li difuzní folie při takto malém sklonu fungovat současně i jako pojistná hydroizolace, a ne pouze jako závětrná vrstva, je třeba přelepit spoje jednotlivých pásů folie speciální lepicí páskou, k tomuto určenou.

8.4.7 Podlahy

Nášlapná vrstva podlah se liší dle užití dané místnosti. V zádveří, koupelně a WC předpokládáme působení vyššího užitné zatížení, nebo působení vlhkosti, proto je zde navržena dlažba. V ostatních místnostech leží plovoucí podlaha vyrobená z třívrstvé dřevěné lamely s povrchovou vrstvou z javorového dřeva tloušťky 3,5 mm pokrytým 6

¹⁶ FLL je zkratka pro „Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau“, volně přeloženo „Výzkumná společnost pro rozvoj krajiny a terénní úpravy“. Tato nezisková společnost se zabývá tvorbou standardů a pracovních příruček pro ozeleňování střech již více než 30 let. [14]

vrstvami transparentního laku. Střední vrstvou lamely je smrkové dřevo tloušťky 9 mm, poslední vyrovnávací vrstvou smrková dýha 1,5 mm tlustá. V suterénu je ponechána hrubá betonová podlaha natřená akrylátovou barvou

8.4.8 Otvorové výplně

Okenní otvorové výplně jsou osazeny dřevěnými Eurookny Harald, profil IV 78. Zasklení je v provedení s trojsklem $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Celkový součinitel prostupu tepla se v závislosti na poměru rámu ku zasklení pohybuje od 0,9 do $1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, u vchodových dveří až $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Rám oken a dveří z kombinace smrkového a borového dřeva je opatřen z vnější strany hliníkovou okapničkou, ze které stéká voda na pozinkovaný parapet. Povrchová úprava okna má jen mírnou pigmentaci, aby byla zachována viditelná kresba dřeva.

Vzhledem k velké šířce stěny (420 – 450 mm) je žádoucí umístit okna zhruba do středu šíře ostění tak, aby vnitřní a vnější parapet měl stejnou šíři. To je vyřešeno osazením okna do kastlíku z OSB desek o stejné šíři jakou mají slaměné balíky. Tímto řešením částečně omezíme tepelné mosty, vznikající, je-li okno zabudováno v úrovni rámové konstrukce, a současně se vyhneme negativu, které nese příliš hluboké zabudování vedoucí ke špatné cirkulaci vzduchu v okenním výklenku a z toho plynoucí kondenzace vodních par. Z vnější strany je ostění dodatečně zatepleno 20 mm expandovaného polystyrenu, překrytého rákosovou rohoží pro omítnutí vápennou omítkou.

8.4.9 Terasa a schodiště

Venkovní terasa a z ní vedoucí schodiště do zahrady jsou projektovány jako konstrukce téměř nezávislá na okolní stavbě. V praxi to znamená, že schodiště bude ke stavbě kotveno jen ve dvou bodech za pomoci ocelových lanek upnutých do zapuštěných ok v železobetonové základové konstrukci.

V rámci sjednocení designu s modřínovou palubkou, jež obkládá podstřešní část fasády, je i terasa a schodiště navrženo z modřínu. Při výběru řeziva je důležité dbát na co nejnižší obsah bělového dřeva, které má v exteriérech výrazně nižší životnost než dřevo jádrové. Delší životnost těchto exponovaných konstrukcí bude také zabezpečovat povrchová vosková impregnace s vysokým hydrofobním účinkem.

Sloupky terasy jsou uchyceny přes ocelové úhelníky do základových patek a nad sebou nesou dva hlavní trámy. Na ty jsou v osové vzdálenosti 500 mm připevněny vedlejší nosníky, které podpírají finální palubkovou podlahu o tloušťce 27 mm, ležící 15 mm pod úrovní podlahy v interiéru, aby nedocházelo k zatékání vody při silných deštích.

Dřevěná schodiště jsou se zapuštěnými stupnicemi na rybinový spoj do schodnic, bez podstupnic. Hlavní 16 stupňové schodiště vedoucí do zahrady je ve své spodní části uchyceno přes schodnice do dřevěného hranolu, který je osazen v zakotvených ocelových patkách. Vedlejší 3 stupňové schodiště vede z terasy na okapový chodníček, kde dosedá na podkladní betonový stupeň se sníženou výškou 40 mm.

8.5 Vytápění objektu

Primárním zdrojem tepelné energie pro rodinný dům je kotel na kusové dříví umístěný v suterénu budovy. Kotel je napojen na dvoutrubkovou otopnou soustavu s přirozeným oběhem vody vedoucí přes akumulaci nádrž v technické místnosti do deskových radiátorů v jednotlivých místnostech. Trubky pro transport teplé vody k radiátorům jsou vedeny v horním okraji tepelné izolace podlahy, tedy těsně pod betonovou podlahovou deskou. Odvod spalin z kotle zabezpečuje venkovní nerezový komín, který je dle normy *ČSN 73 4201 Komíny a kouřovody* vyveden alespoň 1000 mm nad úroveň přiléhajícího střešního pláště.

Sekundárním zdrojem tepelné energie jsou mobilní elektrické přímotopy, které díky svému okamžitému náběhu dokáží rychle vytopit objekt například po návratu ze zimní dovolené nebo zajistit tepelnou energii při výpadku primárního zdroje.

Přestože obvodový plášť budovy vykazuje kvalitní tepelně izolační parametry¹⁷, odpovídající doporučeným hodnotám pro pasivní budovy, nejedná se o dům navržený pasivním a pravděpodobně ani nízkoenergetickým standardu. Důvodem je potřeba opatřit takový objekt nuceným větráním s rekuperací tepla, které představuje vysokou vstupní investici a pro mne osobně i pocit jisté nesourodosti mezi domem postaveným na bázi přírodních materiálů a poměrně složitou moderní technologií, která řídí výměnu vzduchu.

¹⁷ Viz kapitola 9.1.6

9 Tepelně technické posouzení obvodového pláště

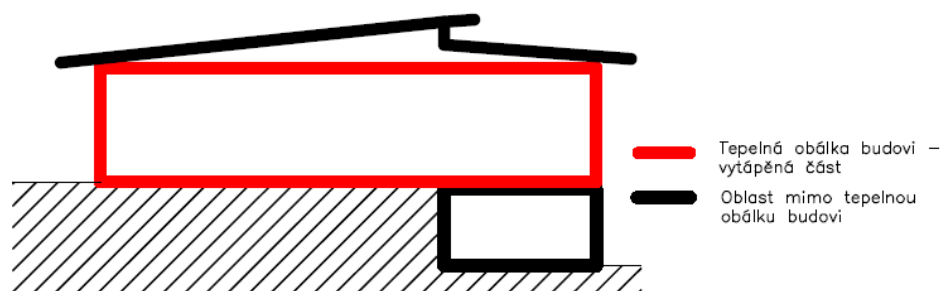
V této kapitole budou provedeny tepelně technické výpočty pro obvodový plášť budovy, popis jednotlivých fyzikálních jevů, které vedou k tepelným ztrátám a také ke vzniku případných defektů stavby.

