

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra aplikované geoinformatiky a územního
plánování**

**NÍZKOENERGETICKÉ STAVBY
S VYUŽITÍM ALTERNATIVNÍCH MATERIÁLŮ**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kykal, CSc.

Autor práce: Michaela Tóthová

V Praze 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované geoinformatiky a územního
plánování

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tóthová Michaela

Krajinářství

Název práce

Nízkoenergetické stavby s využitím alternativních materiálů.

Anglický název

Low - energy building using alternative materials

Cíle práce

srovnání dřevostavby a stavby ze samonosných slaměných balíků v oblasti

1. požární
2. konstrukční
3. technologické

Metodika

Bakalářská práce hodnotícího charakteru

- porovná dva typy konstrukcí nízkoenergetických staveb z hlediska:

- a) požárního
- b) technologického
- c) konstrukčního

- prvním typem je dřevěná konstrukce a druhá je ze samonosných slaměných balíků.

Harmonogram zpracování

zadání bakalářské práce: březen 2012

odevzdání bakalářské práce: duben 2013

Rozsah textové části

cca 40 normovaných stran textu bez příloh

Klíčová slova

stavby ze slámy, dřevostavby, konstrukční systémy, samonosné slaměnné konstrukce

Doporučené zdroje informací

- GERNOT M., FRIEDEMANN M., 2009: Stavby ze slámy, Hel, Ostrava, 143 s.
CHYBÍK J., 2009: Přírodní stavební materiály, Grada Publishing, Praha, 286 s.
KOLB J., 2008: Dřevostavby, Grada Publishing, Praha, 320 s.
KOLEKTIV AUTORŮ, 2008: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí DŘEVOSTAVBY 2008, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Volyně, 283 s.
KOLEKTIV AUTORŮ, 2009: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí DŘEVOSTAVBY 2009, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Volyně, 229 s.
KOLEKTIV AUTORŮ, 2010: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí DŘEVOSTAVBY 2010, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Volyně, 233 s.
KOLEKTIV AUTORŮ, 2011: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí DŘEVOSTAVBY 2011, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Volyně, 299 s.
KOLEKTIV AUTORŮ, 2012: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí DŘEVOSTAVBY 2012, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Volyně, 273 s.
MÁTRON J., 2010: Stavby ze slaměných balíků, Liberec, 204 s.
RŮŽIČKA M., 2006: Stavíme dům ze dřeva, Grada, Praha, 117 s.
ŠTEFKO J., REINPRECHT L., KUKLÍK P., 2006: Dřevěné stavby, Jaga group, Praha, 217s.

Vedoucí práce

Kykal Jiří, Ing., CSc.



Ing. Petra Šimová, Ph.D.
Vedoucí katedry



V Praze dne 29.1.2013



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.
Děkan fakulty

Prohlášení o autorství práce

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Nízkoenergetické stavby s využitím alternativních materiálů“ vypracovala samostatně a použila jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze, dne:

Podpis autora:

Poděkování

Děkuji panu Jiřímu Kykalovi, Ing., CSc. za odborné vedení při zpracování tohoto zajímavého tématu. Děkuji také své rodině za podporu a trpělivost, kterou se mnou měla, zejména pak svému otci a bratrovi za jejich rady a zkušenosti z praxe v oblasti stavebnictví - dřevostaveb.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku týkající se nedostatku neobnovitelných surovin, které se lidstvo snaží kompenzovat využíváním obnovitelných zdrojů jako je například dřevo, sláma a další přírodní materiály. Tato práce zahrnuje vlastnosti a konstrukční systémy těchto materiálů i s jejich aplikací na konkrétním projektu. Jedná se o rodinný domek stejných rozměrů a dispozic, v prvním případě nosná konstrukce bude ze samonosné slámy v druhém to bude trémová dřevostavba. Tyto dva typy konstrukce budou hodnoceny podle součinitele tepelného prostupu konstrukce, dále bude stavba porovnávána podle technických parametrů, technologických postupů a požární odolnosti. Z důvodu sjednocení parametru součinitele tepelného prostupu konstrukce bylo nutné stěnu samonosné slámy poddimenzovat a dřevostavbu naddimenzovat.

Klíčová slova

Sláma, dřevo, stavby ze slámy, dřevostavby, konstrukční systémy, samonosná slaměná konstrukce

Abstract

This bachelor's thesis focuses on the issue of the shortage of non-renewable resources, which mankind tries to compensate by using the renewable resources, such as wood, straw and other natural materials. This thesis contains the characteristics and construction systems of these materials with direct implication to the project. It focuses on a single family house, using the same dimension and disposition. In the first case, the supporting structure will be a self-supporting straw. In the second case, it will be a wooden beam. These two types of construction will be assessed by the coefficient of thermal transmittance of the construction. Furthermore, the construction will be compared according to technical parameters, technological processes and fire resistance. In order to unify the parameter of thermal transmittance of the construction, it was necessary, to undersize the wall of self-supporting straw and to oversize the wall containing the wooden beam.

Keywords:

Straw, wood, construction of straw, wooden, construction systems, self-supporting straw construction

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	8
3	Metodika	8
4	Sláma jako konstrukční materiál.....	9
4.1	Historie.....	9
4.2	Obavy a pochybnosti.....	12
4.3	Legislativa	14
4.4	Vlastnosti slámy	15
4.5	Konstrukční systémy	17
5	Dřevo jako konstrukční materiál	20
5.1	Historie.....	20
5.2	Obavy a pochybnosti.....	21
5.3	Vlastnosti dřeva	23
5.4	Konstrukční systémy	24
6	Porovnání dřevostavby a stavby ze samonosné slámy	31
6.1	Popis stavby.....	31
6.2	Založení	32
6.3	Svislé konstrukce	33
6.4	Střešní konstrukce	37
6.5	Požár konstrukce	39
7	Diskuze	40
8	Závěr.....	40
9	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	42
10	Seznam příloh	46

1 Úvod

Je potřeba se zamyslet nad problematikou zdrojů energie a jejím množstvím spotřebovávaným lidskou populací. Je všeobecně známo, že námi využívané zdroje jsou omezené, je proto nutné snížit energetickou náročnost a do budoucna najít nové zdroje energií. Trendem posledních let je zlepšit hospodaření s neobnovitelnými zdroji v oblasti stavebnictví, ať už zamezením úniků tepla konstrukcí nebo využívání přírodních a obnovitelných materiálů pro výstavbu.

Významnými zástupci přírodních materiálů jsou dřevo a sláma, z nich je možné realizovat nosné konstrukce. Dřevostavby jsou dnes už zcela běžnou záležitostí, s dostatečnou informační základnou pro realizaci těchto staveb. Stavební technologie se neustále vyvíjejí a zjednodušují, také konstrukční detaily jsou lépe řešeny. Budování ze slámy je u svého znovuzrození, po svém útlumu z důvodu vzniku nových masově vyráběných materiálů. Zde jsou teprve zkušenosti sbírány a technologie vylepšovány.

2 Cíl práce

Cílem práce je ucelit informace o hlavních zástupcích přírodních materiálů, dřevu a slámě, včetně jejich vlastností a konstrukčních systémů. Dalším úkolem je tyto znalosti pak aplikovat při návrhu typového domu a porovnat konstrukce.

3 Metodika

První částí je všeobecná rešerše o vlastnostech a konstrukcích ze dřevu a slámy. Ta je složena z informací z literárních zdrojů, které jsou převzaty a shrnuty do ucelené formy.

V druhé části si je proveden návrh dvou typů konstrukcí, dřevostavby a konstrukce ze samonosné slámy. Tyto stavby jsou porovnány z hlediska technologického, technického a požárního. Je stanoven společný parametr součinitel prostupu tepla konstrukce U , kterému jsou přizpůsobeny nosné stěny. Tento parametr byl stanoven na hodnotu $0,117 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vnější rozměry objektu a jeho vnitřní uspořádání byly stanoveny totožně v obou případech. Součástí je výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce, který je proveden pomocí programu TEPLO a výkresová část, ke které je využit software ArchiCad 2010.

4 Sláma jako konstrukční materiál

Sláma v sobě skrývá velký potenciál v podobě stavebního materiálu, který využívali už naši předci. V dnešní době se opět ke slámě vracíme a objevujeme její širokou mírou využití. Výhodou tohoto materiálu je, že vzniká jako vedlejší produkt při pěstování obilí. Z ekologického hlediska je sláma významná i proto že se při její výrobě spotřebovává velmi malé množství fosilní energie a také se jedná o místně dostupnou surovinu, což podporuje lokální trh a snižuje také náklady na dopravu. Další předností je snadná ekologická likvidace při dožití slaměné stavby. Sláma je ze 70% využívána v zemědělství jako stelivo, krmivo nebo se zaorává zpět na polích. Zbývajících 30% se tedy stává nadprodukcí a naskýtá se možnost využít ji pro stavební účely. Tam se nabízí ve formě slaměných došků, slaměných balíků, sloužících jako nosná konstrukce či pouze s výplňovou funkcí, lisovaných ekopanelů, lisovaných slaměných tepelně izolačních desek nebo i lisovaných desek určených k výrobě nábytku (Trnka, 2002).

4.1 Historie

Rozvoj stavění slaměných budov započal v druhé polovině 19. století; v roce 1872 je první zmínka o balíkovacím lisu poháněném koňskými silami, později byl poháněn parou (Minke, Mahlke, 2009).

Vývoj slaměných staveb 1880- 1970

Jako první zdokumentovaná stavba z nosných balíků slámy vznikla v roce 1886, šlo o budovu školy v blízkosti Bayardu v Nebrasce. Stavba se skládá z jedné místnosti, kde nosnou konstrukci tvořily slaměné balíky, na nichž ležela střecha. Stavby tohoto typu se objevovaly převážně v oblasti Nebrasky, proto se tomuto typu konstrukce začalo v literatuře říkat „Nebraský typ“ (Minke, Mahlke, 2009; Mátron, 2010).

Další historicky významné budovy vznikaly mezi lety 1900 – 1914:

„Burke House“ (obr. č. 1) je přízemní stavba postavena v roce 1903 poblíž Alliance v Nebrasce. Prvních deset let neměl omítnuté vnější stěny a od roku 1956 je opuštěný, přesto je dnes v relativně zchovalém stavu (Mátron, 2010).



Obr. č. 1 Burke House – zchovalá slaměná konstrukce
(www.thelaststraw.org)

„Pilgrim Holiness Church“ (obr. č. 2) byla postavena z balíků žitné slámy během let 1927-1928. V pozdějších letech zdobila kostel skromná zvonička a štukové malované omítky (www.nebraskahistory.org).



