



CO VŠE DOKÁŽE  
SLAMĚNÝ BALÍK

# PRÁCE POPISUJÍCÍ SLAMĚNÝ BALÍK Z HLEDISKA JEHO VYUŽITÍ PRO STAVĚNÍ BUDOV

Martin Němeček

2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

Jako základní podklad následujícím stránkám posloužila moje práce ze studia fakulty stavební VUT v Brně pojednávající o slaměných domech. Práce „*Co vše dokáže slaměný balík*“ nemá aspirovat na příručku pro stavění takovýchto budov. Má za úkol představit slaměný balík jako stavební konstrukční prvek a také informovat o jeho stavebně technických vlastnostech, a to jak laiky, tak odborníky znalých stavění budov. Mezi jednotlivými kapitolami jsou také představeny současné slaměné domy. Jsou vybrány takové stavební objekty, které mezi jinými vynikají architekturou a způsobem použití balíků pro vytvoření jednotlivých konstrukčních částí domu.

Martin Němeček

## Obsah:

Historický úvod a současnost .....	3
Sláma jako materiál pro stavbu budov.....	6
Konstrukční systémy využívající slaměný balík.....	11
Tepelně technické parametry .....	16
Cena slaměných balíků a její srovnání s ostatními izolačními materiály .....	20
Příklad skladby obvodové stěny pasivního domu s užitím slaměné izolace .....	24
Zhodnocení slaměného balíků pro stavbu domu.....	26

## Historický úvod a současnost<sup>1</sup>

Sláma ve formě slaměných balíků se jako stavební materiál začala užívat v USA již v 19. století. Tento jev byl spojen s vynálezem lisu na výrobu balíků slámy. První zmínka o balíkovacím lisu, který byl poháněn koňskou silou pochází z roku 1872, od roku 1884 pak existovaly lisy na páru. Samotné balíkování slámy se začalo v USA používat pro snadnější převoz do větších vzdáleností, také francouzští vojáci si pro své koně nechali slámu přivážet ve formě balíků<sup>2</sup>. Docela rychle poté se začínají stavět z tohoto nového materiálu první známé domy a to v Nebrasce. Zhruba v roce 1886 byla postavena v této oblasti školní budova o jedné místnosti nedaleko sídla Bayard, Scott's Bluff Country. Sama budova patří k prvním takto postaveným domům, které byly na počátku stavěny bez dřevěného skeletu, kdy střecha spočívala přímo na stěně z balíků slámy. Nejstarší známé obývané slaměné domy s nosnými stěnami vznikaly mezi lety 1900 až 1914 (obr. 1).



*Obr. 1 - Ranč Fawn Lake, Nebraska.*



*Obr. 2 - Nejstarší slaměný dům v Holandsku.*

Největšího rozmachu této techniky bylo dosaženo v letech 1915 až 1930. V této době existovalo asi 70 staveb, z kterých 13 ještě stálo v roce 1993 (obr. 3). Nejstarší známý slaměný dům v Evropě a dost možná i nejstarší dvoupodlažní objekt na světě s izolací z balíků slámy, tzv. „Mason Feuillette”, vznikl v roce 1921 v sídle Montargis ve Francii (obr. 4). Zřejmě nejstarší slaměný dům v Holandsku byl zbudován v Heeze v roce 1944 (obr. 2).



*Obr. 3 - Kostel Pilgrim Holiness Church – Artur, Nebraska.*



*Obr. 4 - „Mason Feuillette”, Montargis, Francie ( 1921).*

Do této doby bylo v USA postaveno takové množství slaměných domů, že pro ně byly v řadě jihozápadních států vydány speciální předpisy<sup>3</sup>. Na počátku 80. let proběhla řada tematických setkání - workshopů jak v USA, tak později v Kanadě a v Anglii. To od těch dob zřejmě napomohlo opravdovému rozkvětu stavění z tohoto materiálu po celém světě. Vznikly organizace, které se o dané téma zajímaly a následně začaly pořádat řadu konferencí a sympozií, jenž měly výměně zkušeností a skutečnému rozšíření této neobvyklé formy stavitelství napomocť. Barbara Jones, známá stavitelka slaměných domů, v roce 1998 postavila v Irsku jeden z prvních dvoupodlažních domů s nosnými stěnami z balíků slámy<sup>4</sup>. V Bělorusku bylo postaveno sídliště z 200 slaměných domů, jež obdrželo v roce 2000 světové ocenění World Sustainable Energy Awards. Po celém světě, Českou republiku nevyjímaje, se nachází dost staveb s využitím slámy.

Zatímco v Německu byly dosud povolovány slaměné domy pouze jako stavby s dřevěnou skeletovou konstrukcí se slaměnou výplní, v zemích jako je Kanada, Irsko, Švýcarsko, Holandsko, Francie, Dánsko a Velká Británie se dosáhlo oficiálního stavebního povolení budov s nosnými slaměnými stěnami<sup>5</sup>.

Na obrázcích jsou vidět novodobé domy využívající slaměné balíky jako výplň dřevěné kostry, která dům zároveň nese. Ne náhodou jsou tyto současné objekty většinou nízkoenergetické nebo dokonce energeticky pasivní domy. Slaměný balík má totiž výborné tepelné izolační vlastnosti!



*Obr. 5 – Nízkoenergetický slaměný dům - St. Donat, Rakousko.*



*Obr. 6 – Energeticky pasivní dům - Wienerherberg, Rakousko.*



*Obr. 7 – Nízkoenergetický dům - Kurtatsch, Rakousko.*



*Obr. 6 – Nízkoenergetický dům – Dross, Rakousko 2007.*

## OBJEKT 1

Energeticky pasivní dům firmy Natur und Lehm s izolací ze slaměných balíků

Místo - Tattendorf, Rakousko 2006

Architekt - Georg Reinberg, Roland Meingast



Obr. 7 - Jižní fasáda s fotovoltaickými panely a bezúdržbovou vegetační střechou.



Obr. 8 - Na vnitřní interiér se použily pouze dřevěné a hliněné materiály.

Dům je sestaven výhradně z přírodních materiálů - tzn. hliněná vnitřní i venkovní omítka, využití jílových neboli hliněných cihel a dřeva v interiéru a samozřejmě izolace ze slaměných balíků jako výplň nosné dřevěné konstrukce. Je tu vidět, že se v žádném případě nevyklučuje propojení techniky (fotovoltaický panel nebo větrací jednotka se zpětným získáváním tepla) a přírodního materiálu. Ba naopak!



Obr. 10 - Dřevěné rámové zárubně ve stěně vystavěné z hliněných cihel.



Obr. 9 - Nepálené hliněné cihly spojované hliněnou maltou.



Obr. 11 - Vyrožení předem vyrobených stěnových dílců z přilehlé železniční tratě.

[www.lehm.at](http://www.lehm.at), [www.reinberg.net](http://www.reinberg.net)

# Sláma jako materiál pro stavbu budov

## Obecně

Pojem sláma označuje suché stonky vymláceného obilí ze pšenice, žita, ječmene, ovsa, prosa a dalších plodin. Pro výrobu slámových balíků pro stavební účely se nejvíce hodí sláma ze pšenice a žita<sup>6</sup>. Sláma se skládá z celulózy, ligninu a oxidu křemičitého, jež dávají povrchové vrstvě voskovitou strukturu, která odpuzuje vodu. Proto je sláma odolná proti působení vody a podléhá hnití jen velmi pomalu.