Tepelná energie se z objektu o vyšší teplotě do okolí s nižší teplotou šíří třemi způsoby:

- 1) **Vedením tepla** – ve stavební praxi se prostup tepla stavebními konstrukcemi charakterizuje součinitelem prostupu tepla. Jak již bylo uvedeno v předcházející kapitole, součinitel prostupu tepla je jednou ze základních veličin charakterizujících obvodový plášť budovy. Při návrhu jednotlivých skladeb jsem apeloval na dosažení určitého souladu mezi dosahovanými hodnotami, přičemž výchozí hodnotu představoval součinitel prostupu tepla u obvodové stěny.
- 2) **Větráním** – množství tepelné energie, která ze stavby uniká, je závislé na systému větrání. U pasivních a nízkoenergetických domů je obvykle zapotřebí použít nuceného větrání s rekuperací tepla. Pro objekty u kterých není kladen takový tlak na minimalizaci tepelných ztrát, postačuje přirozené větrání.
- 3) **Infiltrací** – tepelné ztráty vznikající netěsnostmi obálky. Blíže se tomuto tématu věnuje kapitola 9.2.

9.1 Tepelně technické výpočty pro obvodové stěny

Výpočty byly provedeny jen pro skladby zahrnuté do tepelné obálky budovy, viz obrázek níže. U obvodových stěn a stropu, kde plní nosnou funkci dřevo, byly výpočty doplněny o výpočet bilance vodních par, neboť při vzniku kondenzátu může mít neblahé účinky na trvanlivost konstrukce.



Obr. 11 Oddělení tepelné obálky budovy od nevytápěných částí objektu

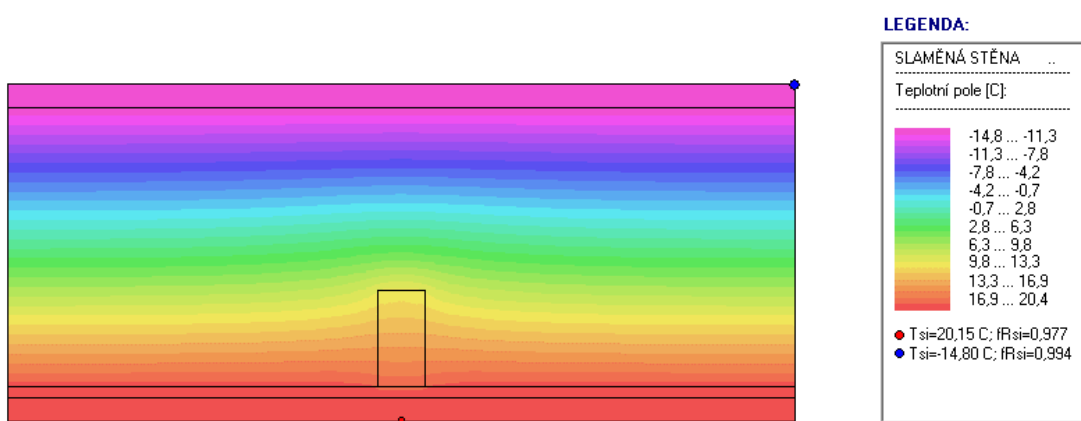
Vstupní parametry pro tepelné výpočty:

- 1) Výpočty byly provedeny podle EN ISO 10211 a ČSN 730540 - MKP/FEM model¹⁸
- 2) Parametry pro výpočet teplotního faktoru:
 Teplota vzduchu v exteriéru: -15 °C
 Teplota vzduchu v interiéru: 21 °C
- 3) Relativní vlhkost vzduchu:
 V interiéru: 55 %
 V exteriéru: 85 %

9.1.1 Prostup tepla obvodovou slaměnou stěnou

Tab. 10 Vrstvy obvodové slaměné stěny a jejich parametry.

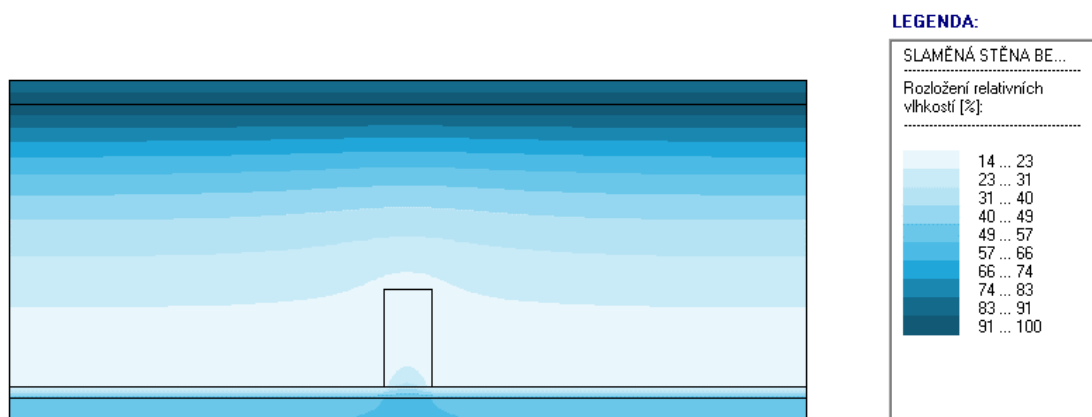
Materiál	Tloušťka (d) [mm]	Součinitel tepelné vodivosti (λ) [W/m·K]	Faktor difuzního odporu (μ)
Hliněná omítka se slaměnou řezankou /nosič omítky	30	0,8	5
Deska OSB 3	15	0,13	300
Rámová konstrukce -SM/ Izolace ze slaměných balíků	120	0,18/0,052	157/2
Slaměné balíky	230	0,052	2
Vápenná omítka/nosič omítky	30	0,87	11



Obr. 12 Rozložení teplot ve slaměné stěně

Minimální povrchová teplota v interiéru: 20,15 °C
 teplota rosného bodu v daném prostředí: 11,61 °C

¹⁸ Metoda konečných prvků, sloužící k simulaci proudění tepla a vlhkosti konstrukcí.



Obr. 13 Rozložení relativní vlhkosti ve slaměné stěně

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Během modelového roku nedochází v detailu konstrukce ke kondenzaci vodní páry.

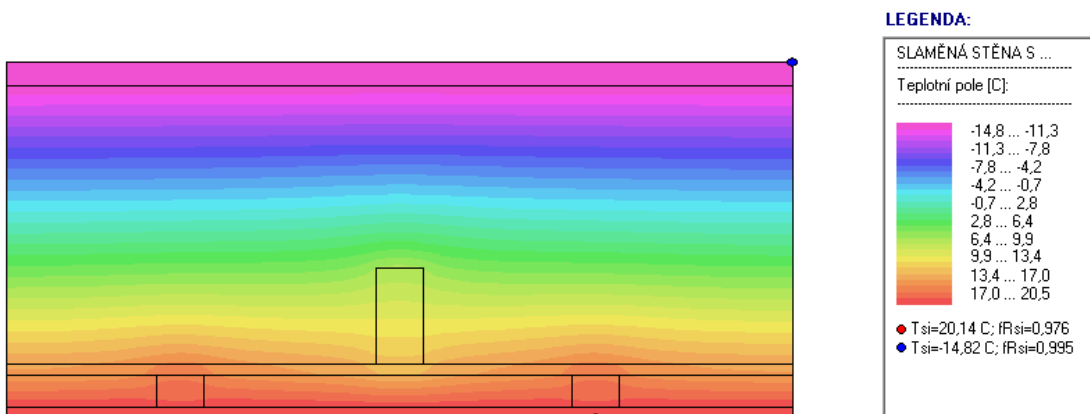
Součinitel prostupu tepla konstrukcí:

$$U = 0,146 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

9.1.2 Prostup tepla obvodovou slaměnou stěnou s instalační předstěnou

Tab. 11 Vrstvy obvodové slaměné stěny s instalační předstěnou a jejich parametry.