Obr. č. 2 Pilgrim Holiness Church – první slaměný kostel
(www.commonswikimedia.org)

„Maison Feuillette“ (obr. č. 3) postavil v roce 1921 francouzský inženýr Feuillette, který řešil konstrukční problémy v poválečné době. Dům se nachází v Montargins asi 90 kilometrů od Paříže, jedná se o dvoupodlažní stavbu se zastavěnou plochou 100m² (<https://sites.google.com>; Minke, Mahlke, 2009).



Obr. č. 3 Maison Feuillette – jeden ze slaměných domů v Evropě
(www.larep.fr)

„Burritt Mansion“ (obr. č. 4) je první dům, kdy nosnou konstrukci dvoupodlažní stavby tvoří dřevěné sloupky a sláma tu plní pouze funkci výplňovou. Byl postaven v roce 1938 v Huntsville v Alabamě na rozloze 167 akrů. Spotřebovalo se na něj 2200 balíků slámy. Dnes plní funkci muzea, které se zabývá ekologií a životem zemědělců (www.burrittonthemountain.com; Minke, Mahlke, 2009).



Obr. č. 4 Burritt Mansion – první dům s nosnou dřevěnou konstrukcí
(www.commons.wikimedia.org)

Okolo 50. let minulého století se vývoj stavitelství ubírá k jednodušším, cenově levnějším a masově produkovaným stavebním materiálům. Doba se zrychlovala, a proto pracné získávání místních materiálů přestalo být výhodné (Mátron, 2010).

Vývoj slaměných staveb po roce 1970

K renesanci slaměného stavění dochází až v 70. letech a pokračuje do dnes. Slaměné stavby se začaly rozvíjet dvojího typu, buď jako samonosná konstrukce „Nebraského typu“, nebo jako výplň do dřevěných konstrukcí. Začal velký rozvoj podpůrné literatury a směrnic, tyto skutečnosti iniciovaly vznik nové generace stavitelů. V osmdesátých letech minulého století se začaly rozvíjet workshopy, při kterých byly postaveny experimentální stavby. Na počátku 90. let došlo k výraznému boomu, kde většina staveb vznikla svépomocí. Zvyšovaly se nároky na výzkum fyzikálních a chemických vlastností tohoto materiálu. Byly zakládány organizace typu National Straw Bale Research Advisory Network a Fachverband Strohballenbau Deutschland. Okolo roku 2001 stálo v Evropě cca 400 slaměných domů (Minke, Mahlke, 2009; Mátron, 2010).

Vývoj slaměných staveb u nás

V našich zemích se sláma nejvíce používala jako střešní krytina (došky) nebo jako izolace v podkroví kde tuto funkci plnilo uskladněné seno a sláma. Sláma se využívala i do vyplétaných stěn, kdy se dřevěné tyče v horizontálním směru postupně vyplétaly slaměnými povříslly. Dnes se u nás sláma využívá pouze jako výplňový materiál do dřevěných konstrukcí a to i z důvodu nevyřešené legislativy. Je jen otázkou času kdy i v našem okolí budou stavby ze samonosné slámy (Mátron, 2010).

4.2 Obavy a pochybnosti

Lidé mají stále pochybnosti o stavbách z přírodních materiálů. „Je to dost pevné?“, „... „neshoří tato stavba snadněji než zděný dům?“, „nebudou ve stěně bydlet myši, vosy a co teprve houby a plísňe?“ Strach a pochyby vyplývají pouze z neznalosti, stačí se o dané téma více zajímat a obavy se rozplynou (Minke, Mahlke, 2009).

Nebezpečí požáru

Je všeobecně známo, že ohnivzdornost volné slámy není nijak vysoká. Při stlačení slaměných balíků cca 90-120 kg/m³ a použití hliněných a vápenných omítek je možné dosáhnout i na požární odolnost okolo 120 minut, jak dokazuje požární zkouška nosné slaměné stěny provedená odborníky ze stavební fakulty ČVUT (Minke, Mahlke, 2009; Akad. arch. Aleš Brotánek, Sborník přednášek, 2012).

Biotičtí škůdci

Mezi další zavádějící informace a kritiky vůči slaměným stavbám je zabydlování živočichů v konstrukci. Tato představa je založena na existenci nekvalitních balíků s obsahem stébel se zrnem, která lákají hlodavce. Jinak je pro ně čistá sláma nestravitelná. Také díky značnému vnitřnímu pnutí v balíku je uvnitř velmi nesnadný pohyb a tudíž i hnízdění. Tato možnost existuje jen v případě, že mezi balíky jsou neutěsněné spáry a stavba není omítnuta. Hlodavci dávají raději přednost polystyrenu a minerální vatě, protože v těchto materiálech vybudované cestičky drží tvar (na rozdíl od slámy) (Grmela, 2008a; Minke, Mahlke, 2009; Mátron, 2010). Zahnízdění hlodavců je možné v případě, že místo omítky je použita na ochranu proti povětrnostním podmínkám provětrávaná dřevěná fasáda. Ani tato možnost však nebyla prokázána. Např. v Německu existuje nařízení, podle kterého provětrávané fasády musí mít meziprostor uzavřen pletivem proti hmyzu (Minkeho a Mahlkeho, 2009).

Další škůdci z živočišné říše jsou z třídy hmyzu, jejich výskyt v konstrukci je spjat s vlhkostí (Mátron, 2010). Chybík (2009) ve své knize uvádí, že termity a všekazi jsou jediné druhy, které jsou schopny slámu strávit. V našich zeměpisných šířkách se však nevyskytují. Takže ani tato pochybnost není zcela oprávněná a případným rizikům, můžeme jí zabránit včasným omítnutím konstrukce.

Z rostlinné říše bojujeme s plísněmi a houbami, tyto druhy jsou však závislé na nesprávném konstrukčním provedení. Vlhkost balíků by neměla přesáhnout 20% a z dlouhodobého hlediska není dobré vystavení balíků relativní vlhkosti větší než 70%. Z tohoto důvodu je důležité před vlhkostí balíky chránit, hlavně kvalitním uskladněním při zahájení stavby. Je nutné, aby se voda rychle odpařila při omítání stěn, dále je třeba dbát na ochranu proti vlhkosti po celou životnost stavby. K těmto účelům se používají různé parozábrany, parobrzdy a membrány, jako ochrana konstrukce před vnitřní vlhkostí vyplývající z užívání domu (Grmela 2008a; Minke, Mahlke, 2009).

Prach a alergie

Při sklizni obilí a balení slámy vniká prašné prostředí a v omezeném množství se práší i při samotné stavbě. Mohou se tedy u lidí projevit dýchací obtíže, ale na samotné vnitřní prostředí to nemá vliv. Pokud si stavebník doveze na stavbu kvalitní a čisté balíky slámy, v technologické lhůtě je správně omítne, nemusí mít z těchto nežádoucích projevů obavy (Minke, Mahlke, 2009).

4.3 Legislativa

V naší zemi se stavebníci slaměných staveb potýkají s legislativními komplikacemi, převážně než získají stavební povolení, to je důvod většího rozmachu staveb v západních zemích. Tento stav je způsoben dvěma právními systémy angloamerickým a kontinentálním. Angloamerický precedenční systém je založen na právu zvykovém, to znamená, že i soudy svým rozhodnutím tvoří právo. Ve stavebnictví to pak znamená, že pokud se jednou schválí stavba s určitým typem konstrukce a s určitými vlastnostmi materiálů, je vydán precedent a podle něho se povolují další stavby. Pro změnění precedentu jsou potřeba doložit významné důvody (Mátron, 2010).

Česká republika používá právo kontinentální, které pochází z koncepce francouzského občanského zákoníku. Za základ tohoto práva jsou považovány pouze psané právní předpisy. Soudy právo jen nalézají v těchto předpisech a k předchozím rozhodnutím lze pouze přihlídnout. Aby mohly být změny považovány za platné, je nutné zanést je přímo do zákona. Tato zkušenost dlouhodobě způsobuje problémy. Přírodní materiály nejsou zahrnuty v zákonech ani v normách, všeobecně jsou obtížně normovatelné, jelikož mají vždy originální vlastnosti. K normování materiálů dochází až po dlouhodobém tlaku na jeho užívání. Samotné certifikované a normované materiály nemohou zajistit smysluplnost projektu. V praxi se tak stavebníci a projektanti pouští na tenký led, kdy se při použití nenormovaných materiálů a konstrukcí veškerá odpovědnost přenáší na ně (Mátron, 2010).

Například zákon 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) v §156 uvádí požadavky na stavby:

„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 ochranu tepla.“

Další předpisy, zabývající se touto problematikou, jsou zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a nařízení vlády a vyhláška č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. V normě ČSN 730540 Tepelná ochrana budov se bohužel o slámě nic nedočteme.

V západních zemích EU jsou o krok dál, mají vydané předpisy, ale pouze na národní úrovni a tak dané zkoušky nelze přebírat mezi jednotlivými státy. Budoucnost stavění z přírodních materiálů vypadá slibně, v současnosti probíhá proces klasifikace slaměných balíků pomocí ETA (European Technical Approval) a vzniká eurokód pro použití slaměného balíku jako nosného prvku (Mátron, 2010).

4.4 Vlastnosti slámy

Tepelně izolační vlastnosti, akumulace a tepelná vodivost

Akumulace je velmi důležitá pro vnitřní klima kdy materiály s touto vlastností nabízí příjemné a tepelně vyrovnané prostředí. Sláma má velmi malé akumulární schopnosti a je potřeba zajistit tuto vlastnost jiným způsobem. Vhodné jsou hliněné omítky nebo příčky z nepálených cihel, které kromě toho působí i na vyrovnávání vzdušné vlhkosti. Schopnost akumulace je vyjádřena součinitelem tepelné akumulace S , kdy S je úměrné součinu specifického tepla c a objemové hustotě ρ .

$$S = c \cdot \rho \text{ [kJ/m}^3\text{K]; [Wh/m}^3\text{K]}$$

Výše uvedený vzorec určuje jaké množství tepla je zapotřebí na ohřátí 1m^3 materiálu o 1°C .

Pohyb tepla v konstrukci se nazývá tepelná vodivost a je dána součinitelem tepelné vodivosti λ [W/mK]. Udává, kolik tepla prostoupí konstrukcí o tloušťce 1m při teplotním rozdílu 1°C (Minke, Mahlke, 2009). Z toho tedy vyplývá, že čím nižší je hodnota λ , tím lepší jsou tepelně - izolační vlastnosti materiálu. Tepelnou vodivost ovlivňuje vlhkost, hustota materiálu a u slámy i pozice vůči tepelnému mostu, kterou ovlivňuje orientace stébel. Malý balík pšeničné slámy o měrné hmotnosti 90kg/m³ má hodnotu $\lambda=0,045$ W/mK, s těmito údaji souhlasí i Institut FIW z Mnichova. Balík o takovéto hmotnosti je schopen konkurovat i kvalitním tepelně izolačním materiálům používaným v současnosti (Chybík, 2009; Mátron, 2010).