Balíky ze slámy se vyrábějí v různých velikostech. Malé balíky lze stručně charakterizovat rozměry 30-35 x 40-50 x 50-120 cm. Hustota balíků, které vycházejí z lisu činí cca 80-120 kg/m<sup>3</sup>, což jsou i okrajové podmínky pro jejich použití, jelikož se izolační vlastnosti od středu tohoto intervalu na oba dva směry zhoršují (nejlépe však 90-110kg/m<sup>3</sup>) a taktéž pro nosnou slámu nižší hustota není vůbec příznivá. Středně velké balíky mají rozměry 50 x 80 x 70-240 cm, velké balíky pak 70 x 120 x 100-300 cm<sup>7</sup>. Tyto balíky se s výhodou užívají u nosných stěn, jelikož by dřevěné sloupky postrádaly v konstrukci stěny smysl. S prvky se pak musí manipulovat pouze s těžkou technikou, jelikož kvůli velkým rozměrům a vysoké hustotě (180-200 kg/m<sup>3</sup>)<sup>8</sup> mají velkou váhu.

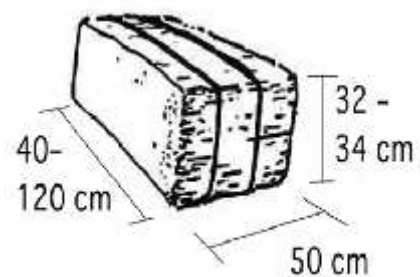
Při sklizni se musí sláma sklízet většinou po poledni, jelikož ráno může být ještě vlhká a tato vlhkost, se z balíku velmi obtížně odpařuje. Se slaměným balíkem by se poté mělo nakládat opatrně, protože se kvádřovitý tvar a roh balíku může mírně zdeformovat, což má neblahý důsledek na kompaktnost, celistvost a kvalitu stěny. Slaměné balíky nesmí obsahovat ani trávy a byliny, které se do nich dostaly při sklizni již zarostlého pole. Balíky pak při shlednutí a kontrole musí být tuhé bez zjevných známek hnití. Vázací motouz je nejvhodnější polypropylenový, ten by se pak neměl protahovat či vytahovat. Balíky se musí skladovat v suchu a musí se chránit před deštěm. Pakliže jsou balíky vlhké, nesmí se skladovat těsně vedle sebe ale s mezerami, aby balík vysychal.



Obr. 12 - Malý balík.



Obr. 13 - Velký balík.



Obr. 14 - Obvyklé rozměry malého balíku.

## Opatření balíků

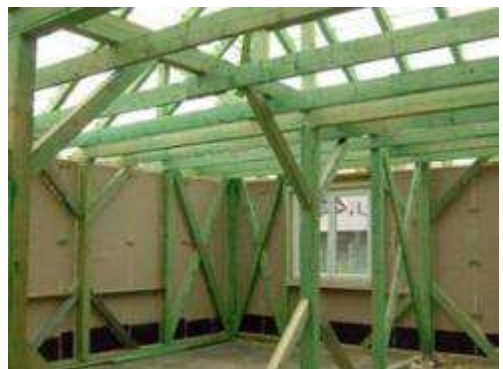
Pokud chceme použít slaměné balíky pro stavbu vlastního domu, je vhodné dobře načasovat samotné opatření balíků. V praxi to znamená, že nejlepší je balíky si opatřit rok předem a poté si je někde uskladnit. Jestliže chce stavebník použít balíky z aktuální sezóny, musí počítat s tím, že se balíky dostanou na samotnou stavbu někdy kolem srpna až září, což značně zpomalí a zkomplikuje výstavbu vůči nastávajícímu zimnímu období. Mohlo by se také stát, že kvalitních slaměných balíků bude nedostatek v důsledku nepřízně počasí nebo neúrody. Je to jeden z důvodů, které zatím brání většímu rozšíření výstavby slaměných domů. Náprava těchto nepříznivých okolností může také spočívat v jisté formě prefabrikace konstrukčních dílců. V Anglii se už začínají v malém vyrábět dřevěné rámy respektive části stěn, které jsou předem vyplněny balíky. Ty se přivezou na stavbu a poté se z nich seskládá celý dům. Totéž se děje v Rakousku či Německu.

## Slaměné panely

Dlouhou dobu existují také slaměné panely, které se vyrábějí i v České Republice. Poprvé se vyskytly ve 20. letech ve Francii a Švýcarsku<sup>9</sup>. Panely jsou potaženy kartonem a jsou určeny k opláštění různých konstrukcí, takže se dají užít jak na výstavbu příček, tak na opláštění stěn. U nás je formát panelů 58 x 800/1200 x max.3200mm a můžou se do nich kotvit předměty klasickými hmoždinkami či jinými kotvicími prostředky. Panel je totiž slisován na hustotu 300 kg/m<sup>3</sup>. Právě proto mají panely ze slámy zhruba dvakrát horší tepelně izolační schopnost než sláma v podobě balíku. Dutina uvnitř stébla, která je totiž důležitá pro kladení odporu při prostupu tepla, je zde narušena či zničena při jejich výrobě. To také znamená, že bychom museli na sebe navrstvit zhruba



Obr. 15 - Slaměný panel.



Obr. 16 - Opláštění dřevostavby slaměnými panely.

12 těchto panelů, aby měly stejný tepelný odpor (viz. dále) jako stěna vystavěná z balíků slámy. Tloušťka této stěny by pak byla 0,7 m a bylo by velmi zajímavé srovnat tyto dvě varianty po finanční stránce. Podle výrobce se navíc musí mezery mezi panely vyplňovat PU pěnou, což z finančního hlediska a kvůli materiálové ekologii není zrovna příznivé.

Na druhou stranu je tyto prvky velice výhodné využít při výstavbě vnitřních příček, kdy stěna nemusí mít tak velký tepelný odpor jako vnější plášť. Také se zde využije velká měrná tepelná kapacita slámy ( $c = 2,0 \text{ kJ/kgK}$ )<sup>10</sup>, což znamená, že samotný panel absorbuje docela velké množství tepelné energie a napomáhá tak letní i zimní tepelné stabilitě objektu. To se právě nedá říct o příčkách vyplněných, mnohdy nesmyslně, izolačním materiálem, které se ještě stále u dřevostaveb nebo i zděných domů hojně používají. Takové vnitřní prostředí, kdy není uvnitř objektu dostatek hmoty, je z pohledu tepelné setrvačnosti domu velice labilní.

### Vlhkost

Pro prevenci růstu plísní a hub nesmí vlhkost balíků překročit 15 %<sup>11</sup> a ty ani nesmí být dlouhodobě umístěny v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu větší než 70 %<sup>12</sup>. Při skladování je důležité nenechat zvlhnout střed balíku, protože by již po uzavření v konstrukci dostatečně nevyschl. Slámou voda nevzlíná, takže balík zvlhne pouze do takové hloubky, do jaké je déšť zahrán větrem. Krátkodobý cyklus vlhnutí a vysychání z vnějších stran balíku, ke kterému dochází při průběhu výstavby nebo skladování, není velkou potíží, balíky by neměl poškozovat. Neznamená to však, že se taková stěna nemusí opatřit omítkou nebo zaklopit deskami! Balíky se v žádném případě nesmí zapařit, proto je není vhodné zakrývat neprodyšnou plachtou, postačí přístřešek tak, aby mohl vzduch proudit okolo balíků.