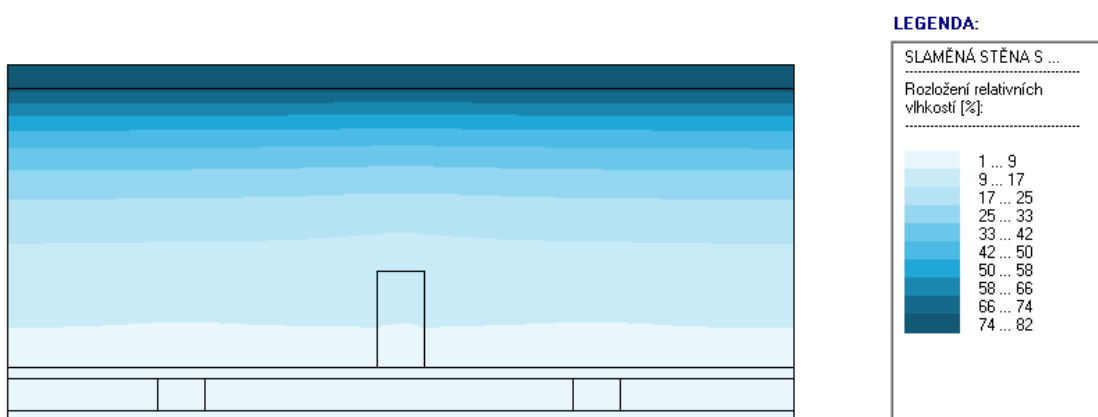
Materiál	Tloušťka (d) [mm]	Součinitel tepelné vodivosti (λ) [W/m·K]	Faktor difuzního odporu (μ)
SDK deska	12,5	0,22	9
Instalační předstěna – SM latě 4x6 cm/ minerální izolace	40	0,18/0,036	157/2
Deska OSB 3	15	0,13	300
Rámová konstrukce -SM/ Izolace ze slaměných balíků	120	0,18/0,052	157/2
Slaměné balíky	230	0,054	2
Vápenná omítka/nosič omítky	30	0,8	11



Obr. 14 Rozložení teplot ve slaměné stěně s instalační předstěnou

Minimální povrchová teplota v interiéru: 20,14 °C

teplota rosného bodu v daném prostředí: 11,61 °C



Obr. 15 Rozložení teplot ve slaměné stěně s instalační předstěnou

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Během modelového roku nedochází v detailu konstrukce ke kondenzaci vodní páry.

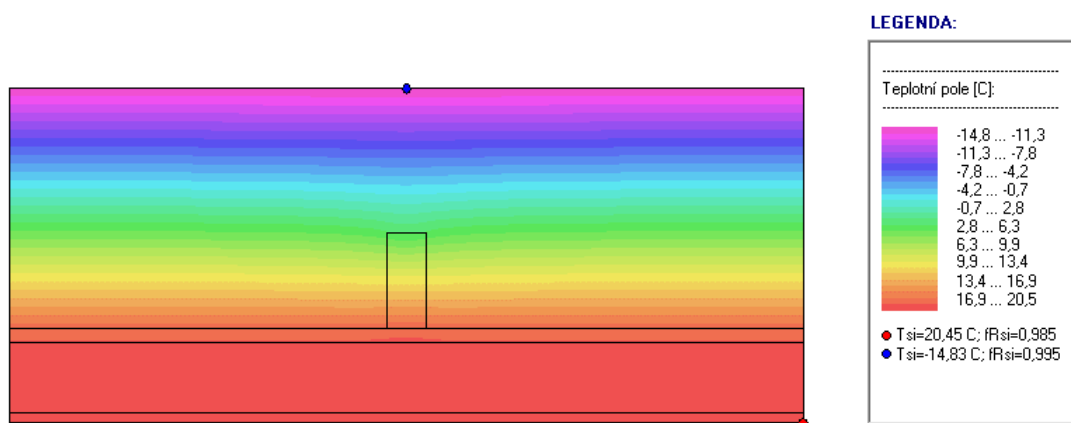
Součinitel prostupu tepla konstrukcí:

$$U = 0,129 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

9.1.3 Stropní konstrukce

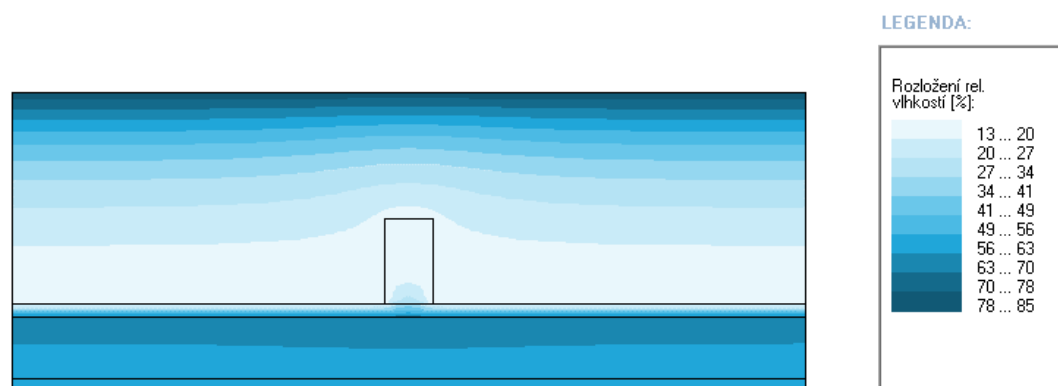
Tab. 12 Vrstvy stropní konstrukce a jejich parametry.

Materiál	Tloušťka (d) [mm]	Součinitel tepelné vodivosti (λ) [W/m·K]	Faktor difuzního odporu (μ)
SDK deska	12,5	0,22	9
SDK rošt se vzduchovou instalační mezerou	87,5	0,51*	1
Deska OSB 3	18	0,13	300
Spodní pásnice příhradového vazníku /Foukaná celulózo- vá izolace Climatizer Plus	120 / 300	0,18 / 0,04	157 / 2



Obr. 16 Rozložení teplot ve stropní konstrukci.

Minimální povrchová teplota v interiéru: 20,45 °C
teplota rosného bodu v daném prostředí: 11,61 °C



Obr. 17 Rozložení relativní vlhkosti ve stropní konstrukci.

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Během modelového roku nedochází v detailu konstrukce ke kondenzaci vodní páry.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí:

$$U = 0,130 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

9.1.4 Podlaha na terénu

Tab. 13 Vrstvy podlahy na terénu a jejich parametry.

Materiál	Tloušťka (d) [mm]	Součinitel tepelné vodivosti (λ) [W/m·K]	Faktor difuzního odporu (μ)
Plovoucí podlaha	14	0,18	160
Mirelon	3	0,06	15
Betonová podlaha	60	1,23	23
PE folie	0,1	-	500
EPS 100 Z	200	0,037	50
Železobetonová deska	150	1,43	26
Podkladní beton	50	1,23	23
Štěrkový podsyp	100	1,6	-



Obr. 18 Rozložení teplot v konstrukci podlahy.