Vlhkost

Sláma je složena z celulózy, ligninu a oxidu křemičitého a i přesto, že její stébla jsou chráněna voskovitou vrstvou, je důležité tuto surovinu před vlhkostí chránit. Slaměné balíky se řadí mezi hydroskopické materiály, jen reagují pomaleji než např. hlína (Chybík, 2009; Mátron, 2010).

Slámu je nutné chránit proti nepříznivým vlhkostním podmínkám správnými technologickými i technickými řešeními. Přesahem střešní konstrukce, omítnutím vápennými či hliněnými omítkami, které absorbují přebytečnou vlhkost z interiéru a regulují její další postup do konstrukce. Při nezamezení vstupu vlhkosti do konstrukce, ať deštěm, či jinými povětrnostními vlivy nebo odstříkující vodou dochází k degradaci a hnití tohoto materiálu (Chybík, 2009; Mátron, 2010).

Akustika

Sláma vyniká velmi dobrými zvukově-izolačními vlastnostmi hlavně u hluku o nízké frekvenci. Tyto vlastnosti závisí na hmotnosti homogenního materiálu, čím je stěna těžší zlepšují se tak i její akustické vlastnosti. Oboustranně omítnuté stěny vykazují daleko lepší zvukovou neprůzvučnost, než stěna z jednoho materiálu o stejné hmotnosti (Chybík, 2009; Mátron, 2010). Mátron (2010) ve své knize uvádí test zvukového útlumu ve slaměných stěnách v Sydney, který provedl John Glassford v roce 1999. Při testu bylo prokázáno, že při použité frekvenci 200 -18000 Hz dochází k pohlcení zvuku ze 114-117 dB uvnitř na 68-71 dB na vnější straně, z toho vyplývá, že útlum je 43-49 dB. Norma ČSN 730532 určuje útlum zvuku mezi byty 52 dB. Při venkovním hluku 80 dB a útlum musí být roven alespoň 48 dB.

Únosnost

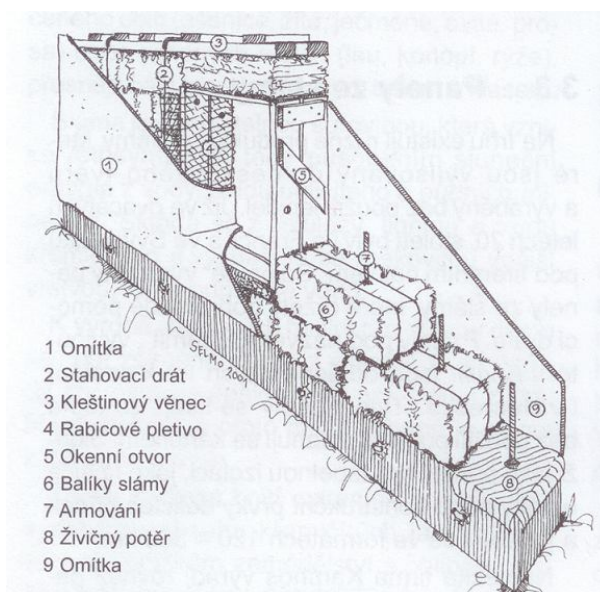
Na kvalitě balíku je závislá únosnost, stabilita a přetvárná charakteristika. Velmi důležitým prvkem je sedání nosné konstrukce, které se podle kvality stlačení balíku pohybuje mezi 1% až 10%. Sedání konstrukce je způsobeno zatížením nosných stěn střechou a tak dochází ke stlačování balíků. Tento proces trvá cca 4-8 týdnů a teprve poté se doporučuje stěny omítnout. Samozřejmě při použití dřevěného nosného skeletu je možné omítat okamžitě (Chybík, 2009). Velkou úlohu při přenesení zatížení hrají i omítky. Při zatěžovacích testech se zjistilo, že omítnuté balíky nenesou téměř žádnou zátěž, tu přebírá omítka z důvodu nestlačitelnosti vzhledem ke slámě. Je to způsobeno technologií, která vychází z hlubšího prostupu omítky do konstrukce. Omítku do balíku vpravujeme tlakem lidských pěstí nebo použitím sprejovací techniky. Takto vzniká jakási přechodová a staticky významná vrstva, tvořící vyztuženou pevnou oblast. U konstrukce je možné ještě stabilitu zvýšit zakřivením nosných stěn a dostatečným zajištěním proti vyboulení (Wihan, 2007; Minke, Mahlke, 2009).

4.5 Konstrukční systémy

Nosná sláma

Hlavní nosný prvek tvoří slaměné balíky, které se na sebe vrství jako cihly (obr. č. 5). Tento styl použití se nazývá „Nebraska“ a spočívá v tom, že balíky přenášejí zatížení ze střechy do základů bez dalších přídatných konstrukcí. Velkými výhodami této konstrukce je její jednoduchost a tím i krátká doba výstavby, nízké stavební náklady, tvarová přizpůsobivost a rovnoměrné zatížení základů. Na tento typ konstrukce se používají silně lisované balíky, jejichž hustota musí být větší než 90kg/m^3 . Důležité je také zajistit dostatečné ztužení proti vybočení, což lze zajistit plošným věncem propojeným se základy ocelovými tyčemi nebo lany, dále pak rámy okenních a dveřních otvorů. Zatížení konstrukce musí mít hlavně plošný charakter. Mezi nevýhodu této konstrukce lze zařadit tloušťku stěn, kdy s malými balíky můžeme realizovat pouze jednopodlažní objekty a při více podlažních budovách se tloušťka nosné konstrukce pohybuje okolo jednoho metru. I přes toto omezení ve Velké Británii nalezneme dvoupodlažní rodinné domy a v Itálii také i třípodlažní. Dalšími nevýhodami omezená plocha otvorů na 50% plochy stěny a také stlačitelností konstrukce vznikají jisté komplikace. S těmito vlastnostmi je potřeba počítat nejenom při osazování okenních ztužujících ráků, kde mezera mezi rámem a dalším balíkem slámy je min. 7cm.

Otvory by proto měly být orientovány na výšku, minimalizuje se tak přenos většího zatížení do jeho okraje. Sedání konstrukce probíhá 4-8 týdnů po zatížení střechy (Grmela, 2008c; Minke, Mahlke, 2009; Mátron, 2010).

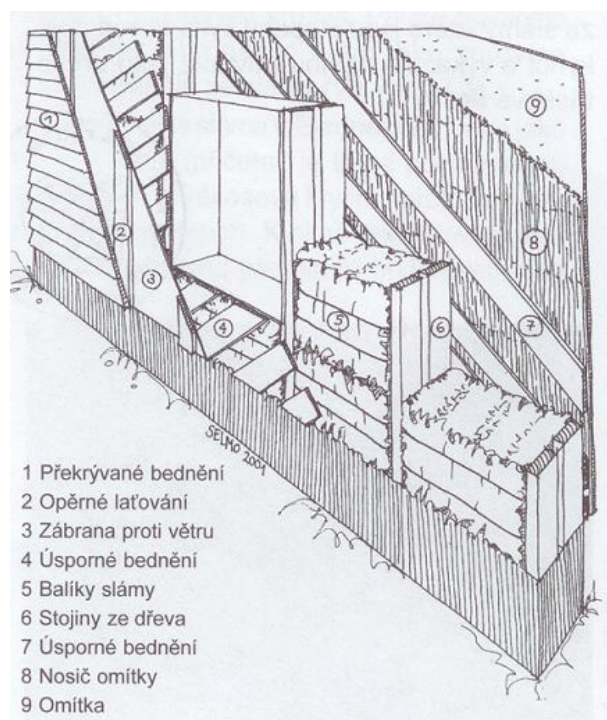


Obr. č. 5 Nosné slaměné zdivo – ukázka řešení svislé konstrukce
(Minke, Mahlke, 2009)

Nenosná sláma

Zde sláma plní funkci pouze výplňovou a nosným prvkem se stává konstrukce dřevěná (obr. č. 6). Balíky pro toto použití mohou mít menší objemovou hmotnost než balíky určené pro nosné stěny. Výhodami tohoto systému je, že stavba není omezena maximální výškou, střecha je postavena dřív než stěny (zajistí práci v suchém prostředí), větší stabilita rámu oken, dveří a možnost menší tloušťky stěny. Mezi nevýhody tohoto řešení patří cena a větší ekologická náročnost. Pro tento systém existuje několik typů dřevěných konstrukcí, např. fošinkový systém (two by four), skandinávský systém, konstrukce z I profilů a kanadský typ (balíky v maltové matrici). Fošinkový neboli sloupkový typ se skládá z drobného řeziva v osové vzdálenosti cca 75 cm, a jako plošné zavětrování je možno použít OSB desky, Zatímco skandinávský typ využívá větší osové vzdálenosti s většími průměry řeziva, zhruba kolem 2,5-3,5m. Typ s I-profilů je využívám pro svou rychlost při výstavbě. Je také možno využít i rastru s osovou vzdáleností cca 75 cca, tím ale vzniká omezení pro otvory v konstrukci. Existuje také 5 možností, jak lze slaměné balíky spojit s dřevěnými nosnými prvky. Ty závisí na tom zda je sloupek mezi balíky, balíky jsou před či za konstrukcí nebo jsou mezi I – nosníky.

Kanadským systémem jsou balíky slámy mezi maltou umístěné bez přesahů, maltové spoje o minimální tloušťce 5 cm tvoří nosný prvek stěny (Grmela, 2008c; Mátron,2010).



Obr. č. 6 Nenosné slaměné zdivo – ukázka řešení svislé konstrukce (Minke, Mahlke, 2009)

Hybridní systém

Tento systém je kombinací obou předchozích hlavně jejich výhod, jedná se o poddimenzovanou dřevěnou konstrukci, která přenáší svislé zatížení ze střechy. Plnohodnotnou nosnou funkci získává po vyplnění balíky a zavětrování celé stavby. Musí být brána v úvahu i správná výška sloupků, aby později nebránily při stlačení balíků. Sloupky se umísťují v rozích a u okenních otvorů přičemž podporují jejich zajištění (Mátron,2010).

5 Dřevo jako konstrukční materiál

Dřevo patří mezi první stavební materiály, které lidstvo využívalo ke stavbě obydlí, k výrobě nástrojů, i jako zdroj energie. Je to obnovitelná surovina s minimálními energetickými nároky na výrobu, zpracování a s téměř bezodpadovou technologií zpracování. Lesy je možné obnovovat, protože hlavními vstupy do tvorby organického materiálu je sluneční záření, vzduch, voda a živiny z půdy. Použité dřevo lze opět recyklovat, případně spálit a vyprodukované teplo využít. Využití této suroviny je ve stavitelství velmi různorodé přes vnitřní, vnější obklady, lamináty, konstrukční dřevěné prvky, deskoviny z odpadů, celulózu a mnoho dalších využití (www.drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz; www.babsijones.typepad.com; www.forestlearning.edu.au).