Pro ochranu slámy v již zabudované konstrukci mohou pomoci klasické zásady jako zvednutí první řady balíků nad úroveň terénu (cca 30 cm), správné provedení omítek a spodní hydroizolace. Přesah střechy je vhodný u balíků s venkovní hliněnou omítkou.

### Hořlavost

Stěny ze slaměných balíků byly po celém světě podrobeny mnoha testům

*Obr. 17 – Pětipodlažní budova v nizozemském Amsterdamu byla v krátkém čase sestavena z předem vyrobených panelů vyplněných balíky.*

požární odolnosti. Všechny výsledky potvrzují, že hořlavost není u slaměného balíku velkým problémem. Slaměný balík objemové hmotnosti  $90 \text{ kg/m}^3$  má dle rakouské normy ÖNORM B 3800 třídu hořlavosti B2 (materiál normálně hořlavý). Omítnutá stěna (2 cm omítky na rákosovém pletivu, vně hliněná, uvnitř vápenná) má podle této zkoušky požární odolnost  $F 90$ <sup>13</sup> (tzn. zachování si základních stavebních vlastností po dobu 90 minut). Tyto



výsledky byly později potvrzeny i v sousedním Německu. V balíku není dostatek vzduchu k okysličování hoření. A pokud omítkou vlivem jejího špatného provedení při požáru popraská,

což se jinak neděje, v okolí praskliny vznikne zuhelnatělá vrstva slámy, která brání dalšímu šíření ohně do stěny<sup>14</sup> Materiál se dá tedy použít pro izolování většiny jednopodlažních a dvoupodlažních budov. Z hlediska rizika vzniku požáru je nebezpečná pouze volná sláma, která je z balíků při stavbě vytroušena při její manipulaci.

### Balík a hlodavci

Neobsahuje-li sláma v balících žádné zrno, nejsou pro hlodavce balíky slámy žádný zajímavý cíl<sup>15</sup>. Tato „potrava“ by se jim totiž trávila velice nesnadně (ve skutečnosti vůbec). Pokud jsou balíky slisovány na správnou hustotu, už samotný pohyb v nich se dá označit za velmi nesnadný, jelikož se v něm díry díky pružnému chování postupně zacelují. Pokud je povrch balíku ještě omítnut hliněnou či vápennou omítkou nebo opláštěn deskovým materiálem, neměly by mít myši nebo jiní hlodavci sebemenší chuť tyto prostory navštěvovat. Potvrzují to i zkušenosti. Nedodržení konstrukčních opatření může u izolací obecně zapříčinit budoucí návštěvu různé zvířeny. Často se stává, že nedostatečná ochrana minerální izolace v střešních konstrukcích poskytuje domov kunám. Rovněž lákavá plocha kontaktního zateplení z polystyrenu může v určitých případech nabídnout útočiště klovajícím ptákům.

### Akustické vlastnosti

Dosavadní měření zvukově izolačních hodnot slámy vykazují výborné výsledky. Pokud je balík oboustranně omítnut, je její tlumící schopnost větší, než je tomu u stejně těžkých opláštěvaných prvků<sup>16</sup>. Balíky totiž vykazují určité pružení. Technická univerzita v Eidhovenu provedla podle ISO 140-3 test hodnot u slámové stěny (45cm) s 2,5 či 3,5 cm silnou neopracovanou hliněnou omítkou. Ta měla do frekvence 3000 Hz stejné vlastnosti jako 150 cm tlustá betonová stěna či stěna vápenopísková 150 cm tlustá<sup>17</sup>. Reálné zkušenosti dobré zvukově izolační vlastnosti těchto stěn velmi přesvědčivě dokazují. Obyvatelé i návštěvníci slaměných domů akustickou kvalitu jejich vnitřního prostředí okamžitě zaznamenají. V USA jsou ze slámy postaveny jak nahrávací studia, tak řada meditačních center. Ve velké míře jsou slaměné balíky využívány také pro stavby akustických clon silnic pro motorová vozidla a letiště.

### Únosnost

Bylo dokázáno, že stěna je schopna snést zatížení 1000 kg/m<sup>2</sup>. Jistý kalifornský předpis povoluje maximální vertikální zatížení na horním konci stěny cca 1950 kg/m<sup>2</sup><sup>18</sup>. Balíky snesou jistě větší zatížení, což dokazují i testy, které se provedly na popud arch. Wernera Schmidta<sup>19</sup>.

*Obr. 18 – Podle architekta Schmidta mají balíky únosnost min. 14 tun/m<sup>2</sup>.*



## OBJEKT 2

„Galerie Blanden“ s nenosnými stěnami z balíků slámy

Místo - Blanden, Belgie

Architekt - Herwig van Soom



Obr. 18 - Prosklená fasáda objektu s dřevěným obkladem a terasou, kterou kryje horní přesah střechy.



Obr. 19 - Boční pohled na venkovní hliněnou úpravu stěny.

Samotný objekt, určený k bydlení, má tvar kvádrů, jež je chráněn plochou střechou nesenou čtyřmi řadami sloupků po sedmi kusech. První tři řady sloupků pak vynášejí druhé podlaží a střešní terasu, umístěnou pod konstrukcí střechy. Stěny jsou izolovány slaměnými balíky, které jsou opatřeny z obou stran hliněnou omítkou. Vnitřní prostor je rozdělen na „denní úroveň“ (v přízemí) a „noční úroveň“ (v patře). Architekt, kterému dům patří, si jej navrhl a sám postavil.



Obr. 20 - Obytný prostor nad nímž se nachází klidová zóna.



Obr. 22 - Postupné zaskládání objektu slaměnými balíky a tedy vytvoření předsazené tepelně izolační stěny.



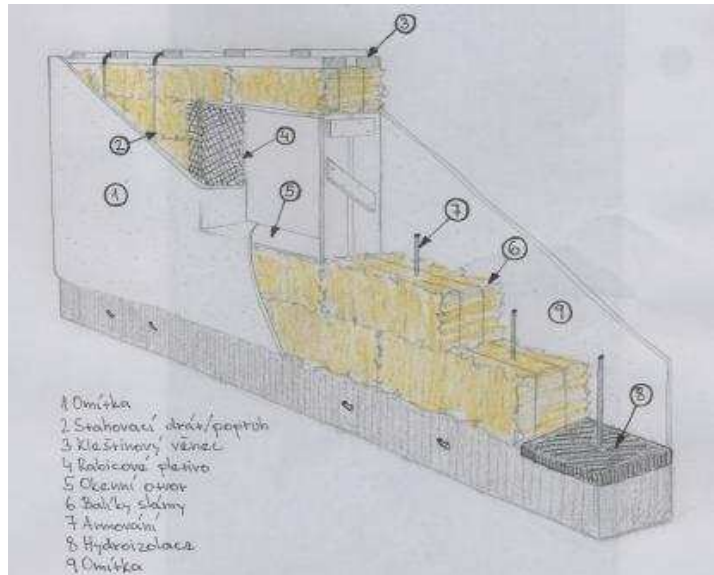
Obr. 21 - Vzdušný mezonetový prostor.