Minimální povrchová teplota v interiéru: 20,66 °C
teplota rosného bodu v daném prostředí: 11,61 °C

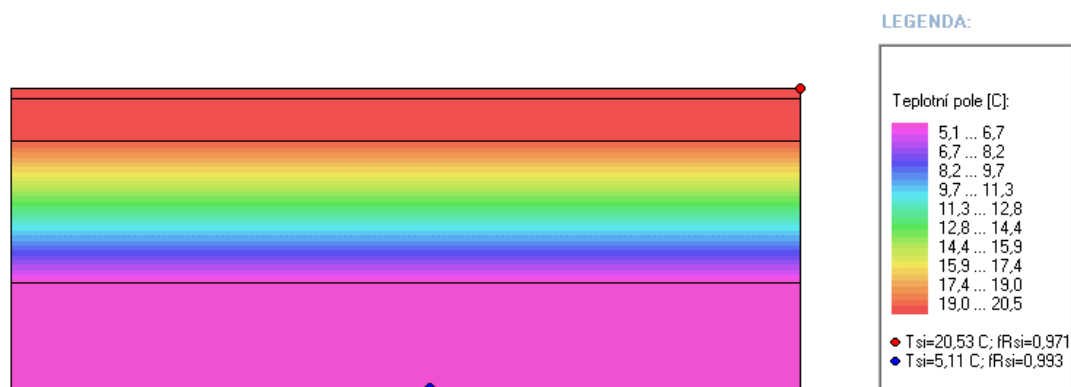
Součinitel prostupu tepla konstrukcí:

$$U = 0,170 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

9.1.5 Podlaha nad suterénem

Tab. 14 Vrstvy podlahy nad suterénem a jejich parametry.

Materiál	Tloušťka (d) [mm]	Součinitel tepelné vodivosti (λ) [W/m·K]	Faktor difuzního odporu (μ)
Plovoucí podlaha	14	0,18	160
Mirelon	3	0,06	15
Betonová podlaha	60	1,23	23
PE folie	0,1	-	500
EPS 100 Z	200	0,037	50
Železobetonová deska	150	1,43	26



Obr. 18 Rozložení teplot v konstrukci podlahy.

Minimální povrchová teplota v interiéru: 20,53 °C
teplota rosného bodu v daném prostředí: 11,61 °C

Součinitel prostupu tepla konstrukcí:

$$U = 0,176 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

9.1.6 Porovnání vypočtených hodnot s normovými hodnotami

Tab. 15 Porovnání vypočtených hodnot součinitele prostupu tepla s normovými hodnotami dle ČSN 730540

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m ² *K]			
	Požadované hodnoty U _{n,20}	Doporučené hodnoty U _{rec,20}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U _{pas,20}	Vypočtené hodnoty U
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 - 0,12	0,129 - 0,146
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 - 0,10	0,130
Podlaha vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 - 0,15	0,170
Strop a stěna z vnitřního vytápěného prostoru k nevytápěnému	0,60	0,40	0,30 - 0,20	0,176

Na základě porovnání vypočtených hodnot součinitele prostupu tepla v posledním sloupci tabulky s předposledním sloupcem, zjistíme, že veškeré konstrukce vyhovují doporučeným tepelným parametrům pro pasivní budovy. To že slaměná stěna s prakticky nejmenší možnou tloušťkou vyhovuje takto vysokému standartu, je dobrý signál vzhledem k neustále se zvyšujícím nárokům na izolaci budov.

9.2 Tepelné ztráty vzniklé netěsností obálky budovy

Nízká těsnost obálky má na spotřebu tepla k vytápění mnohem výraznější vliv než systematické tepelné mosty způsobené prostupem dřevěných profilů (Grmela, 2012). Průvzdušnost obálky budovy je definovaná jako násobek objemu vzduchu v místnostech, který se vymění za jednu hodinu při přetlaku 50 Pa. Dle osobní konzultace se Stanislavem Palečkem, který je jedním z předních českých odborníků na blower door testy, tento přetlak odpovídá vystavení budovy větru o rychlosti 11 – 15 m/s. Jednonásobná výměna vzduchu přitom představuje ztrátu asi 4,5kWh/m² za rok (Grmela, 2012). Pasivní domy mají hodnotu vzduchotěsnosti menší než 0,6/h a z vlastních zkušeností vím, že po důkladném přelepení veškerých spár OSB desek je možné dosahovat hodnot neprůvzdušnosti i kolem 0,2/h. Dle Grmely (2012) mají slaměné domy s hliněnými omítkami přímo na slámě při pečlivém provedení omítek v ploše a dobrém utěsnění všech

detailů vzduchotěsnost 0,45-0,6/h. Domy se špatně provedenými omítkami a nevyřešenými detaily však i 12/h. U takových domů tak může být potřeba tepla ke krytí tepelných ztrát průvzdušností (50kWh/m².rok) 2x-5x větší než potřeba tepla ke krytí tepelných ztrát samotným prostupem (10-25kWh/m².rok).

Netěsnost obálky budovy však nemusí vést jen k navýšení celkové tepelné ztráty, ale i k znehodnocení celého objektu vlivem kondenzace vodních par. Právě při prostupu vzduchu netěsnostmi se do konstrukce může dostat mnohonásobně více kondenzátu než při procesu difuze. Například Svoboda (2008) uvádí, že při netěsnosti o šířce 1 mm v parobrzdě do oblasti mezi rastrové sloupky vniká až 15 krát více kondenzující páry než samotnou difuzí vodních par přes materiál.

10 KALKULACE MATERIÁLOVÝCH NÁKLADŮ

Kalkulace materiálových nákladů vychází z publikovaných cen výrobců, prodejců a individuálních nabídek jimi poskytnutých. Ceny odpovídají cenové hladině za období březen – duben 2015.

Hlavními hledisky, dle kterých jsem vybíral dodavatele materiálu, byla vzdálenost od místa stavby, která byla určující především pro materiály velkých objemů, cena a dobré předchozí reference.

Součástí projektu není návrh technického zařízení budovy, z toho důvodu ani nejsou související položky uvedené v rozpočtu. Dále není provedena kalkulace pro zařizovací předměty, jež obvykle bývají až součástí důkladného výběru investorem, a pro venkovní zpevněné plochy.

Uvedené ceny jsou včetně DPH, ale bez započtení nákladů na dopravu a případnou montáž či aplikaci. Výjimku tvoří tepelná izolace stropu, u které je cena včetně aplikace a montáž oken, kterou provádí přímo výrobcem pověřená montážní skupina.

Množství většiny stavebních materiálů je s přídavkem 5 % nebo zaokrouhleno nahoru dle velikosti dodávaného balení.