5.1 Historie

Dřevo se nachází ve všech historických obdobích lidské civilizace ať už jako obranné valy z prvního osidlování naší země, srubová obydlí a dřevěné pevnosti za Velké Moravy, nebo gotické krovky a barokní věže. Architektura dřevostaveb byla ovlivňována i zeměpisnými šířkami, kdy na severu převládaly srubové stavby, zatímco na východě chrámy se zdobnými střechami (Štefko et al, 2006).

Začátky vývoje dřevostaveb

Vznikaly první jednoduché stavby typu mongolských jurt, tee-pee, domy z doby kamenné jsou kombinací dřeva a hlíny. Na jihovýchodě Evropy se stavěly tzv. telly, které se budovaly na troskách nebo na stejném místě předchozích domů. Vykopávky dokládaly výskyt dvoupodlažních staveb, či zakládání na desce v zamokřených územích z doby bronzové. Počátkem 7. století rozšířily těžké skeletové a hrázděné stavby (www.drevoastavby.cz; Štefko et al, 2006).

Rozmach dřevostaveb po 19. století

V této době nastal velký boom v oblasti dřevěných tesařských konstrukcí halových staveb, dále také příhradových a spřažených dřevo – ocelových konstrukcí. Vznikaly nové technologie a nové kombinace využití dřeva, např. lepené lamelové dřevo. Začaly se rozvíjet velkorozponové a příhradové konstrukce, spřažené dřevobetonové stropy a mosty. V dnešní době se uplatňují původní technologie a materiály obohacené o moderní vzhled a respekt k požadavkům na tvorbu prostředí (Štefko et al, 2006).

Dřevostavby u nás

V Čechách mají dřevostavby dlouholetou tradici zejména v oblasti lidového stavitelství. Můžeme se pochlubit nemalým množstvím zachovalých srubových staveb (obr. č. 7) v Pošumaví, na Českomoravské vrchovině a Valašsku (Štefko et al, 2006).



Obr. č. 7 Srubový obytný dům – historická stavba lidového stavitelství
(www.drevoastavby.cz)

Nejčastěji se u nás stavěly dřevěné srubové obytné domy, které se od sebe lišily lokalitou. Například jihočeský dům (kabřinec) měl diagonální obklad štítu střechy, zatímco domy v jihozápadních Čechách měly předsazený bedněný štít s valbovou nebo polovalbovou střechou. Vznikaly u nás i dřevěné sakrální stavby, jako kostelíky, zvonice, modlitebny (Štefko et al, 2006).

5.2 Obavy a pochybnosti

Na dřevostavby lidé pohlížejí s daleko větší důvěrou než na stavby ze slámy a dnes mají své zástupce jak v oblasti rodinných a bytových domů, tak i v administrativních budovách, školkách, vyhlídkách a dalších.

Nebezpečí požáru

Dřevo je hořlavé díky složení z organických sloučenin uhlíku, proto u něj existují větší či menší rizika vzniku požáru. Z tohoto důvodu je třeba dodržovat protipožární předpisy, jak při návrhu projektu, tak při samotné realizaci. Ke vzniku požáru jsou potřeba splnit tři podmínky: 1. hořlavý materiál, 2. kyslík, 3. tepelný nebo jiný aktivační zdroj. Dřevěné konstrukce můžeme chránit retardéry hoření, což jsou ohnivzdorné látky, které dokáží omezit přístup kyslíku ke dřevu, ředí hořlavé plyny, izolují dřevo od tepelného zdroje, dále také usměrňují rozklad dřeva na uhlí, nikoliv na plyny. Tyto látky dokáží upravit hořlavost materiálu z třídy C3,C2 na C1 až B. Aplikují převážně nátěry, obklady nehořlavými materiály nebo formou fólie (Štefko et al, 2006; Kolb, 2008).

Biotičtí škůdci

Protože je dřevo organický materiál trpící různými typy degradace, ať už mechanickým či biologickým poškozením. Mezi výrazné škůdce řadíme houby a hmyz (www.stavarina.cz).

Houby dělíme na celulózovorní (zpracovávají pouze celulózu, projevují se hnědou až černou hnilobou) a lignovorní (napadají lignin a poznáme je podle světlé až bílé hniloby). Při vlhkosti dřeva vyšší než 20% se na povrchu dřeva začnou objevovat dřevozbarvující houby (plísňe). Mezi hlavní zástupce patří dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*), trámovka polní (*Gloeophyllum abietinum*), houževnatec šupinatý (*Lentinus lepideus*) a outkovka pestrá (*Trametes versicolor*) (www.stavarina.cz; Kolb, 2008).

Dřevokazný hmyz napadá hlavně suché dřevo, kde pod kůrou vytváří systémy chodbiček a narušují tím strukturu materiálu. Ve dřevě najdeme tesařika krovového (*Hylotrupes bajulus*), červotoče tečkovaného (*Anobium punctatum*), hrbohlava parketového (*Lyctus linearis*) (www.stavarina.cz; Štefko et al, 2006).

Proti těmto škůdcům máme možnost dřevo chránit za použití insekticidů a fungicidů, které mají biocidně účinné látky (Štefko et al, 2006).

5.3 Vlastnosti dřeva

Pevnost

Pevnost je významnou vlastností dřeva, je však závislá na kvalitě, kterou sledujeme na struktuře, skladbě vláken, sukovitosti, druhu dřeva a jeho hustotě. Významným faktorem je směr působení síly vůči pozici vláken, protože v podélném směru je mnohonásobně vyšší tlaková a tahová pevnost. Pokud působí síla kolmo na vlákna, rozlišujeme tangenciální a radiální působení, vzhledem k rozložení letokruhů. Největší pevnost má profil o poměru stran 5:7 s letokruhy téměř kolmými k úzké straně. Dřevo je tak srovnatelné s hliníkovými slitinami a může pevností převýšit i ocel (Hájek, 1997; Štefko et al, 2006; Kolb 2008).

Vodivost tepla

Dřevo je špatným tepelným vodičem pro svou pórovitost. Dřevo s větší hustotou má samozřejmě menší izolační schopnost, než dřeva s menší hustotou. Součinitel tepelné vodivosti je závislý na druhu dřeva, objemové hmotnosti (pórovitosti), na vlhkosti a na směru působení tepla vůči vláknům. Pokud je směr tepla rovnoběžný s vlákny, je součinitel o polovinu vyšší než při kolmém působení (Hájek, 1997).

Životnost

Tuto vlastnost ovlivňuje nejen prostředí, ve kterém je dřevo uloženo ale i to jak a kde strom vyrostl. Odolnost vůči povětrnostním vlivům určuje množství rezistenčních látek. Dřevo jehličnatých stromů má trvanlivost okolo 100 až 2000 let v suchém prostředí, ve vodě je však omezeno a pohybuje se kolem 60 – 100 let. Ve vodním prostředí vyniká dub, který může mít trvanlivost až 1200 let (Hájek, 1997; Kolb 2008).

Tvrдост

Tvrдост určuje hustota dřevních vláken a anatomická stavba dřeva - čím jsou vlákna hustěji a kompaktněji uspořádána, tím je dřevo tvrdší. U nás vysokou tvrdostí vyniká dub, akát, habr (Hájek, 1997).

Ohebnost

Tato vlastnost je velmi využívaná v nábytkářství, kde se dřevo v horké vodě nebo v páře upraví do požadovaného tvaru a po vyschnutí si dřevo tvar ponechá. K tomuto účelu se nejčastěji využívá buk a mladý jasan (Hájek, 1997).

Sesychání a bobtnání

Tyto vlastnosti řadíme mezi objemové změny, kdy při sesychání materiál ztrácí vodu a zmenšuje tak svůj objem, při bobtnání je tomu naopak. Dřevo obsahuje 30% vázané vody v buněčných stěnách, zbytek je voda volná. Ve dřevě pro stavební účely jsou významné objemové změny v kolmém směru k vláknům. Pro toto využití je potřeba dosáhnout vlhkosti mezi 8 až 12 procenty (Hájek, 1997; Štefko et al, 2006; Kolb 2008).

5.4 Konstrukční systémy

Dřevostavby se rozdělují podle konstrukce na stavby srubové, hrázděné, rámové, skeletové, na stavby z masivního dřeva a na Platform-Frame či Balloon-Frame systémy, což jsou nosné konstrukce s průběžnými sloupy (Kolb, 2008).

Srubové konstrukce

Srubové stavby (obr. č. 8) mají dlouhodobou tradici s širokým rozšířením, jak funkčním, tak i polohopisným. V Rusku a Skandinávii tyto stavby tvoří obraz tradičního prostředí, nejsou zde pouze obytné stavby, ale srubová konstrukce byla uplatněna i při stavbě paláců, věží a kostelů. (Kolb, 2008) Nosný prvek tvoří vodorovně na sebe ukládané trámy, které jsou spojovány a) v ložní spáře, b) rohovým spojem. Trámy mají profil buď nehraněný, polohraněný, hraněný. (Štefko et al, 2006) Kolb (2008) uvádí charakteristické znaky srubových konstrukcí, mezi které patří vysoká řemeslná dovednost, speciální výběr dřeva, umělecké rohové spoje, pevné uspořádání půdorysu, velká spotřeba dřeva a sedání konstrukce. Tloušťka stěny se pohybuje od 150 do 300 mm, v závislosti na úpravě řeziva, maximální tloušťka u nehraněné konstrukce je 400 mm. Z důvodu objemových změn v dřevěných prvcích docházelo k trhlinám ve dřevě a vytváření mezer mezi jednotlivými trámy, kdy bylo potřeba tyto mezery dostatečně utěsnit. K tomu se v historii používal mech, sláma nebo dřevní vlna a poté se vymazaly mastnou hlínou s vápnem.

Dnes, z důvodu přesného opracování, není nutné mezery utěsňovat. Také můžeme izolační vrstvu vkládat do konstrukce, jako mezivrstvu ve zdvojené sprážené stěně nebo jako vrstvu před obkladem. Srubové stěny není vhodné omítat a připravit se tak o krásný pohled, omítky na dřevě také nedrží (Hájek, 1997; Štefko et al, 2006).