## Konstrukční systémy využívající slaměný balík

Konstrukční systémy se dají rozdělit na systémy s nosnými slaměnými balíky, systémy s balíky jako výplň skeletu, a v poslední době také na systém hybridní.

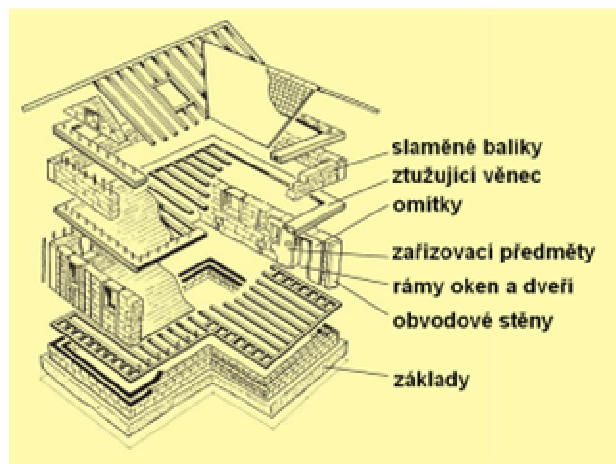
### Systém s nosnými balíky

U tohoto systému nesou tíhu střechy, popřípadě i stropu, samotné balíky<sup>20</sup>. Aby stěna působila jako celek, jsou balíky navzájem propíchnuty dřevěnými kolíky. Na poslední řadě balíků je umístěn dřevěný věnec, ten může být různé konstrukce. Stěna by měla být v konečné fázi napjatá, či přesněji předpjatá, proto je zde věnec, který je pomocí tažných prvků spojen se základy. Zkracováním tažených lan



Obr. 23 - Skladba stěny domu s nosnými balíky.

vneseme do stěny předpětí, které by mělo být tak velké, aby ani po zatížení stěny stropem a střechou nevymizelo<sup>21</sup>. Tak docílíme toho, že se zatížená stěna nebude pod nápořem střechy dále stlačovat. Stlačení stěny pomáhá konstrukci vypořádat se se vztlakem větru a také se zacelí mezery a díry mezi balíky, protože se balík začne rozpínat do stran. Stěna se tak nemusí ve velké míře pracně docpávat. To také zlepšuje tepelně izolační kvalitu stěny. Ukotvení stěny k základu se většinou provádí přímo upínacími popruhy vedenými po obou stranách stěny.



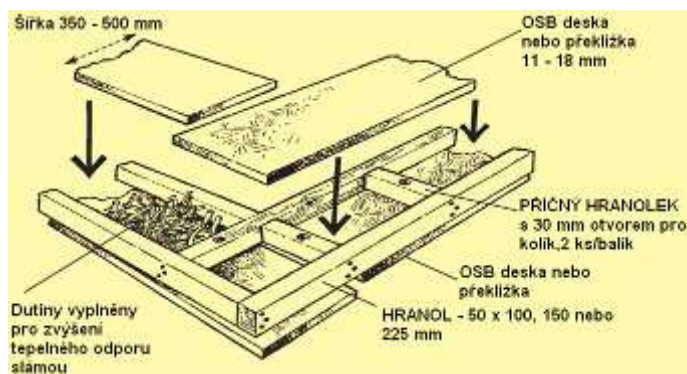
Obr. 24 - Skladba domu s nosnými balíky.

Další způsob jak se vypořádat se sedáním stěny je takový, že se na postavenou stěnu osadí věnec a na něho

rovnou konstrukce střechy nebo i stropu s doplňkovými vrstvami pro co nejvyšší zatížení stěny<sup>22</sup>. Po dostatečném zatížení stěny se musí zhruba 3 až 4 týdny posečkat, aby stěny mohly samovolně sednout. Poté se stěny omítnou a celá stavba se dokončuje. Na obrázku 24 je nastíněna skladba celého domu, na obrázku 25 je to věnec<sup>23</sup>.

Výhoda u nosného systému je v prvé řadě stránka ekonomická, neboť ve stěně nemusí být žádný jiný nosný prvek, a právě proto je také velice příznivá rychlost výstavby.

Určité komplikace představuje uchovávání slaměného balíku v suchu během výstavby. Tento systém má



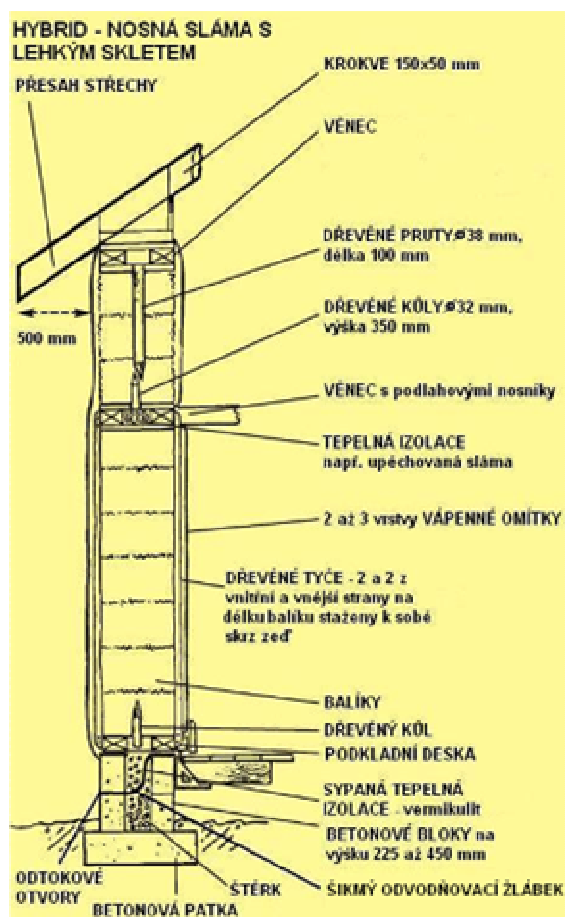
Obr. 25 - Skladba dřevěného věnce.

také určitá konstrukční omezení - např. plocha otvorů oken a dveří by podle zkušenosti neměla přesáhnout více než 50% plochy stěny, maximální délka zdi bez vyztužení je asi 6 metrů a maximální výška nosné stěny má být zhruba pětinasobek šířky stěny<sup>24</sup>. Bohužel v České republice ještě není nosný systém ze strany úřadů akceptován.