Tab. 16 Kalkulace materiálových nákladů v cenách včetně DPH

Popis stavby: Rodinný dům s izolací ze slaměných balíků	Datum kalkulace	duben 15
	Místo stavby: Veverská Bítýška	Cenová úroveň
	Zastavěná plocha	126,0
	Kč/m ²	8920

popis	mj	počet	cena/mj	cena Kč
Spodní stavba				
1 Štěrkový násyp, včetně drenáže	t	15,5	230	3 565
2 Podkladní beton C12/15	m ³	6,0	1 690	10 140
3 Hydroizolace z modifikovaných asfaltových pásů	m ²	165,0	142	23 430
4 Penetrační emulze Dekprimer	kg	36,0	48	1 728
5 Nopová folie Dekdren N8	m ²	80,0	33	2 614
6 Beton základových pásů, patek a ztr. bednění C20/25	m ³	24,0	1 920	46 080
7 Ztracené bednění z betonových tvárnic tl. 300 mm	ks	324,0	33	10 692
8 Beton na vnější schodiště C20/25	m ³	0,5	1 920	960
9 Dlažba Logwood na schodiště, včetně lepidla	m ²	4,0	1 139	4 556
10 Ocelové roxory, průměr 8 mm	bm	400,0	8	3 200
11 Kari síť 6 mm, oka 150 x 150 mm	m ²	160,0	56	8 960

12	Betonová deska 15 cm C20/25	m ³	18,3	1 920	35 136
13	Kotevní patky do betonu - U profil 100 x 100	ks	10,0	147	1 470
14	Betonové překlady nad okno a dveře	ks	4,0	378	1 512
15	Drenážní hadice Glynwed, průměr 125 mm	bm	55,0	70	3 860
16	Lepící stěrka na extrudovaný polystyren Weber therm	l	180,0	52	9 310
17	Extrudovaný polystyren tl. 50 mm	m ²	48,0	151	7 248
18	Stěrková hmota, výztužná síťovina a podkladní nátěr	m ²	44,0	77	3 367
19	Fasádní omítka Baumit Mosaik Top - písková	kg	240,0	46	11 040
20	Vnitřní vápenno sádrová omítka tl. 20 mm, malba bílá	m ²	36,0	303	10 908
21	Akrylátová barva na podlahu Silamat S 2819, šedá	l	3,5	250	875
Spodní stavba celkem					200 650

	popis	mj	počet	cena/mj	cena Kč
Hrubá stavba					
Rámová konstrukce					
22	Dřevěné nosníky KVH 120 x 60 mm	m ³	4,8	12 450	59 760
23	Dřevěné nosníky KVH 80 x 60 mm	m ³	0,9	12 608	11 852
24	Modřínová zakládací fošna	m ³	0,6	15 000	8 250
25	Ultrallam	m ³	0,3	15 000	4 350
26	BSH průvlak, pohledová kvalita	m ³	0,1	21 054	1 579
27	OSB 3 Egger 4 PD tl. 15 mm	m ²	132,0	150	19 800
28	OSB 3 Egger 4 PD tl. 18 mm	m ²	110,0	170	18 700
29	Polyuretanové lepidlo	l	7,5	280	2 100
30	Airstop páska	m	300,0	13	3 900
31	Bitumenová páska	m	50,0	23	1 150
32	Latě instalační předstěny 40 x 60 mm	m ³	0,2	6 655	1 331
33	Latě na kotvení balíků ke stěně 20 x 30 mm	m ³	0,2	6 655	1 331
34	Polypropylenový popruh šíře 15 mm	bm	300,0	3	780
Stavebně truhlářské výrobky					
35	Dřevěná okna Harald, rám borovice/smrk, trojsklo	ks	10,0		114 724
36	Vehodové a balkonové dveře Harald, borovice/smrk	ks	2,0		32 683
37	Sklepní svlakové dveře s rámovou zárubní, modřín	ks	1,0	11 600	11 600
38	Venkovní parapet, pozink	ks	10,0		4 770
Hrubá skladba podlahy					
39	Podlahový polystyren Isover EPS 100 Z	m ³	214,0	147	31 458
40	Separáční PE folie	m ²	110,0	6	627
41	Suchý podlahový beton tl. 60 mm	m ²	107,0	130	13 910
Opláštění stěn a stropu SDK					
42	SDK Rigips tl. 15 mm	m ²	85,0	105	8 883
43	SDK Rigips tl. 10 mm	m ²	22,0	48	1 056
44	SDK Rigips stabil tl. 15 mm	m ²	110,0	198	21 780
45	Koupelnový SDK Rigips RBI tl. 15 mm	m ²	32,0	162	5 184
46	SDK Rigips tl. 12,5 mm na stropní konstrukci	m ²	110,0	75	8 250
47	SDK lišty + stropní závěsy celkem				9 200
Tepelná a akustická izolace					

48 Slaměné balíky 35x50x70 cm	ks	420,0	35	14 700
49 Čedičová izolace Isover Aku 40 mm	m ²	30,0	42	1 253
50 Čedičová izolace Isover Aku 70 mm	m ²	52,5	73	3 812
51 Čedičová izolace Isover Aku 120 mm	m ²	30,0	100	2 988
52 EPS 70 F 20 mm na venkovní ostění	m ²	12,5	23	284
53 Foukaná celulózová izolace Climatizer Plus	m ³	35,0	960	33 600
Střešní konstrukce včetně vegetační vrstvy				
54 Střešní vazníky včetně kotvení				76 807
55 Difúzní folie	m ²	225,0	39	8 712
56 Provětrávaná mezera - KVH 80 x 60 mm	m ³	0,7	12 608	9 078
57 Bednění z prken tl. 25 mm	m ³	4,0	6 655	26 620
58 Impregnace Bochemit Forte	l	10,0	276	2 760
59 Geotextilie Filtek 300 g/m ²	m ²	400,0	30	11 920
60 Hydroizolace Dekplan 77	m ²	184,5	189	34 826
61 Drenážní kamenivo Liapor frakce 4 - 8 mm	m ³	4,2	1 325	5 565
62 Netkaná textilie	m ²	160,0	14	2 240
63 Substrát	m ³	11,2	1 950	21 840
64 Směs osiva Optigrün typ A	m ²	140,0	25	3 500
65 Okapní systém pro obě střešní roviny				3 240
66 Kačírková lišta - hliník tl. 1,5 mm	bm	20,0	533	10 660
67 Klempířské prvky - atika - plech pozink, 3 x ohýbaný	bm	41,0	285	11 685
Venkovní fasáda				
68 Rabicové pletivo na vápennou omítku	m ²	150,0	25	3 690
69 Vápenná omítka včetně vápenného nátěru	m ²	128,0	67	8 576
70 Fasádní modřínové palubky kvalita A/B, tl 19 mm	m ²	58,0	345	20 010
Konstrukce terasy a venkovní dřevěná schodiště				
71 Podlahové modřínové palubky, tl. 27 mm	m ²	8,2	540	4 428
72 Modřínové hranoly 100 x 160	m ³	0,1	8 470	1 016
73 Modřínové hranoly 100 x 100	m ³	0,0	8 230	329
74 Modřínové hranolky 60 x 100	m ³	0,2	8 230	1 235
75 Zábradlí, modřín	bm	6,0	1 600	9 600
76 Schodnicové schodiště, modřín, 16 stupňů, zábradlí	ks	1,0	35 800	35 800
77 Schodnicové schodiště, modřín, 2 stupně, zábradlí	ks	1,0	5 900	5 900
Spojovací materiál				
78 Veškerý užitý spojovací materiál - odborný odhad ceny				15 000
Hrubá stavba celkem				790 681

popis	mj	počet	cena/mj	cena Kč
Stavba na dokončení				
Povrchové úpravy stěn				
79 Nosič hliněné omítky - rákosová rohož	m ²	66,0	43	2 838
80 Písek na hrubou hliněnou omítku, zrnitost 0-4mm	t	2,0	79	158
81 Jemná hliněná omítka tl. 3 mm	kg	400,0	8	3 296
82 Spárovací a finální tmel na SDK + tkaninová bandáž				4 680
83 Malba Primalex Standard	kg	30,0	33	990