Obr. č. 8 Srubová konstrukce – realizace stavby z nehraněných prvků
(www.drevoastavby.cz)

Hrázděné konstrukce

Stavby tohoto typu se začaly objevovat kolem 12. století v oblasti středního Porýní. Vznikly z důvodu úspory dřeva a nahradily tak celodřevěné roubené domy. Můžeme se s nimi setkat ve východní a střední Evropě, ale také v Anglii, severním Německu, Nizozemí a Dánsku. Na přelomu 18. a 19. století byl, zaznamenám největší rozvoj hrázděných staveb. Nosnou funkci plní dřevěná kostra, která je vyplněna hliněnou mazaninou plněnou slámou později cihlovým zdivem (obr. č. 9). Díky kostře skládající se ze sloupků, prahů, vzpěr vaznic a překladů, bylo možné využívat i krátké části z listnatého dřeva. Dřevěná kostra tvořila i pohledový prvek. Teprve v druhé polovině 19. století byly domy omítány, aby působily dojmem celozděných domů. Hlavní specifika hrázděných staveb jsou patrová výstavba, možnost oboustranně obložené konstrukce, nebo může hrázděná konstrukce zůstat viditelná, čisté tesařské spoje, jednoduchá montáž, převážně větší a čtvercové průřezy prvků. U více podlažních domů se setkáváme s problematikou sedání stavby, potřebou chránit dřevo při montáži před povětrnostními vlivy a také nákladnou a pracnou pozdější údržbou.

Dnes už se tento konstrukční systém u běžné výstavby nepoužívá (www.cs.wikipedia.org; Štefko et al, 2006; Kolb 2008).



Obr. č. 9 Hrázděná konstrukce – stavba s viditelnou konstrukcí z trámů
(www.luhacovice.com)

Rámové konstrukce

Nosný prvek rámové konstrukce tvoří rám skládající se z tyčové nosné kostry a ze stabilizačního pláště (obr. č. 10). Svislá zatížení ze střechy a mezipatrových stropů jsou přenášena tyčovou konstrukcí. Plášť zde zaujímá funkci ztužující a přenáší vodorovné zatížení vzniklé účinkem větru a výztužných sil. Tento systém je dnes využíván pro svou prefabrikaci, kdy se navrhují různé skladby stěn, stropů a střech. Tyto prvky se pak vyrábějí jako dílce, které se montují během stavby. Při výrobě je potřeba brát na zřetel omezení v dopravě podle silničních předpisů, které určují největší rozměry konstrukčních prvků. Montáž rodinného domu se pak pohybuje okolo jednoho až dvou dnů. Předchůdci tohoto systému jsou sloupkové systémy Balloon – Frame a Platform – Frame. Rámové stavby jsou od předchozích dvou druhů odlišeny i vnějším vzhledem konstrukce, která je z obou stran obložená. Na vnější obklady fasády se nejčastěji používají desky na bázi dřeva nebo z rostlého dřeva, které jsou chráněny povrchovou úpravou. Mohou být také opatřeny kompaktním fasádou sestávající se z venkovní vrstvy izolace a omítky. Jako vnitřní obklad stěn slouží desky na bázi dřeva, sádrovláknité nebo sádrokartonové, které se omítají, natírají nebo také tapetují bílým odstínem. Tento systém se vyznačuje svou hospodárností, jednoduchou konstrukcí, architektonickou volností a lze ho využít i pro vícepodlažní stavby.

Další výhodou jsou i opakující se detaily, standardizované průřezy, celkové vyztužení opláštěním, jednoduchá dostupnost materiálu, spoje kontaktními styky a mechanickými spojovacími prostředky, rastrový rozměr 400 – 700 mm, konstrukce oboustranně opláštěná a krátká doba výstavby s různými stupni předvýroby. Pro kostru se používá konstrukční dřevo (lepené a rostlé), pevnostní třídy C24, vlhkost se pohybuje kolem 12%. Nejvyužívanějšími dřevinami na konstrukci jsou smrk a jedle. Na vyztužné pláště a podlahy se používají třívrstvé desky, desky OSB, MDF, třískové, sádrovláknité nebo desky z překližky. Z izolací jsou preferovány minerální vláknité desky, celulózová vlákna nebo dřevovláknité desky. Za poslední dvě století se rámové stavby staly standardem a lze je označit jako dobře zavedené (Kolb, 2008).



Obr. č. 10 Rámová konstrukce – zajišťování nosného rámu
(www.kodex-reality.cz)

Skeletové konstrukce

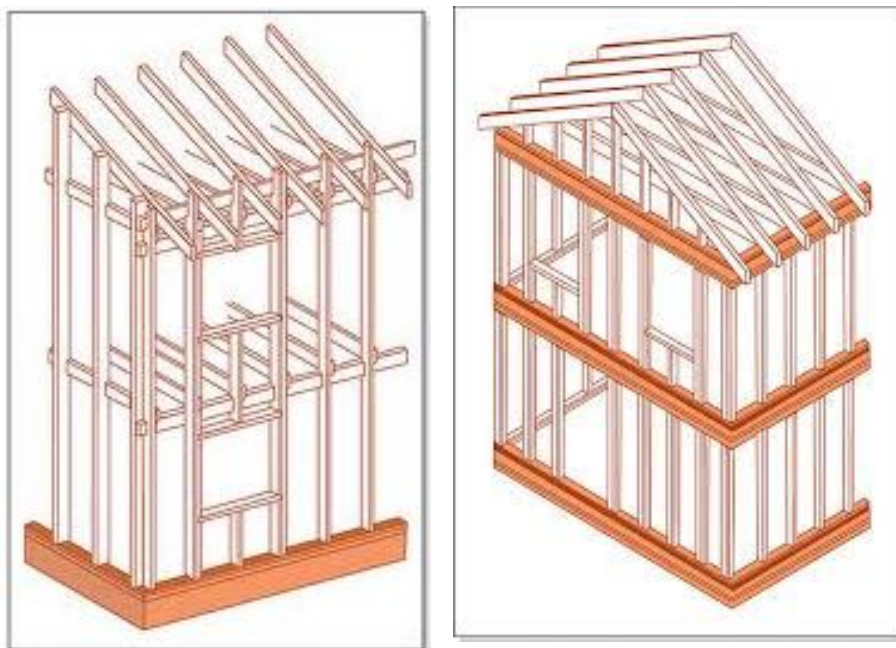
Tato konstrukce nabývá významu u vícepodlažních budov, kde je nutnost přenesení větších rozponů a zatížení. Můžeme využívat menších a větších rastrů v kombinaci s ocelí nebo železobetonem (Kolb, 2008). Kuklík, Kuklíková (2011) dělí tuto techniku do dvou skupin, na těžké a lehké skeletové konstrukce. Nosný systém těžkých skeletů se skládá ze svislých prvků z hraněného řeziva, lepeného lamelového dřeva a vrstveného dřeva, Parallamu nebo Intrallamu. Je kombinován s nenosnými výplňovými konstrukcemi ať už jako obvodový plášť nebo dělící příčky. Podle provedení styků svislé a vodorovné konstrukce dělíme těžké skelety na skelet s jednodílnými průvlaky a sloupy, skelet s dvoudílnými průvlaky a jednodílnými sloupy, skelet s dvoudílnými průvlaky a s dvoudílnými sloupy.

Výhodou jsou velké rozpory mezi sloupy a tím i velká dispoziční variabilita, jsou zde ale i úskalí v řešení detailů (z důvodu použití lepeného lamelového dříví oproti tesařským konstrukcím) (Kuklík, Kuklíková, Sborník přednášek 2011).

U lehkých skeletů jsou hlavním prvkem fošny, prkna a deskové materiály na bázi dřeva. Osová vzdálenost těchto prvků se pohybuje v rozpětí okolo 400 – 600 mm. Rozlišujeme tři typy a to Balloon-frame a modifikovaný Balloon-frame, Platform-frame (Kuklík, Kuklíková, Sborník přednášek 2011).

Balloon-frame systém (obr. č. 11) se zrodil okolo roku 1850 v USA. Skládá se ze sloupků v malých osových vzdálenostech ztužených deskovým materiálem. Z konstrukčního hlediska má sloupky průběžně procházející přes dvě i více podlaží. Na horním i dolním konci jsou ukončeny prahy (vodorovným prvkem). Stropní konstrukce je zapuštěna do zářezů stěnových sloupků (Kolb, 2008).

Platform-frame (obr. č. 12) se vyvinul ze systému balloon-frame, jedná se o poschodovou skladbu. Svislé sloupky se ve výšce stropní konstrukce zakončí horním prahem, na který se osadí stropní konstrukce. Ta pak slouží jako pracovní plošina. Vzniká tak prefabrikace a standardizace prvků, díky nimž je způsob stavění velmi flexibilní vzhledem ke konstrukci i architektonickému řešení (Kolb, 2008).



Obr. č. 11 Balloon-frame – systém s průběžnými sloupky
(www.flickrriver.com) / vlevo

Obr. č. 12 Platform-frame – systém se zakončenými sloupky v podlažích
(www.flickr.com) / vpravo

Konstrukce z masivního dřeva

Z důvodu rozšiřujícího se trendu využívání dřeva na vícepodlažní budovy se začínají objevovat i dřevěné masivní deskové systémy (obr. č. 13). Mají velmi mnohostranné využití pro stropní, stěnové i střešní konstrukce. Jsou k dispozici různé způsoby provedení, ať už jsou sbíjené, lepené, stejně nebo křížem orientované, s různým počtem vrstev, případně jde o prvky plnostěnné či s dutinami. Jedná se o plošně působící nosný systém, k přenosu zatížení dochází přes vyztužené tabule. Za charakteristické znaky považujeme, že nosná vrstva je z masivní, plošně uzavřené desky (masivní podíl je minimálně 50% z uzavřené nosné vrstvy). Systém je tvořen velkoplošnými dílci nebo prvky malého formátu, jedná se většinou o poschodovou výstavbu. Projevuje se také účinným přenosem zatížení, vyztužení budov tvoří plošná nosná konstrukce. Dále je odolný vůči sedání konstrukce, izolační materiály se kotví na nosný prvek z vnější strany. Tento typ konstrukce vytváří příjemné vnitřní klima, tím že přijímá přebytečnou vzdušnou vlhkost a v sušším období ji naopak vydává do ovzduší. (Kolb, 2008).



Obr. č. 13 Konstrukce z masivního dřeva – rozestavěná budova z masivních desek (bydleni.idnes.cz)

Stěnové soustavy z prefabrikovaných dřevěných tvarovek

Tento systém usnadňuje suchou výstavbu, kdy tvarovky (obr. č. 14) na bázi dřevěných materiálů jsou na sebe vrstveny a vnitřní meziprostor je vyplněn tepelnou izolací. Moduly mají rozměry cca 600 mm na délku a 300 mm na výšku, váží mezi 5 až 10 kg. Stabilitu na sebe navazujících tvarovek zajišťuje systém pera a drážky nebo kolíkové spoje. Stěna je vyztužena hranoly umístěnými na výšku uvnitř modulu případně latěmi z vnější strany. Montáž je jednoduchá a efektivní, nejsou potřeba speciální požadavky na dopravu, ani na další mechanizaci (Štefko et al, 2006).