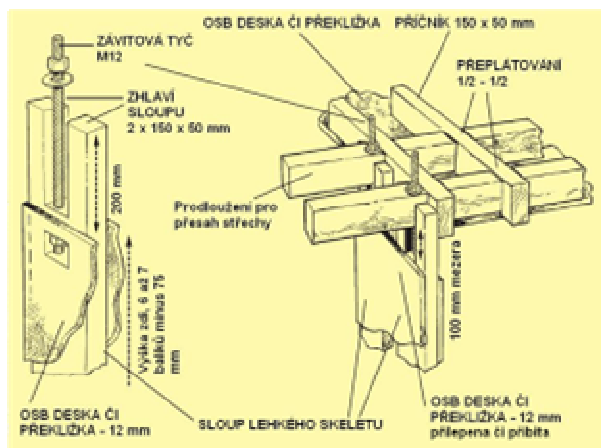
### Systém hybridní

U systému hybridního se nejprve postaví velmi subtilní skelet, který nese pouze konstrukci střechy s provizorní hydroizolací bez doplňkových vrstev. Zatímco je střecha podpírána, vyskládají se pod ní slaměné stěny domu. Poté se střecha spustí a zatíží zbylými vrstvami. Spuštění střechy, přesněji věnce, umožňuje speciální upravení zhlaví sloupků (obr. 27). Na přenosu zatížení do základů se tedy podílí jak slaměné balíky, tak sloupky. Sloupky se umísťují do všech rohů a po obou stranách všech otvorů.

Výhodné je, že nám již dříve vztyčená střecha s jakoukoliv, i dočasnou hydroizolací, chrání slaměné balíky při jejich skládání. Jelikož se dají užít subtilnější sloupky, přinese nám tento systém také značnou úsporu železa oproti systému skeletovému. Naopak je technicky náročnější zajištění stability konstrukce před vystavěním stěn.



Obr. 26 - Skladba stěny hybridní.



Obr. 27 - Úprava zhlaví sloupků kvůli možnosti spuštění věnce.



Obr. 28 – Vyplňování předem připravených mezer mezi dřevěným roštem ve střešní konstrukci.

### Modul balíku a jeho uplatnění

Základním pravidlem všech konstrukcí ze slaměných balíků je co nejvíce omezit půlení či dělení balíků! Toto se uplatňuje u všech tří konstrukčních systémů. Dělení balíku je docela pracné a časově náročné. U malých „slaměných kousků“ se také relativně snižuje jejich přesnost, oproti původnímu, docela přesnému tvaru kvádru. Je také jasné, že konstrukce stavěná z celých balíků bude růst rychleji.

V praxi to tedy znamená, že musíme hlavně u systémů nenosných připravit mezi sloupky mezeru, která bude přesně odpovídat našemu balíku. To lze vidět na obrázcích 28, 29 a 30. Mezera nemusí být připravena jenom pro jeden balík, pokud budou od sebe nosné sloupky vzdáleny více, můžou se mezi ně vejít dva, nebo i více balíků. Použití jediného balíku má však výhodu v tom, že je mezi sloupky



Obr. 29 – Princip skladby stěn s balíky se dá bez podstatné změny uplatnit také u vodorovných konstrukcí jako jsou podlahy.

nebo trámy pevněji rozepřen, lépe tak zachovává svoji polohu v konstrukci.

Také nesmíme zapomínat na to, že se velmi nesnadně pracuje se slaměnou izolací malé tloušťky (při rozdělení balíku na jednotlivé vrstvy). Tedy nemůžeme jenom tak přidat 5 nebo 10 cm slámy. Z důvodů výše zmíněných proto musíme pokud možno použít celý balík a zvolit jeho orientaci vůči konstrukci tak, aby nám vyhovoval sám o sobě.

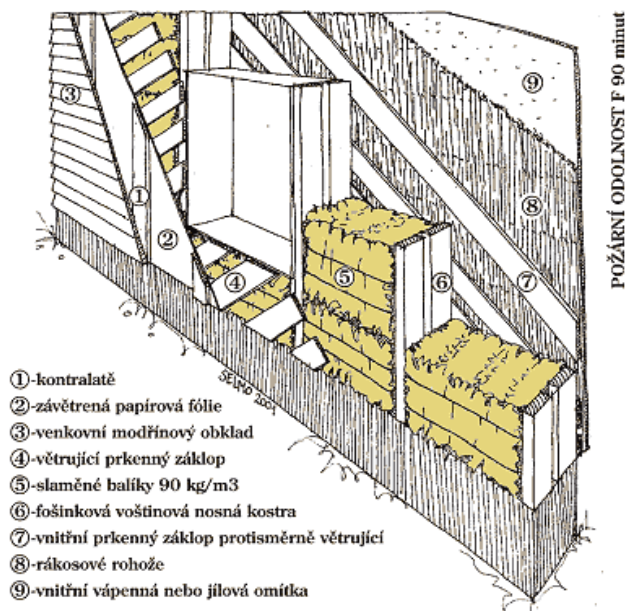
## System s nenosnými balíky

Zde nejsou balíky nosné. Mají tedy funkci pouze dělicí a tepelně izolační. Balík může nosnou konstrukci pouze vyplňovat nebo z nich může být opět vytvořena stěna před nebo za nosnou konstrukcí. Pokud tak tomu opravdu je, a balík není rozepřen mezi sloupky, je velmi důležité, aby byla „samostatná“ slaměná stěna vhodně a dostatečně ukotvena k hlavní nosné či jiné konstrukci. Plocha stěny ani žádná její část se pak nesmí deformovat a musí odolat vnějším vlivům,

povětšinou tlaku větru. Hlavní výhoda nenosného systému je, že skelet přebírá zatížení a balíkům se dostává značná prostorová variabilita použití. Některé tyto konstrukční systémy jsou však náročnější na pracnost a preciznost výstavby, zvláště pak pokud jsou balíky rozměrově nestejnorodé. Je to především u konstrukcí prováděných na staveništi, kde balíky tvoří právě samostatnou stěnu, která se pak mnohdy neseťně kotví k nosné konstrukci (obr.



*Obr. 31 – Představená stěna z balíků, které jsou ke sloupkům upevňovány provázky. Povrch balíků se následně opatří hliněnou omítkou.*



*Obr. 30 - Klasická skladba stěny s nenosnými balíky.*

31). Tyto skladby jsou také více náchylné na tvoření dutin a mezer mezi balíky, ty se poté musí docpávat. Je to způsobeno tím, že balíky nejsou dostatečně stlačeny, jak je tomu například tíhou střechy u nosného systému, dutina se tak nemá možnost uzavřít. Obecně pro omezení tvorby dutin a škvír mezi balíky musíme často napravovat rohy balíků, které vlivem výroby či přepravy dostaly zaoblený tvar.

Naopak u konstrukcí, kde slaměný balík vyplňuje mezeru mezi nosnými prvky, je instalace rychlá a docela snadná. Balík je rozepřen a tedy stlačen a tvorba dutin zde téměř nenastává (obr. 28 - 30). Můžou to být jak předem vyrobené (prefabrikované) stěnové dílce, tak samotné vyplňování mezer již na stavbě, například mezi dřevěné I sloupky a I nosníky.

## OBJEKT 3

**Pasivní dům „S-House“ s izolací z balíků slámy**

**Místo - Böheimkirchen, Rakousko 2005**

**Architekt - Hans W. Scheicher, Georg Scheicher**

Objekt je označován jako „dům budoucnosti“. Nadsazené označení si ale po právu zaslouží. Samotný dům totiž využívá přírodní materiály s velkým množstvím technických fines. Dům má za cíl představit funkčnost stavebních látek z přírodních surovin. Najdou se tu jak hliněné omítky, tak i jiné přírodní povrchové materiály s jejich ošetřující úpravou jako jsou laky, vosky a glazury.