84	Koupelnový obklad Siko Kaliva	m ²	8,0	580	4 680
Podlahy					
85	Plovoucí třílamelová podlaha, povrch javor - lak	m ²	91,0	478	43 498
86	Mirelon tl. 3 mm	m ²	100,0	12	1 200
87	Dlažba Siko Random, hnědá 60x60 cm	m ²	14,0	678	9 519
88	Stěrka, penetrace, lepidlo a spárová hmota Cemix	m ²	13,0	498	6 474
Interiérové dveře					
89	Interiérové dveře Gerbrich dle výpisu, včetně kování	ks	8,0		24 430
90	Zárubně	ks	8,0		18 600
91	Stavební pouzdro JAP pro posuvné dveře šíře 900 mm	ks	1,0	6 785	6 785
Doplňky					
92	Vnitřní parapety - spárovka borovice, transparentní lak	m ²	2,6	2 100	5 460
Stavba na dokončení celkem					132 608

REKAPITULACE	
Spodní stavba	200 650
Hrubá stavba	790 681
Stavba na dokončení	132 608
Cena včetně DPH	1 123 939
Poznámky a doplnění rozpočtu	
Do rozpočtu nejsou zahrnuty náklady na dopravu a montáž ¹⁹	

Celkové výčet materiálových nákladů hodnotím na základě statistik²⁰ o ceně dřevostaveb z časopisu Dřevo a Stavby (2009/6) jako velmi realistický. Tyto statistiky uvádějí cenu stavby v závislosti na velikosti obestavěného prostoru. Pro kategorii domů s obestavěným prostorem 401 – 600 m³ činí průměrná cena hrubé stavby 11 500 Kč/m², v mém případě je to 6146 Kč/m² bez započtení nákladů na dopravu a na veškerou pracovní činnost. Těmto výdajům bývá často prisuzován i stejný podíl z celkových nákladů na výstavbu jako materiálu, při realizaci domu stavební firmou.

Z kalkulace materiálových nákladů je zjevné, že největší podíl má hrubá stavba, která činí 70 % všech nákladů. V rámci možných úspor bychom mohli větší část stavby zateplit slaměnými balíky, nicméně jejich aplikace mezi vazníkovou konstrukci by byla při snaze o kvalitní výsledek velmi pracná a pro izolaci podlahy balíky je zapotřebí zvolit zcela odlišnou skladbu spodní konstrukce. Další možnost úspor vidím v záměně KVH

¹⁹ Krom okenních výplní, venkovních dveří a stropní foukané izolace, kde jsou náklady včetně montáže

²⁰ Reprezentativní vzorek zpracovaný v této statistice činí 40 českých firem dodávajících dřevostavby na bázi rámové konstrukce.

nosníků za sušené stavební řezivo u kterého je cena o cca 4 tis. Kč na m³ nižší²¹, avšak je třeba počítat s horší rovinností prvků, která může vést k prodloužení výstavby a dosažení horších výsledků. Velký podíl ve výši 30 % z hrubé stavby má střešní konstrukce, u které lze zajímavých finančních úspor dosáhnout záměnou substrátu za zeminu vyskytující se v místě stavby, ale jak již bylo dříve uvedeno, velmi záleží na konkrétních vlastnostech dané zeminy.

²¹ Ceník stavebního řeziva poskytnutý brněnským výrobcem, dostupné z: <http://www.tramy.cz/cenik-dreva>

11 Diskuse

Úvodní, teoretická část práce pojednává o slaměném stavitelství z hlediska historického vývoje od prvotních slaměných staveb až po současnou situaci v ČR a ve světě. Prvotní příčinou, která vedla k použití slámy, byl prostý nedostatek jiných materiálů, avšak nabyté pozitivní zkušenosti poskytly následujícím stavitelům už zcela jiné důvody k budování staveb ze slaměných balíků. Těmi hlavními, které přetrvaly dodnes, jsou kvalitní tepelně a zvukově izolační vlastnosti materiálu s nízkými pořizovacími náklady a téměř nulovou ekologickou stopou. Je pravda, že moderní izolační materiály poskytují lepší parametry součinitele prostupu tepla, v závislosti na orientaci balíku o 30 – 60 %, nicméně tento parametr je vykoupen vyšší cenou a nižší tepelnou kapacitou, která je velmi důležitá pro vyvážené klima v interiérech budov.

Z hlediska legislativních nároků nejsou přímo na slaměné domy kladena žádná restriktivní opatření, přesto je téměř nemožné najít statika, který se podepíše pod posudek vícepatrového domu z nosné slámy. Problematické také může být, stejně jako u jiných typů dřevostaveb, začlenění konstrukčního systému do požární kategorie DP3, která stavitele povazuje k výpočtu požárně nebezpečného prostoru na základě posouzení obvodových stěn za požárně otevřené plochy, a tím se obvykle navyšuje velikost tohoto prostoru. Možným řešením může být například posouzení tlusté venkovní omítky jako venkovní požárně odolné přízdívky.

Při stavbě domu ze slaměných balíků není jen jedna správná cesta, kterou by bylo možné se vydat, ale existuje celá řada osvědčených metod přizpůsobených požadavkům konkrétního stavitele. Na množství stavebních metod má vliv i to, že slaměné balíky nemusejí sloužit pouze jako výplňový materiál, ale i jako nosný element. Stavitel tak má možnost postavit vše od domu z nosné slámy ve tvaru iglú až po dvoupatrový řadový dům s nosnou dřevěnou konstrukcí, který žádným způsobem nevyčnívá z okolní zástavby.

U návrhu domu osazeného na konkrétním pozemku jsem měl několik zásad, které jsem se snažil více či méně úspěšně dodržet. Prvním aspektem bylo navržení funkčního domu z hlediska dispozice tak, aby bylo zajištěno kvalitní bydlení v rámci moderních standardů a splnění požadavků kladených normou *ČSN 73 4301 – obytné budovy*. Ve chvíli, kdy byla dispozice navržena, přišla řada na řešení technického provedení budovy včetně návrhu skladeb konstrukcí. V návrhu jsem kladl důraz na použití takových konstrukcí, které nebudou příliš pracné, budou finančně dostupné, ekologické a zajistí domu potřebnou životnost. Právě použití ekologických materiálů jsem musel v řadě situací potlačit na úkor jednodušších pracovních procesů či celkové koncepce budovy založené na základové desce s částečným podsklepením. Podíváme – li se blíže na výčet

materiálových nákladů, zjistíme, že na konstrukci spodní stavby bylo spotřebováno téměř 50 m³ betonu, tzn. asi 110 tun spotřebovaného materiálu. I kdyby tedy byla vrchní stavba v maximální možné míře z obnovitelných přírodních surovin, nedalo by se upřímně říct, že se jedná o ekologicky šetrný způsob stavění. Ten dle mého názoru vyžaduje zakládání na subtilnějších konstrukcích, např. s tzv. systémem crawl space, u kterého je dům s podlahovým dřevěným roštem založen na základových patkách (či pasech) a stojí nad provětrávanou vzduchovou mezerou. Zde se dá s výhodou využít slaměných balíků i pro izolování podlahy.

Z hlediska tepelných ztrát prostupem přes obvodové konstrukce by dům díky dostatečným izolacím mohl spadat do kategorie nízkoenergetických či dokonce pasivních budov. Však vlivem tepelných ztrát způsobených přirozeným větráním bez rekuperace bude spadat spíše do kategorie „energeticky úsporných“ budov. Nicméně zde se jedná spíše o odhad, neboť celkové tepelné posouzení budovy není součástí této diplomové práce.