Obr. č. 14 ϕ -ha modul – skládání jednotlivých modulu na sebe
(www.projektydomov.eu)

6 Porovnání dřevostavby a stavby ze samonosné slámy

6.1 Popis stavby

K porovnání typů konstrukce použijeme typový jednopodlažní rodinný dům obdélníkového půdorysu o vnějších rozměrech 6,85 m x 11,8 m a podlahovou plochou 80,83 m² (obr. č. 15). Vnitřní dispozice v obou domech je shodná, mění se jen velikost místností na základě tloušťky nosné konstrukce. Stavba byla situována do rovinného terénu v oblasti Prahy, tento faktor byl zohledněn při výpočtu součinitele tepelného prostupu v softwaru TEPLO. Dům je orientován obytnými místnostmi k jihu pro dostatečné a kvalitní oslunění prostoru. Součinitel tepelného prostupu konstrukce byl sjednocen pro dřevostavbu i pro konstrukci ze samonosné slámy na hodnotu 0,117 W/m²K. Pro zdárné sjednocení této hodnoty byla snížena tloušťka stěny ze samonosné slámy ze 700 mm na 500mm a u dřevostavby jsem byla její šířka nucena zvýšit z běžných 360mm na 432mm.



Obr. č. 15 Model typového rodinného domu – 3D model vytvořený v programu Archicad 2010)

6.2 Založení

Obě stavby mají stejný způsob založení na patkách z prostého betonu o rozměrech 300x300 mm. Prostorovou konstrukci tvoří dřevěné nosníky I-osb výšky 450mm, po obvodu jsou uloženy do hraněného řeziva 450x100mm pomocí ocelových úhelníků.

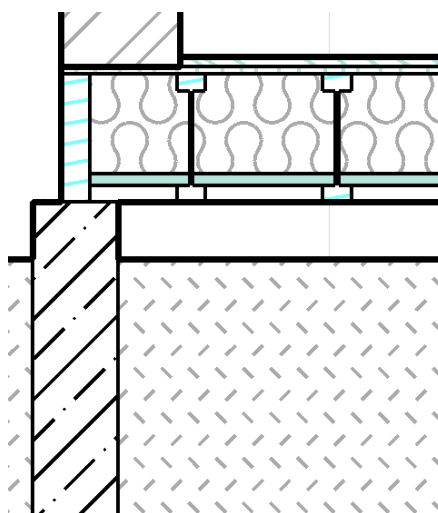
Slaměná konstrukce

U slaměné konstrukce je osová vzdálenost nosníků přizpůsobena rozměru balíku slámy. Pro tyto účely byly použity balíky o lisovací hustotě 90 kg/m³ s rozměry 500x350x700. Pod příčkami jsou nosníky zdvojeny z důvodu únosnosti příček z nepálených cihel. Na horní hranu spodní pásnice nosníku byly umístěny desky Agepan DWD protect tl. 16 mm.

Dřevostavba

U dřevostavby byly tyto parametry ponechány a prostor mezi nosníky jsem vyplnila tepelnou izolací Climatizer Plus (obr. č. 16). Na záklop a zajištění tuhosti základové konstrukce byla použita deska OSB tl. 25mm, poté následuje lehká plovoucí podlaha s podložkou z hobry.

Tento způsob založení je potřeba chránit před vlhkostí, naopak výhodné je proudění vzduchu pod konstrukcí. Patky jsou vysoké 1400 mm s ložnou spárou v hloubce 1200 mm, pod konstrukcí tak vznikne mezera 200 mm, která proudění umožňuje. Je také výhodné obsypání základů kačírkovým štěrkem a zavedení drenážního potrubí, které zajistí dostatečné odvodnění v okolí stavby.



Obr. č. 16 Základová konstrukce – detail založení dřevostavby
(Archicad 2010)

Shrnutí

U slaměné konstrukce je problematická úprava slaměných balíků do zúžených prostorů vzniklých zdvojením nosníků pro přenesení zatížení z příček a následná montáž do těchto úzkých a dlouhých míst. V těchto místech vyniká foukaná izolace díky aplikaci tlakem.

6.3 Svislé konstrukce

Slaměná konstrukce

U tvorby skladby ze slaměných balíků bylo třeba z důvodu výpočtu tepelného prostupu konstrukce upravit tloušťku a hustotu balíků. Proto bylo použito balíků s hustotou 100 kg/m^3 při rozměrech $500 \times 350 \times 700 \text{ mm}$. Stěna je tvořena z vnější strany 15 mm vápenné omítky, 15 mm jílové omítky, 500 mm slaměný balík a 15 mm jílové omítky. Takto navržená konstrukce má hodnotu součinitele tepelného prostupu $0,117 \text{ W/m}^2\text{K}$ a tepelného odporu konstrukce $8,40 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Při návrhu konstrukce ze samonosné slámy je potřeba dodržovat základní principy z důvodu stlačování konstrukce zatížením.

- Střešní zatížení musí být rozloženo (zamezení působení síly v jednom místě)
- Střešní zatížení musí působit do středu nosné stěny, rozloženo alespoň do 50% její šíře
- Výška stěny je možná pouze do 5-ti násobku její šířky
- Hustota slaměných balíků musí být minimálně 90 kg/m^3 , u trvale užívaných jednopodlažních staveb až 130 kg/m^3
- U otvorů musí převládat výška nad šířkou a zamezit tak působení síly na jeho okraj. Mezera mezi okny je vhodná alespoň $1/2$ balíku (vhodnější je celý balík).
- Vzdálenost otvorů od rohů stavby by měla být minimálně jeden balík
- Nad ostěními a překlady je nutno ponechat mezeru z důvodu sedání konstrukce
- U štíhlých stěn je potřeba zajistit vyztužení stěn proti vyboulení
- Je nutné používat hlavně nedělené balíky

(Minke, Mahlke, 2009; Mátron, 2010)

Výška stěn v typovém domě je 2450 mm podle modulové výšky balíků což splňuje i podmínku o pětinasobku šířky konstrukce. Pro lepší únosnost by byla vhodnější šíře 700mm, aby stavba splňovala minimální výšku obytných místností 2600 mm dle normy ČSN 734301. Tento nedostatek byl vyřešen použitím šikmin, pro lepší komfort bydlení byla výška upravena na 2700mm.

Otvory v konstrukci

Pro zajištění proti deformaci okenních a dveřních výplní jsou použity ztužující rámy tl. 70 mm. Tyto rámy jsou složeny z vnějších stran OSB deskami tl. 20 mm, střed tvoří prkna 10x3 mm a vnitřní prostor je vyplněn hutněnou slámou plnící tepelně izolační funkci. Tato konstrukce je v šíři 400 mm zdiva a je kotvena přímo do slaměných balíků. Z důvodu vzniku tepelného mostu je potřeba tento rám obložit dřevovláknitou deskou tl. 50 mm. Nad těmito rámy je ponechána mezera 70 mm pro stlačení slaměných balíků zatížením. Komplikace také vzniká v místě prahu vstupních dveří, tam je vložena dřevovláknitá deska se sklonem, na kterou je z důvodu možného proslápnutí připevněna sádrovláknitá deska.

Zajištění tuhosti

U stěn ze samonosné slámy řešíme rovnoměrné roznášení střešního zatížení a zajištění proti vyboulení. Síly ze střechy roznáší věnec tloušťky 100 mm ze stejné konstrukce, jaké jsou rámy otvorů, tedy OSB desky tl. 25 a prkna tl. 50 v meziprostoru vyplněné slámou. Deformaci stěn proti vyboulení se dá zabránit dvěma způsoby: 1) stažením ocelovými lany, které jsou ukotveny v základu konstrukce nebo 2) závitovými tyčemi. V tomto případě jsou použity závitové tyče ukotvené přes hranolek v základech mezi nosníky. Pro snadnou realizaci jsou tyče v metrových délkách, s osovou vzdáleností 900 mm a změnou podle okenních a dveřních otvorů. V čelních stěnách a v těsné blízkosti otvorů používáme tyče průměru 20 mm, v bočních stěnách stačí pouze o průměru 16 mm.

Povrchová úprava

Slaměné stěny je nutno chránit před vzdušnou vlhkostí i povětrnostními podmínkami. K tomuto účelu slouží omítky. Na slaměnou konstrukci se nejčastěji používají vápenné a hliněné omítky z důvodu schopnosti zachovat difuzně otevřenou konstrukci. Pro interiéry je vhodné používat hliněné omítky, které se nejprve aplikují nástřikem, aby se propojily se slámou (fungují též jako penetrace). Slámu je nutno před nanášením upravit, např. zastříhnout vyčnívající stébla na délku cca 50mm, vyrovnat nerovnosti a opatřit stěnu nosičem omítky. Nosiče omítky mohou být rabicové pletivo nebo síťovina z juty, pokud má omítka vysokou přilnavost tak nosič není potřeba. Množství omítky je ovlivněno nerovnostmi slaměných balíků.

Hliněná omítka musí pro správnou přilnavost obsahovat dostatečné množství jílu, je vhodné použít slaměnou řezanku, piliny a fermentační látku. Hliněné omítky vynikají svou plasticitou, pouze při vysychání po nanesení se objevují trhliny, které se dodatečně opravují. Na vnější stranu stěny je vhodné aplikovat vápennou omítku, její kvalitu příznivě ovlivňuje delší doba zrání vápna. Omítka se nanáší ve dvou vrstvách a povrch se ošetřuje pačokem. Tento nátěr je potřeba obnovovat každých 2-5 let. Je zcela běžné z vnější strany konstrukce nanášet vápennou omítku na hliněnou jádrovou omítku. Zde je velmi důležité správné propojení mezi těmito dvěma vrstvami. Tohoto propojení je možné dosáhnout použitím octanu hlinitého nebo mechanickou úpravou povrchu hliněné omítky (dírký, úzké rýhy) (Chybík, 2009; Minke, Mahlke, 2009; Mátron, 2010).

Příčky

Dělicí funkci v interiéru zastávají příčky z nepálených cihel přispívající ke stabilitě vnitřního klimatu, jak teplotně tak hlavně vlhkostně. Při práci z těmito cihlami nám vzniká omezení ve formě postavení pouze sedmi řad cihel za den, což je zapříčiněno pomalým vysycháním malty. Příčky se následně omítají hrubou a jemnou hliněnou omítkou v šíři 15-20 mm (Navrátil, Navrátil, Sborník přednášek 2010).