Obr. 32 - Jižní prosklená stěna zachytávající zimní sluneční energii.



Obr. 33 – Vnitřní interiér.



Obr. 35 – Všechna prkna venkovního obkladu byly k podkladu připevňovány dřevěnými kolíky.



Obr. 34 – Dřevěné sloupky a nosné stěny tvořené dřevěnými panely.



Obr. 37 - Pokládání balíků a jejich vzájemné provázání kolíky.

Obr. 36 – Trny připravené pro kotvení slaměných balíků.



Obr. 38 - Strojní nanášení hliněné omítky na slaměný podklad.



[www.s-house.at](http://www.s-house.at)

## Tepelně technické parametry

Na tepelně izolační schopnosti slaměného balíku má největší vliv objemová hmotnost balíku (hustota), orientace stébel k tepelnému toku a samozřejmě vlhkost. Méně pak hraje roli druh slámy.

### Tepelná vodivost

Měření hodnot součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  u slaměných balíků se do jisté míry značně liší. Naměřené hodnoty se vyskytují po celém světě od zhruba 0,035 až po 0,09 W/(mK). Jak již bylo uvedeno, je to způsobeno především rozdílnou hustotou a orientací stébel a také podmínkami, za jakých bylo měřeno. Počet měření je po celém světě dosti velký, z toho důvodu je zde uvedeno pouze několik spolehlivých výsledků měření<sup>25</sup>. Pro srovnání, tepelná vodivost minerální vlny má být za „ideálních“ podmínek zhruba 0,040-0,045 W/(mK).

---

- ÚSTAV, ROK: **Výzkumný ústav Mnichov, 2003**

- ZÁKLADNÍ ÚDAJE: rozměr - cca 35 x 50 x 100 cm, suchý stav, průměrná teplota 10°C, balík otočen stébly kolmo k tepelnému toku, norma - DIN 52612, přírážka 20%

- HUSTOTA: 90 -110 kg/m<sup>3</sup>

- SOUČINTEL TEP. VODIVOSTI:  $\lambda = 0,0379$  W/(mK)

- SOUČINTEL TEP. VODIVOSTI (přírážka):  $\lambda_{10,\text{suchý}} = \mathbf{0,045}$  W/(mK)

- DOPLŇUJÍCÍ ÚDAJE: při zvýšení teploty na teplé straně na 44 °C a na chladné straně na 29,2 °C (prům. tep. = 36,8°C) se  $\lambda$  zhorší na 0,0419 W/(mK)

---

- ÚSTAV, ROK: **Německý institut pro stavební techniku v Berlíně, 2006**

- ZÁKLADNÍ ÚDAJE: rozměr - 28x35x48 cm (stébla kolmo k tepel. toku), 38x46x85 cm (stébla ve směru tep. toku), celková zkouška balíků ke stavebnímu povolení, suchý stav, norma - DIN EN 823:1994-11.;, DIN EN 822:1994-11.;, DIN EN 1604:1994-01.;, DIN EN 1604:1994-01.;, DIN EN 1602:1994-01.;, DIN EN 12667:2001-05: a jiné německé normy pro tepelnou izolaci

- HUSTOTA: 90-110 kg/m<sup>3</sup>

- SOUČINTEL TEP. VODIVOSTI:  $\lambda = \mathbf{0,052}$  W/(mK) - stébla kolmo k tepelnému toku  
 $\lambda = \mathbf{0,080}$  W/(mK) - stébla ve směru tepelného toku

---

- ÚSTAV, ROK: **MA 39 – VFA Pokusný a výzkumný ústav města Vídně, 2000**

- ZÁKLADNÍ ÚDAJE: suchý stav, průměrná teplota 10 °C, slámou vyplněné rošty rozměrů

500x500x100mm, norma - ÖNORM B6015-1

- HUSTOTA: 100,8 kg/m<sup>3</sup>

- SOUČINITEL TEP. VODIVOSTI: stř. tep. vzorků: 10,0 °C      19,5 °C      28,7 °C

$\Delta t$  na vnější a vnitřní straně:                      10,6 K      11,0 K      11,1 K

$\lambda$  [W/(mK)]:                                              **0,0380**      **0,0394**      **0,0408**

---

Dále také úřad MA 39 ve Vídni zjistil s normou ÖNORM B6015 při vyrovnané vlhkosti u slámy z pšenice o hustotě 73 kg/m<sup>3</sup> a 83,8 kg/m<sup>3</sup> hodnotu 0,369 W/mK a 0,0337 W/mK. S přírůžkou 20% se dostaví hodnota 0,0443 W/mK a 0,0404 W/mK<sup>26</sup>.

Pro tepelně technické výpočty je nejlepší volit návrhovou hodnotu  $\lambda$  ve směru tepelného toku kolmo na vlákna **ve výši 0,052 W/mK**, a to podle zjištění Německého institutu pro stavební techniku v Berlíně. Podmínkou je však kvalitní provedení stěny!

Tepelná vodivost balíku položeném tak, že jsou stébla orientována ve směru tepelného toku bude přirozeně trochu větší. Měření se pohybují od hodnoty 0,054 W/mK až do 0,090 W/mK. Proto dávat balík do konstrukce touto orientací vláken není moc výhodné.

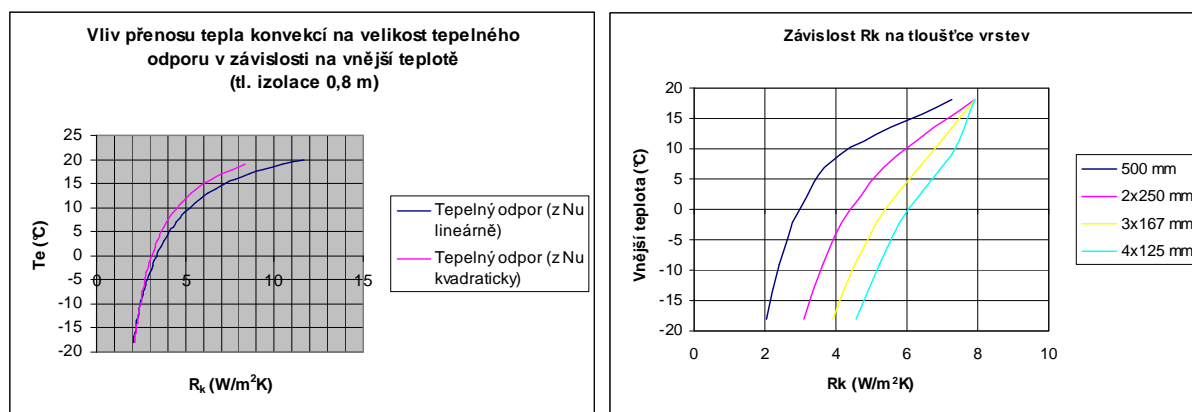
### Konvekce (proudění)

Bohužel všechny výše zmíněné a také většina ostatních výsledných hodnot neudávají tepelnou vodivost při větším rozdílu teplot. Ve skutečnosti, tedy v té nejhorší situaci v zimním období České republiky, není rozdíl teplot jenom 10 Kelvinů, ale až 35 Kelvinů!, tzn. venku v zimním období až -15°C a uvnitř většinou 20°C. Slaměné balíky, v takové formě v jaké se používají, mají totiž tu nepříjemnou vlastnost, že při tloušťce zhruba nad 15 cm začíná v materiálu při velkém teplotním rozdílu probíhat proudění a následná cirkulace vzduchu.