V poslední kapitole práce se zabývám kalkulací materiálových nákladů a to pro fázi spodní stavby, hrubé a tzv. stavby na dokončení, ve které jsou započteny například i nášlapné vrstvy podlah a interiérové dveře. U spodní stavby jsem předpokládal i vyšší cenu, ale je zapotřebí brát v úvahu, že náklady zde uvedené jsou bez započtení dopravy, která se u této části stavby promítne asi nejvíce. U hrubé stavby se krom nízké ceny za zateplení stěn slaměnými balíky také kladně promítly velmi nízké ceny venkovních a vnitřních omítek. Především ty vnitřní, na které je nutné zakoupit jen rákosový nosič omítky a písek, hlínu získáme z vlastní stavby. Porovnáme-li náklady na pořízení slaměných balíků na obvodové stěny dle *tab. 16* a konvenčního zateplovacího systému jakým je kombinace minerální vaty a fasádní polystyrenu z *tab. 5* zjistíme, že pro dosažení stejných tepelných vlastností bychom zaplatili zhruba o 20 000 Kč více²². Kalkulace finančních nákladů odpovídá i celkovým představám investora, který by chtěl veškeré náklady na stavbu, při stavbě velké části stavby svépomocí, udržet pod úrovní 2 mil. Kč.

²² Cena vychází z Tab. 5 při kombinaci izolace z minerální vaty a fasádního polystyrenu v poměru 1/1 a z celkové spotřeby izolačního materiálu pro fasádu o ploše 145 m².

12 ZÁVĚR

Diplomová práce na téma „Dřevostavba rodinného domu se slaměnou izolací“ ve svých úvodních kapitolách nabízí širší pohled na celé téma slaměného stavitelství, než by poskytnul samotný návrh jednoho samostatného objektu. V těchto kapitolách je popsán historický vývoj, který odhaluje historické příčiny využití slámy ve stavebnictví a konfrontuje je s těmi současnými. Konkrétně se jedná o přechod od slámy, jako téměř jediného lokálně dostupného materiálu, k využití slámy pro její výborné stavebně fyzikální vlastnosti, nízkou ekologickou stopu a cenovou dostupnost. Právě pořizovací cena samotného izolačního materiálu je aspekt, který jsem v práci vícekrát zmínil, protože oproti nejlevnější konvenčním materiálům lze dosáhnout úspor ve výši 40 – 90%²³. Z konstrukčního hlediska mě zaujala variabilita tohoto stavebního systému, neboť ke slaměnému balíku můžeme přistupovat jak k prvku výplňovému, tak i nosnému. V současné době je na našem území praktikován z převážné většiny první z uvedených přístupů, nicméně doufám, že je jen otázkou času, kdy se provede větší množství statických zkoušek a domy se stěnami z nosné slámy bude navrhovat větší množství projektantů.

Návrh rodinného domu, který je součástí práce, je charakteristický mimo jiné i tím, že je vypracován pro pozemek, na kterém bude konstrukčně velmi podobný dům skutečně postaven. Na pozemku, který je částečně terasovitý jsem zvolil způsob založení na základových pasech se základovou deskou a částečným podsklepením. Konstrukčním systémem vrchní stavby je rámová dřevostavba s roztečí sloupků 730 mm, zaizolovaná slaměnými balíky a oboustranně omítnuta. Zastřešení tvoří střešní vazníková konstrukce s ozeleněním střešním pláštěm, který podtrhuje environmentální stránku výstavby.

Pro obvodové konstrukce vytápěné části objektu byly vypracovány tepelně technické výpočty, které deklarují vysoké tepelně izolační schopnosti slaměných stěn. Právě slaměné stěny se součinitelem prostupu tepla $U = 0,146 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ nastavily výchozí parametr pro určení množství tepelných izolantů u ostatních obvodových konstrukcí, a také pro srovnávání s konvenčními izolačními materiály.

Poslední kapitola se věnuje výpočtu celkových materiálových nákladů na výstavbu. Ty činí 1 123 939 Kč v cenách včetně DPH. Dle mého názoru i dle porovnání se statistikami uvedenými v dané kapitole je cena naprosto reálná a odpovídá i celkové vizi budoucího stavitele, který by se chtěl s velkou částí svépomocných prací dostat pod částku 2 mil. Kč za celou stavbu.

²³ Hodnoty vychází z Tab. 5 při kombinaci izolace z minerální vaty a fasádního polystyrénu v poměru 1/1.

13 SUMMARY

Master's thesis on "Timber structure of family house insulated by straw" in his opening chapters offers a broader perspective on the whole topic straw construction than in the proposal would provide a separate project of building. In these chapters, the historical perspective that reveals the historical reasons for using straw in construction and confronts them with those of today. Specifically, the transition from the straw, as almost the only locally available material to use of straw for her excellent physical properties, low environmental footprint and affordability. Purchase price of the insulating material is an aspect that I mentioned frequently as compared to the cheapest conventional materials can achieve savings of 40-90%. From a structural point of view I was impressed by the variability of this construction system, because the Straw bale can access both – the filling element and the carrier. Currently our country practiced the majority of the first of these approaches, but I hope that it is only a matter of time until perform larger amounts of static tests and houses with walls of straw carrier will propose more designers.

Design of a house that is part of the work is characterized among other things by being prepared for the land on which very similar house is going to be built. On the land, which is partially terraced I chose a method based on the foundation strips with a base plate and a partial basement. Structural system superstructure frame is timber construction with pillars spaced 730 mm, insulated with straw bales and plastered on both sides. Roof is made by truss structures with greening the roof deck, which highlights the environmental aspect of the construction.

For the heated part of the building were drawn thermal engineering calculations that declare high thermal performance of straw walls. It is straw wall heat transfer coefficient $U = 0,146 \text{ W} / \text{m}^2 * \text{K}$ that sets the default parameter for determining the amount of thermal insulators for other enclosing constructions and also for comparison with conventional insulating materials.

The last chapter is devoted to the calculation of the total material cost of construction. Those are 1,107,440 CZK prices including VAT. In my opinion and according to the comparison of the statistics referred in this chapter the price is very real and corresponds to the overall vision of the builder, who want to get total cos tunder 2 mil. CZK with lot of self-help works.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURI

MÁRTON, Jan. *Stavby ze slaměných balíků: slaměné izolace v nízkoenergetických a pasivních domech, návrh staveb šetrných k životnímu prostředí, hliněné omítky, ozeleněné střechy*. 1. vyd. Liberec: J. Márton, 2010, 204 s. ISBN 978-80-254-6610-0.

JONES, Barbara. AMAZON NAILS. Information guide to straw bale building: For self-builders and the construction industry. Todmorden, 2001.

GRMELA, Daniel, Hana GRMELA a URBÁŠKOVÁ. *Ekologické obytné soubory: Katalog slaměných domů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, 2012, 46 s. ISBN 978-80-214-4418-8.

MINKE, Gernot a Friedemann MAHLKE. *Stavby ze slámy: jak pořídit z balíků slámy standardní dům*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2009, 143 s. ISBN 978-80-86167-31-2.

LABUDEK. Technické, cenové a ekologické porovnání alternativních stavebních materiálů. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT Brno, Fakulta stavební. Vedoucí práce DOC. ING. ALENA TICHÁ, PH.D.

KING, Bruce a Mark ASCHHEIM. *Design of straw bale buildings: the state of the art*. 1st ed. San Rafael, CA: Green Building Press, 2006, xxvii, 260 p. ISBN 09-764-9111-7.

ČERMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R., *Ozeleněné střechy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 246 s. ISBN 978-80-247-1802-6.

MINKE, G. *Zelené střechy: plánování, realizace, příklady z praxe*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2001. 92 s. ISBN 80-86167-17-8.

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

Sdružení ekodům [online]. 2013 [cit. 2015-04-17]. DOI: Aleš Brotánek. Dostupné z: <http://www.sdruzeni-ekodum.cz/clenove/ales-brotanek-abatelier>

NĚMCOVÁ, Lucie. *Dřevo a stavby*. In: *Podíl dřevostaveb na trhu neustále roste* [online]. 2013 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/cs/drevostavby-archiv/doporucujeme/2261-statistika-vystavby-rodinnych-domu-v-ceske-republice>

Natural Building Blog. In: *Building with Jumbo Straw Bales* [online]. 2012. vyd. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.naturalbuildingblog.com/building-with-jumbo-straw-bales/>

FAKULTA STAVEBNÍ, VUT Brno. *ODSTUPOVÉ VZDÁLENOSTI: Materiály k přednášce*. Brno. Dostupné z: www.fce.vutbr.cz/pst/bstud/bh11/9.doc [online]. 2013

ENVIMAT. *Katalog materiálů* [online]. 2010 - 2015. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://envimat.cz/materialy/>

ČEJNA, Lukáš. TZB info. In: *Příběh Slaměnky - jak ze Země vyrostla* [online]. 2012. vyd. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=nNCKKnS2RS4>

RŮŽIČKA, Jan, Petr HÁJEK a Jan TYWONIAK. *VYBRANÉ VLASTNOSTI PŘÍRODNÍCH A DALŠÍCH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ, STAVEBNÍCH PRVKŮ A BUDOV* [online]. CVUT, 2011 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyzkum&sub=30>

EKOPANELY. *Služby a produkty* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.ekopanely.cz/sluzby-a-produkty/ekopanely/>

MARTÓN, Jan. *Dvojitá izolační vrstva slaměných balíků na pasivním domě v Jablonci nad Nisou* [online]. 2010 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://naturesystems.cz/dvojita-izolacni-vrstva-slamenych-baliku-na-pasivnim-dome-v-jablonci-nad-nisou>

Origins of the FLL Green Roof Guideline [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.greenrooftechnology.com/fll-green-roof-guideline>

BROTÁNEK, Aleš. Použití slámových balíků pro pasivní dřevostavbu. In: *TZB info* [online]. 2012 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8615-pouziti-slamovych-baliku-pro-pasivni-drevostavbu>

CIUR, a. s. *Katalogy, prospekty a ceníky* [online]. 2015. vyd. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.ciur.cz/soubor/kategorie/katalogy-prospekty-a-ceniky>

STAVBA ONLINE. *Steico Flex* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.ciur.cz/soubor/kategorie/katalogy-prospekty-a-ceniky>

DEKTRADE. *Polystyren 70F* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1460403180-polystyren-70f-120mm-500x1000-dek-2m2-bal?lm=151>

POUŽITÁ LEGISLATIVA A NORMY

Zákon 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

Vyhláška č. 268/2009 Sb. Technické požadavky na stavby

ČSN 73 4301 Obytné budovy

ČSN 73 0532 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky

ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov

ČSN EN ISO 10211 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty

ČSN 73 0802 – požární odolnost budov – nevýrobní objekty

ČSN EN 1995 -1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí

ČSN 73 1901 Navrhování střech - Základní ustanovení

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1 – obecná zatížení

ČSN EN 1995 -1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí.

ČSN 73 4201 Komíny a kouřovody

ČSN 73 0600 Ochrana staveb proti vodě. Hydroizolace. Základní ustanovení

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 *Třípodlažní apartmán z nosné slámy postavený v Jižním Tyrolsku (Natural Building Blog, 2012)*

Obr. 2 *Třípodlažní apartmán z nosné slámy postavený v Jižním Tyrolsku (Natural Building Blog, 2012)*

Obr. 3 *Rozložení relativní vlhkosti ve slaměné stěně.*

Obr. 4 *Množství naakumulované vody v jednotlivých měsících kalendářního roku*

Obr. 5 *Stěna s nosnou slámou s ukázkou způsobu předpětí a nosným věncem*

Obr. 6 *CUT technika stavitele Toma Rijvena (Grmela, 2012)*

Obr. 7 *průřezová charakteristika nosného prvku a jeho umístění ve stěně (Martón, 2010)*

Obr. 8 *Kotvení balíků ke stěně vodorovným latěním s PP provázky - pasivní dům s dvojitou slaměnou izolací v Třebosicích (Nature systems, 2010).*

Obr. 9 *Dispozice navrženého rodinného domu.*

Obr. 10 *Pohled na stavební parcelu a terasy k ní přiléhající.*

Obr. 11 *Oddělení tepelné obálky budovy od nevytápěných částí objektu*

Obr. 12 *Rozložení teplot ve slaměné stěně*

Obr. 13 *Rozložení relativní vlhkosti ve slaměné stěně*

Obr. 14 *Rozložení teplot ve slaměné stěně s instalační předstěnou*

Obr. 15 *Rozložení teplot ve slaměné stěně s instalační předstěnou*

Obr. 16 *Rozložení teplot ve stropní konstrukci.*

Obr. 17 *Rozložení relativní vlhkosti ve stropní konstrukci.*

Obr. 18 *Rozložení teplot v konstrukci podlahy.*

Tab. 1 *Vybrané konvenční i alternativní stavební materiály a jejich vliv na ŽP (Envimat, 2015; Labudek, 2013; Martón, 2010; Chybík, 2009)*

Tab. 2 *Energetická náročnost stavebních konstrukcí vyjádřená primární energií PEI (Minke, 2009)*

Tab. 3 *Vliv orientace slaměných balíků na tepelný tok (Grmela, 2012)*

Tab. 4 *Porovnání tepelně akumulačních schopností různých izolačních materiálů (Isover, Steico, Climatizer, Grmela)*

Tab. 5 *Ceny izolačních materiálů vztahované k izolačním vlastnostem (dek.cz, climatizer.cz, steico.cz, Martón)*

Tab. 6 *Výhody a nevýhody konstrukčního systému z nosné slámy*

Tab. 7 *Výhody a nevýhody hybridního konstrukčního systému*

Tab. 8 *Výhody a nevýhody konstrukce s nosným dřevěným skeletem*

Tab. 9 *Zatížení příhradového vazníku tíhou střešní a stropní konstrukce*

Tab. 10 *Vrstvy obvodové slaměné stěny a jejich parametry.*

Tab. 11 *Vrstvy obvodové slaměné stěny s instalační předstěnou a jejich parametry.*

Tab. 12 *Vrstvy stropní konstrukce a jejich parametry.*

Tab. 13 *Vrstvy podlahy na terénu a jejich parametry.*

Tab. 14 *Vrstvy podlahy nad suterénem a jejich parametry.*

Tab. 15 *Porovnání vypočtených hodnot součinitele prostupu tepla s normovými hodnotami dle ČSN 730540*

Tab. 16 *Kalkulace materiálových nákladů v cenách včetně DPH*

SEZNAM PŘÍLOH

- 1. Příloha:** průvodní zpráva a souhrnně technická zpráva
- 2. Příloha:** výkresová dokumentace pro ohlášení stavby
- 3. Příloha:** realizační dokumentace dřevěné konstrukce