Dřevostavba

Sendvičová konstrukce je složena (od vnější strany) z omítek systému Stomix v tloušťce 8mm, dřevovláknitá deska Agepan THD 230 P+D tl.80mm, trémová konstrukce s tepelnou izolací Climatizer Plus tl. 240mm, OSB deska tl. 18mm , opět dřevovláknitá deska Agepan THD 230 P+D tl.80mm, jílová omítka šíře 6 mm. Tato sendvičová skladba se běžně nepoužívá je naddimenzovaná a neekonomická. V praxi se používají podobné typy konstrukcí s předstěnou. Obdoba naší použité skladby je omítky od firmy Stomix, dřevovláknitá deska Agepan THD 230 P+D tl.40mm, tl. 200 mm nosná konstrukce s tepelnou izolací Climatizer Plus, OSB deska tl. 18 mm, předstěna od systému Knauf vyplněná Climatizerem Plus. U těchto skladeb se mění výrobci a druh tepelné izolace.

Otvory v konstrukci a zajištění tuhosti

U trémového konstrukčního systému není žádné výškové omezení, osová vzdálenost fošen je 600 mm v místech okenních a dveřních otvorů je použita výměna tvaru L pro lepší ztužení. Výplně otvorů jsou přímo montovány do nosných prvků konstrukce, pro zajištění tuhosti jsou stěny ukončeny prahem se stejným průřezem jako ostatní fošny. Horní práh je zesílen ještě jedním průběžným prvkem o shodném profilu, zde je potřeba, aby spoje byly překryty. Spojený profil o rozměrech 240x100 mm je využit jako věnec a pozednice na kterou jsou osazeny dřevěné střešní vazníky od firmy Kasper.

Povrchová úprava

Ochrana proti povětrnostním vlivům je zajištěna stěrkovými omítkami společnosti Stomix. Jedná se systém dvou vrstev stěrkové hmoty Stomix Alfa FIX a omítkoviny Stomix Betadekor Sil. Stěrková hmota Alfa FIX se používá na vytvoření pružné vrstvy na vnějších zateplovacích systémech. Betadekor Sil je vodou ředitelná silikonová tenkovrstvá omítkovina určena ke konečné úpravě svislých ploch v exteriéru.

Příčky

Příčky mají funkci nejen dělicí ale i zvukově izolační. U vnitřních dělicích konstrukcí je vhodnější na místo zvyšování plošné hmotnosti konstrukce využít vlastnosti zdvojených konstrukcí. Příčky tohoto typu jsou lehké a skládají se z dřevěných nebo kovových profilů s oboustranným opláštěním. Opláštění je možné jednoduché nebo dvojitě, desky mívají plošnou hmotnost méně než 40 kg/m². Mezi deskami vznikne vzduchová mezera, kterou je žádoucí vyplnit pružnou izolací. (Vaverka, Sborník přednášek 2008) V mé dřevostavbě jsou vnitřní dělicí stěny navrženy dle systému Knauf, profilace šíře 70mm s jednoduchým opláštěním sádrokartonovými deskami a Climatizerem Plus.

Shrnutí

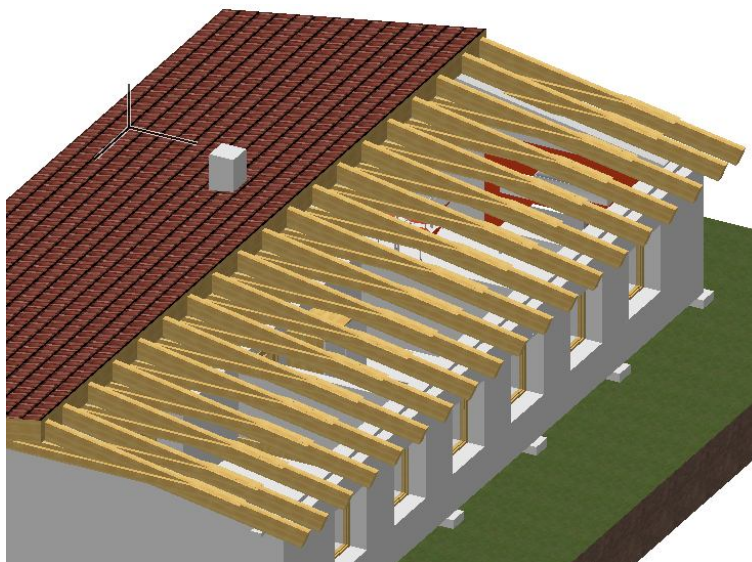
Dřevostavba má i přes naddimenzování menší tloušťku konstrukce a nejsou zde potřeba žádné ztužující prvky otvorů. Je snadnější napojení příček na nosné konstrukce, vedení instalací a zavěšování těžkých předmětů na stěny. Sláma vyniká tepelně izolačními vlastnostmi aby bylo dosaženo stejného součinitele prostupu tepla konstrukce byla slaměná stěna ztenčena a vrstvy dřevěného sendviče bylo třeba zesílit a některé vrstvy i přidat. Omezená výška stěn slaměného domu.

6.4 Střešní konstrukce

Slaměná konstrukce

Dřevěné nosníky I-osb (obr. č. 17) vytváří nosnou část střešní konstrukce s roztečí nosníků 700 mm (na délku slaměných balíků tvořících tepelnou izolaci) a výškou 400 mm. I – osb nosníky jsou ukotveny do pozednice o průřezu 100x150, která je spojena se ztužujícím věncem. Tento spoj se zajišťuje pomocí ocelových prvků. Střešní konstrukce je proti hornímu vybočení stěn stažena oboustrannými kleštinami o rozměrech 200x50 mm, aby nedocházelo k deformaci stojiny u nosníků je mezera mezi kleštinami a stojinou vyplněna dřevěnými odřezky a propojena dvěma svorníky. Pohled nesoucí balíky slámy je navržen z ekopanelů které přenesou zatížení z balíků o hustotě 90 kg/m³. Panely jsou zavěšeny přímo na kleštinách, které bylo potřeba ztužit proti průhybu vzpěrami. Ze strany interiéru jsem panely obložila protipožárním sádrokartonem. Mezi sádrokartonem a ekopanely je vložena parobrzda (membrána pro – clima).

Prostorové tuhosti konstrukce přispívají fošny vložené do jednotlivých polí mezi nosníky. Z vnější strany jsou nosníky zaklopeny deskou z dřevovláknna Agepan DWD protect tl. 18, na nich jsou už pouze kontralatě s těžkou krytinou. Těžká střešní konstrukce zajistí dostatečné sednutí konstrukce, Bramac vyrábí betonovou střešní krytinu do minimálního sklonu 7° pod obchodním názvem Max 7°.

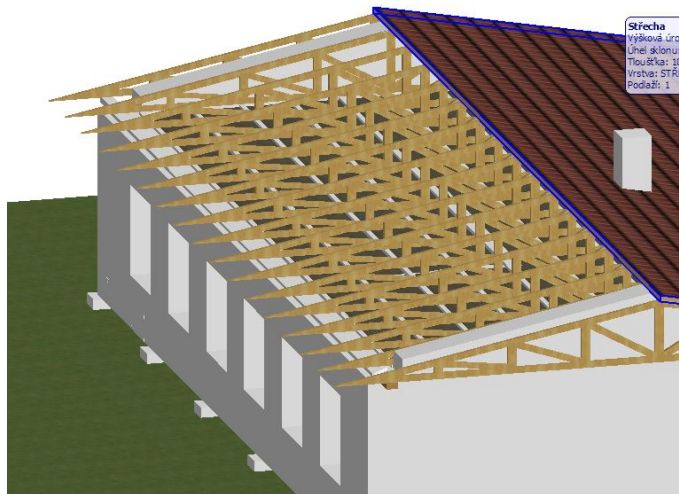


Obr. č. 17 Střešní konstrukce z I-osb nosníků – do otevřené střešní konstrukce (Archicad 2010)

Dřevostavba

Na dřevostavbě bylo možno použít střešní vazníky Kasper (obr. č. 18) z důvodu rovného podhledu. Podhled je zavěšen přímo na těchto vaznicích pomocí dřevěného roštu s osovou vzdáleností latí 600mm. Na podhled byl použit protipožární sádrokarton. Strop je zateplen volným foukáním celulózové izolace Climatizer Plus mezi vazníky přímo na podhled. Prostorová tuhost je zajištěna fošnami mezi vazníky.

Vnější opláštění střechy je shodné se stavbou ze samonosné slámy, tedy dřevovláknitou deskou Agepan DWD protect s kontralatěmi a betonovou krytinou Max 7°.



Obr. č. 18 Střešní konstrukce z příhradových vazníků – pohled do otevřené střešní konstrukce (Archicad 2010)

Shrnutí

Střešní konstrukce pomocí příhradových vazníků je snadnější na realizaci, je však vyvážena potřebou jeřábu. Ve slaměném domě by mohlo mírně omezovat šikmé zkosení stropní konstrukce vzniklé omezenou výškou stěn. U stropu v konstrukci ze samonosné slámy je potřeba zvýšit únosnost závěsného podhledu, více než u podhledu zatíženého foukanou celulózovou izolací.

6.5 Požár konstrukce

V oblasti požární bezpečnosti nejsou tyto konstrukce certifikovány a je problematické jejich srovnání z tohoto hlediska. Pro zvýšení požární odolnosti konstrukce byl použit proti požární sádrokarton. Climatizer Plus patří do třídy C v reakci na oheň, i u slámy byly zaznamenány odolnost ohni min. 90 minut při oboustranném omítnutí.

7 Diskuze

Oba typy konstrukcí mají své specifické výhody i nevýhody. Slaměná konstrukce vyniká hospodárností a využíváním místních zdrojů. Budování ze slámy teprve své úspěchy a oblibu sbírá, avšak ocení ho nejvíce stavebníci, kteří si chtějí postavit dům svépomocí za účasti stavbyvedoucího či stavebního dozoru. K těmto účelům je sláma ideální materiál - není třeba odborné vzdělání v této oblasti, stačí prostudování literatury zabývající se touto problematikou, případně se zúčastnit workshopu. V této oblasti je u dřevostavby složitější postup, jak správně navrhnout sendvičovou konstrukci kvůli problematice rosných bodů. Na realizaci takovéto stavby je žádoucí patřičné vzdělání, jinak je vhodnější přenechat výstavbu odborné firmě. Sláma je i díky možnosti stavby svépomocí ekonomičtější, stavebník ušetří za realizační firmu i za mechanizaci (pokud nepoužívá rozměrné a těžké prvky na střešní konstrukci). Výraznou výhodou dřevostavby je možnost prefabrikace a tím úspora času, kdy lze montáž z prefabrikovaných dílů zhotovit do dvou dnů. Podobně krátkých termínů bohužel u slámy nedosáhneme. U dřevostaveb jsou jednodušší následné přestavby nebo rozšíření objektu.