Toto se děje především ve svislých a šikmých konstrukcích. Je to způsobeno strukturou materiálu, který obsahuje příliš dlouhá vlákna. Prouděním se pak zvyšuje přenos tepla, a tak se snižuje celková izolační schopnost. Číselných podkladů k tomuto ději zatím není příliš mnoho. Je to zřejmě způsobeno jednak neochotou tyto děje měřit a také tím, že je navození tohoto stavu a dále jeho následné změření dosti obtížné. Dá se zde nastínit příklad, který uvádí RNDr. Jan Hollan<sup>27</sup>. Ten prezentuje, že u 80 cm tlusté vodorovné vrstvy nad vytápěným prostorem, můžeme dosáhnout hodnoty U kolem 0,06 W/m<sup>2</sup>K ( $\lambda = 0,048$  W/(mK)), pakliže je v polovině rozdělena lepenkou, papírem či difuzně otevřenou fólií. Naproti tomu, kdyby materiál rozdělen nebyl, byla by hodnota U mírně pod 0,2 W/m<sup>2</sup>K ( $\lambda = 0,15$  W/(mK)!).

U stejné svíslé stěny rozdělené vrstvou na polovic by měla být hodnota  $U$  pod  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $\lambda = 0,08 \text{ W/(mK)}$ ).

Náprava by měla spočívat v tom, že rozdělíme balík na více vrstev do maximálně 15 cm. A to materiálem, který byl už výše zmíněn. Další možností může také být přidání jemnozrnné frakce k tomu vhodného materiálu mezi samotné stébla balíku. Pak by měla mít sláma stejnou tepelnou vodivost jako u zjištění rakouských ústavů. Tyto úpravy však nejsou u pevně svázaného balíku z hlediska technologického moc výhodné. Proto se to většinou nedělá. Nutno však poznamenat, že zmíněné zvýšení tepelné vodivosti u tloušťky 80 cm vůbec nebude tak zásadní u balíků tloušťky 30 až 35 cm, které se nejčastěji používají. Proto jsou tepelně izolační vlastnosti tohoto materiálu téměř srovnatelné s ostatními vláknitými izolačními materiály. To potvrzuje i několik dosavadních měření Ing. Daniela Grmely, který na toto téma zpracovává disertační práci na VUT v Brně FAST<sup>28</sup>.



Graf. 1,2 - Vliv přenosu tepla konvekcí na tepelný odpor a závislost tepelného odporu na tloušťce vrstev.

### Slaměná izolace u nízkoenergetického a pasivního domu

Výše uvedené hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  u slaměného balíku jasně ukazují, že dosažení nízkoenergetického standardu domu je možné. U domu pasivního se izolační schopnosti samotné slámy pohybují na hraně (spíše jsou nevyhovující). Proto se také například k balíku, který má tloušťku například 25-35 cm a jeho vlákna jsou kolmo k tepelnému toku, přidává další izolace povětšinou vláknitého charakteru. Může to být jak minerální vata, tak dřevovláknitá, konopná nebo celulózová izolace s malým difuzním odporem. Skladba může vypadat tak, že se mezi dřevěný skelet tvořený I sloupky a nosníky vloží balíky, a konstrukce se zevnitř za deskovým opláštěním doplní o tenkou vrstvu vláknité tepelné izolace. Takto bychom měli dosáhnout hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  stěny okolo  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pro energeticky pasivní rodinný dům v ČR se u odborníků uvádí hraniční hodnota u stěn nejvýše  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$  a u střechy  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## OBJEKT 4

**Energeticky úsporný dům s nosnými balíky**  
**Místo - Dissentis, Švýcarsko 2001**  
**Architekt - Werner Schmidt**



Obr. 39 – Pohled na jižní prosklenou stěnu objektu.



Obr. 40 – Ze zadního pohledu na objekt je patrný velký sklon terénu.

Zde švýcarský architekt použil tzv. „Jumbo“ balíků, jež také přenáší samotnou tíhu stropu a střechy. Tloušťka stěny je pak až 1,25 metru. Aby stěny neubíraly příliš mnoho místa, je tvar domu co nejjednodušší a okenní otvory jsou soustředěny na jižní stranu. Konstrukci podlahy, která nekopíruje terén z důvodů příliš příkrého svahu, vynášejí železobetonové pilířky vetknuté do země.



Obr. 41 – Obytnou terasu a vnitřní prostory domu chrání přesah střechy spolu s textilní sluneční clonou.



Obr. 42 – Postupná výstavba stěn objektu.



Obr. 44 – Omítání slaměných stěn z obou stran vápenocementovou omítkou tloušťky 8 cm, ta by pak měla částečně přebírat zatížení.

Obr. 43 – Osazení věnce, na který se posléze položily dřevěné příhradové vazníky. Kvůli sesednutí stěny se muselo 4 týdny čekat, poté se samotná stěna dotáhla popruhy a mohlo se začít s omítáním stěn.



[www.atelierwernerschmidt.ch](http://www.atelierwernerschmidt.ch)

## Cena slaměných balíků a její srovnání s ostatními izolačními materiály

### Srovnání ekonomické

Slaměný balík je nejlevnější tepelnou izolací. Obvyklá cena balíku slámy klasického rozměru 35x50x60 cm je 10 Kč za kus. Ta však se vzrůstající poptávkou slaměného stavitelství roste a specializovaní zemědělci je již prodávají do 20 Kč za kus.

Izolace u stěnové konstrukce <sup>29</sup>	Součinitel prostupu tepla $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$				
	slaměný balík	polystyren	minerální vlna - dřevostavba	minerální vlna - zděný dům	foukaná celulóza
	stavební	EPS Bachl 70F	Airrock LD	Frontrock Max E	Tempelan
tloušťka [cm]	35	25	25	24	27
cena [Kč/m <sup>2</sup> ]	<b>67</b>	<b>215</b>	<b>350</b>	<b>850</b>	<b>265</b>

Tab. 3 – Srovnání cen slaměného balíku a ostatních konvenčních tepelných izolací při stejné izolační schopnosti.

Samotná cena materiálu není u slámy jediným hodnotícím kritériem. Musí se totiž brát v úvahu i stránka realizační. Některé slaměné konstrukční systémy jsou totiž náročnější na pracnost a preciznost výstavby a čas nad nimi strávený se pak musí projevit i po stránce finanční a může se někdy přiblížit i ceně konvenčních konstrukcí, pokud je stavba stavěna dodavatelskou firmou a ne svépomocí. Je to například u systémů nenosných prováděných na staveništi, kde jsou balíky rozměrově nestálé a tvoří samostatnou slaměnou stěnu, která se pak kotví k nosné konstrukci (obr. 45).



Obr. 45 – Nosná dřevěná konstrukce, ke které se balíky přivazují textilními pásky.