Při realizaci stavby ze slámy je složitější řešení detailů např. aplikace slámy do úzkých prostor, kde plní funkci tepelné izolace a je potřeba její určité množství. U konstrukce ze samonosné slámy se také řeší správné uskladnění slaměných balíků kvůli ochraně před vlhkostí. Balíky s vyšší vlhkostí rychleji podléhají degradaci, zatímco některé výrobky ze dřeva mají hydrofobní úpravu a krátkodobé vystavení vlhkosti je neponičí. U staveb ze dřeva je snadnější kotvení příček do nosného zdiva, protože u slámy je nezbytné vytvořit kotvicí prvek s připojením k závitovým tyčím, který se vkládá mezi balíky. Ani osazení oken a dveří se neobejde bez potíží - u dřevostavby montujeme okenní rámy přímo do nosné konstrukce. U samonosné slámy musíme mezi balíky vložit ztužující rám nebo jiný prvek, který zajistí prevenci před deformací oken a dveří při sesedání konstrukce. Při použití ztužujícího rámu narazíme na problematiku tepelného mostu. V neprospěch stěn ze samonosné slámy je i omezení výšky, kdy výška může být pouze pětinasobkem šířky stěny. Pokud chceme zateplovat střešní konstrukci balíky slámy a máme snížený podhled, musíme počítat i se zvýšením únosnosti závěsného podhledu, než při použití foukané izolace.

Tyto drobné nevýhody se dají relativně snadno vyřešit, a pokud se stavebník pro samonosnou slámu rozhodne, nejsou tyto komplikace omezující nebo znevýhodňující oproti dřevostavbám. Tyto sláma vyváží velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi.

8 Závěr

V rámci této práce byly shrnuty základní poznatky o materiálech využitelných pro nízkoenergetickou a pasivní výstavbu. Rozšířila jsem povědomí o vlastnostech, problematice a konstrukčních systémech dřeva a samonosné slámy. Seznámila jsem se s různými formami zpracování těchto materiálů, ať ve formě hraněného dřeva, dřevoláknitých materiálů nebo celulózové tepelné izolace. Obohatila jsem své znalosti o doprovodné materiály, které se ve stavbách z přírodních materiálů vyskytují. Existuje zde mnoho oblastí, které by si zasloužily pozornost, i jako námět pro další práce. Například provedení technického zařízení budov, které z finančního hlediska zabírá jednu třetinu z rozpočtu hrubé stavby. Podle provedeného zjištění prof. Dr. Wolfganga Ruga a Dipl. Ing. Heidruna Helda se životnost dřevostaveb pohybuje v rozmezí 51 – 131 roků (www.atrium.cz). Na slaměné stavby zatím výzkumy na stanovení životnosti realizované nebyly, z historie však můžeme usuzovat životnost okolo 100 let. Výpočet ekologické náročnosti na realizaci stavby by si zasloužil řešení v samostatné práci. Stejně obsáhlá je i ekonomická část, kde by stěžejní část tvořil rozpočet na výstavbu. Pro představu: u rodinných domů cena obestavěného prostoru dřevostavby vychází na 6400,-/m³, zatímco zděný dům z cihel, bloků nebo tvárnic vychází na 4700,-/m³ obestavěného prostoru. V případě, že má stavitel zájem o výstavbu monolitické skeletové stavby z betonu, vyšla by ho tato na 7200,-/m³ (Fikar, 2013). Cena za obestavěný prostor pro slaměné konstrukce nebyla uvedena, ale můžeme uvažovat o ceně nižší, a to z důvodu úspor na realizační firmě a použití cenově dostupného materiálu.

Tato práce nás vede k zamyšlení, zda jsou alternativní materiály horší nebo lepší, než zatím běžně dostupné technologie. Dřevostavby si svou důvěru už téměř získaly, mnohem více investorů se přiklání ke komfortnímu, zdravému a příjemnému prostředí, které dřevo nabízí. Stavby ze slámy na svou oblíbenost teprve čekají a nebude dlouho trvat a i ony si získají zasloužené místo na trhu.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů

ATRIUM, 2002: Studie – Životnost dřevostaveb. Atrium special 01/2002. [online]. [cit. 2013-4-8]. Dostupné z:

<http://www.atrium.cz/atrium-special/studie-zivotnost-drevostaveb/>

BROTÁNEK A., 2012: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí Dřevostavby 2012: 63-69.

BURRITT ON THE MOUNTAIN: Burrit on the mountain - Burritt Mansion [online]. [cit. 2013-04-09]. Dostupné z:

http://www.burritonthemountain.com/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=50

CARTER J., 2006: Nebraska's straw bale church, Nebraska History 87/2006: 52. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z:

<http://www.nebraskahistory.org/publish/publicat/history/full-text/NH2006StrawChurch.pdf>

ČSN 730532, 2010: Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky.

ČSN 730540-2, 2011: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.

ČSN 734301, 2004: Obytné budovy.

FIKAR P., 2013: Orientační ceny rozpočtových ukazatelů stavebních objektů. Materiály pro stavby 1/2013: 20-21.

FOREST LEARNING: Why is wood a sustainable building material. [online]. [cit. 2011-11-16]. Dostupné z:

<http://www.forestlearning.edu.au/forest-sustainability/wood-renewable/sustainable-building-products>

GRMELA D., 2008a: Využití slámy ve stavebních konstrukcích. CZ Biom. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z:

<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-slamy-ve-stavebnich-konstrukcich>

GRMELA D., 2008b: Domy ze slámy – zdravé a levné bydlení 2. Bydlení.cz. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: http://www.bydleni.cz/clanek/Domy-ze-slamy-8211-zdrave-a-levne-bydleni_3300

GRMELA D., 2008c: Domy ze slámy – zdravé a levné bydlení 3. Bydlení.cz. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: http://www.bydleni.cz/clanek/Domy-ze-slamy-8211-zdrave-a-levne-bydleni_3300

HÁJEK V., 1997: Stavby ze dřeva. Sobotáles, Praha, 154 s.

CHYBÍK J., 2009: Přírodní stavební materiály. Grada Publishing, a.s., Praha, 272 s.

JONES B., 2010: Wood as building material for house. [online]. [cit. 2011-11-16].

Dostupné z:

<http://babsijones.typepad.com/babsi/2010/07/wood-as-building-material-for-houses.html>

JŮN P., 2007: Dřevěné stavební konstrukce napadené dřevokaznými houbami, hmyzem či plísněmi. Stavařina.cz. [online]. [cit. 2011-11-16]. Dostupné z: <http://www.stavarina.cz/poruchy/drevene-konstrukce-houby-hmyz-plisne.htm>

KOLB J., 2008: Dřevostavby. Grada Publishing, Praha, 320 s.

KUKLÍK P., KUKLÍKOVÁ A., 2011: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí Dřevostavby 2011: 150-164.

MÁTRON J., 2010: Stavby ze slaměných balíků. Liberec, 204 s.

MINKE G., MAHLKE. F., 2009: Stavby ze slámy. Hel, Ostrava, 143 s.

NAVRÁTIL M., NAVRÁTIL M., 2010: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí Dřevostavby 2010: 63-66.

POLET Y., MELLIWA M., BIES V., LIBOUREAU P., HANDRICH CH., NOGUES J., GROSJEAN B, 2011: The project "maison Feuillette". [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <https://sites.google.com/a/compaillons.eu/feuillette-house/Le-projet-Maison-Feuillette>

ŠTEFKO J., REINPRECHT L., KUKLÍK P., 2006: Dřevěné stavby. Jaga group, Praha, 217 s

TRNKA L., 2002: Nový stavební materiál – sláma. ZO ČOSP Veronica č. 5/2002. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://www.veronica.cz/?id=23&i=104>

VAVERKA J., 2008: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí Dřevostavby 2008: 42-48.

VYHLÁŠKA č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, v platném znění.

VZDĚLÁVACÍ PORÁL: Dřevo stavební materiál 21. století. [online]. [cit. 2011-11-16]. Dostupné z: <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/zajimavosti-ze-sveta-dreva/drevo-stavebni-material-21-stoleti/>

WIHAN J., 2007: Nosná sláma a CO₂ neutrální dům. Materiály pro stavbu 3/2007. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://www.imaterialy.cz/Tema-mesice/Nosna-slama-a-CO.html>

WIKIPEDIE, 2013: Hrázděné zdivo. [online]. [cit. 2013-3-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hr%C3%A1zd%C4%9Bn%C3%A9_zdivo

ZÁKON č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu.

ZÁKON č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a nařízení vlády, v platném znění.

ZAORÁLEK O., 2011: Dřevostavby: tradice a historický vývoj. Dřevo a stavby2/2009. [online]. [cit. 2013-3-17]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/cs/drevostavby-archiv/151-o-drevostavbach/1231-drevostavby-tradice-a-historicky-vyvoj>

Internetové zdroje

- <http://www.agepan.cz/>
- <http://www.agepan.de/>
- <http://www.bova-nail.cz/>
- <http://www.bramac.cz/produkty/betonove-stresni-tasky/bramac-max-7.html>
- http://bydleni.idnes.cz/montovane-drevostavby-z-masivu-moderni-obdoba-roubenek-p2g-/stavba.aspx?c=A090223_153414_stavba_web
- <http://www.ciur.cz/>
- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur_Pilgrim_Holiness_Church_from_NW.JPG
- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Burritt_Mansion_Highsmith_02.jpg
- <http://www.czechpan.cz/>
- <http://www.drevoastavby.cz/cs/drevostavby-archiv/konstrukce-drevostaveb?start=72>
- <http://www.drevoastavby.cz/cs/drevostavby-archiv/sruby-roubenky/385-tradice-srubovych-konstrukci>
- <http://www.ekopanely.cz/>
- <http://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3048367956/>

- <http://www.flickrriver.com/photos/mitopencourseware/3047527217/>
- <http://haas-fertigbau.de/>
- <http://www.kaspercz.cz/>
- <http://www.knauf.cz/>
- <http://www.kodex-reality.cz/aktuality/novinky/drevostavby-a-jejich-druhy-stavebni-systemy.htm>
- <http://www.larep.fr/france-monde/actualites/economie-politique/eco-finances/2012/05/04/participez-a-lachat-de-la-maison-feuillette-la-plus-vieille-deurope-a-montargis-1159171.html>
- <http://www.luhacovice.com/duben-2010/v-luhacovicich-vyrostlo-nove-tratove-rele.html>
- <http://www.projektydomov.eu/eco-pasivne-domy>
- <http://www.pro-clima.cz/>
- <http://www.steico.com/>
- <http://www.stomix.cz/>
- <http://thelaststraw.org/sban/tour/tour.html>

10 Seznam příloh

Příloha 1: Studie rodinného domu, samonosná sláma - půdorys, řezy

Příloha 2: Studie rodinného domu, samonosná sláma – pohledy

Příloha 3: Studie rodinného domu, dřevostavba – půdorys, řezy

Příloha 4: Studie rodinného domu, dřevostavba – pohledy

Příloha 5: Výpočet součinitele tepelného prostupu konstrukcí

Příloha 6.: Graf rozložení vodní páry v typickém místě konstrukce