Pravým opakem by měly být ty systémy, kde slaměný balík vyplňuje mezeru mezi nosnými prvky (obr. 46). Jeho instalace je pak rychlá a docela snadná. Může to být jak prefabrikace, kdy je stěnový dílec předem vyroben a přivezen na stavbu již hotový nebo také samotné vyplňování mezer již na stavbě, například mezi I sloupky a I nosníky. Pokud je prostor pro balíky předem připraven, můžou být tyto systémy rychlejší a méně náročnější než konstrukce, kde se na sebe při větších tloušťkách pracně skládá několik vrstev konvenční izolace.



Obr. 46 – Pasování slaměných balíků do střešní konstrukce, mezeru je pro ně předem připravena.

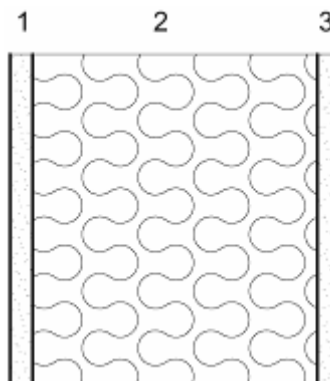
## Cenové srovnání konstrukčních systémů slaměných a konvenčních<sup>30</sup>:

Ceny materiálů jsou zahrnuty včetně DPH, není zde zahrnuta práce.

### Nosná slaměná stěna

1. vnitřní hliněná omítka (vnitřní strana vylehčena slámou) 40 mm
2. slaměný balík položený naplocho 500 mm
3. vnější hliněná omítka s vápenným líčkem (vnitřní strana omítky vylehčena slámou) 40 mm

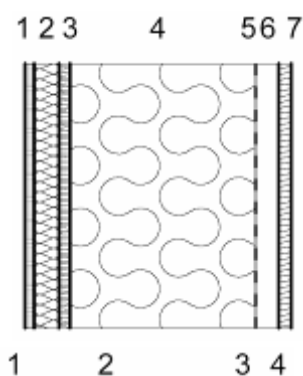
Ploušťka stěny 580 mm, součinitel prostupu tepla  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , plošná hmotnost cca  $140 \text{ kg/m}^2$ , cena konstrukce s využitím hrubé hliněné omítky z nakopávky nebo recyklátu cca  $230 \text{ Kč/m}^2$  a s kupovanou hliněnou omítkou cca  $645 \text{ Kč/m}^2$



### Dřevěný skelet vyplněný slaměnými balíky

1. sádkarton 15 mm
2. instalační rovina vyplněna dřevovláknitou izolací 40 mm
3. OSB deska 18mm
4. slaměný balík mezi dřevěnými I sloupky položený na výšku 300 mm
5. závětrná fólie
6. odvětrávaná mezera 40 mm
7. dřevěný obklad 20 mm

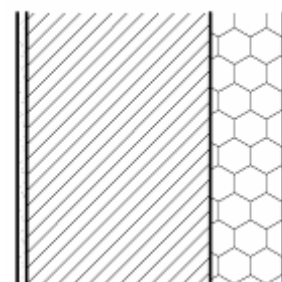
Ploušťka stěny 430 mm, součinitel prostupu tepla  $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ , plošná hmotnost cca  $85 \text{ kg/m}^2$ , cena konstrukce cca  $850 \text{ Kč/m}^2$



### Keramické tvarovky s kontaktním zateplením z polystyrenu

1. vnitřní vápenocementová omítka 15 mm
2. keramická tvarovka typu Therm 300 mm
3. polystyren EPS 120 mm
4. vnější tenkovrstvá vápenocementová omítka 5mm

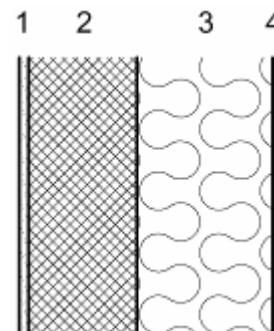
Ploušťka stěny 445 mm, součinitel prostupu tepla  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , plošná hmotnost cca  $210 \text{ kg/m}^2$ , cena konstrukce cca  $1460 \text{ Kč/m}^2$



### Vápenopískové zdivo s kontaktním zateplením z minerální vlny

1. vnitřní vápenocementová omítka 15 mm
2. vápenopísková cihla 175 mm
3. minerální vlna 220 mm
4. vnější tenkovrstvá vápenocementová omítka 5mm

Ploušťka stěny 415 mm, součinitel prostupu tepla  $U = 0,155 \text{ W/m}^2\text{K}$ , plošná hmotnost cca  $330 \text{ kg/m}^2$ , cena konstrukce cca  $1390 \text{ Kč/m}^2$



## Srovnání ekologické

Sláma je každoročně dorůstající surovinou. Pokud se povede slaměné balíky sehnat v blízkém okolí je energie vynaložená na jejich dopravu mnohem menší než u klasických materiálů. Slaměná izolace po jejím dosloužení nedělá potíže s odvozem a likvidací, jelikož se dá materiál v místě stavby bez potíží použít například do kompostu, k mulčování nebo také prostě spálit. Stěna z ní vytvořená se dá lehce rozebrat. Výroba balíku slámy vyžaduje přibližně  $14 \text{ MJ/m}^3$ ; u minerální vlny je to  $1077 \text{ MJ/m}^3$  (to je 77x více!)<sup>31</sup>. Minerální vlna je totiž roztavená hornina vyfoukaná do jemných vláken spojených formaldehydem, což je mimochodem karcinogenní látka. Také výroba polystyrenu po sobě zanechává toxické odpady. Jeho recyklace je v podobě dosloužilých zateplovacích systémů sice možná, ale materiál obdobných kvalit z něho po recyklaci už nikdy nedostaneme.

Obilí při svém růstu spotřebovává oxid uhličitý, proto je slaměná izolace oproti ostatním izolačním  $\text{CO}_2$  negativní materiál. Dá se odhadovat, že je v ČR nadprodukce tohoto materiálu okolo 6 mil. tun ročně a z toho 1,2 mil. tun na stavební účely.



*Obr. 47 – Rekonstrukce kamenné stodoly, do níž se zapustila krychle, tvořená slaměnou izolací sloužící k obytným účelům - Česká Republika 2008.*



*Obr. 48 – Bytové jednotky, které zastřešuje nosná slaměná klenba - Portugalsko 2007.*



*Obr. 49 – Slaměný pavilon El Faro postavený k příležitosti výstavy Expo 2008 - Španělsko.*



*Obr. 50 – Slaměný přístřešek pro účely vysoké školy v dánském Brenderup (2007).*

## OBJEKT 5

„Spiral House“ - dům s nosnými slaměnými stěnami

Místo - Castlebar, Co. Mayo, Irsko 2001

Projekt / Výstavba– Norita Clesham / Barbara Jones, organizace Amazon Nails



Obr. 51 – Venkovní povrch balíků je opatřen dvěma vrstvami hliněné omítky a poté třemi vrstvami omítky vápenné.



Obr. 52 – Střecha je pokryta ručně dělanými šindeli z cedrového dřeva. Všechny střešní krokve jsou nahore opřeny o komínové těleso.

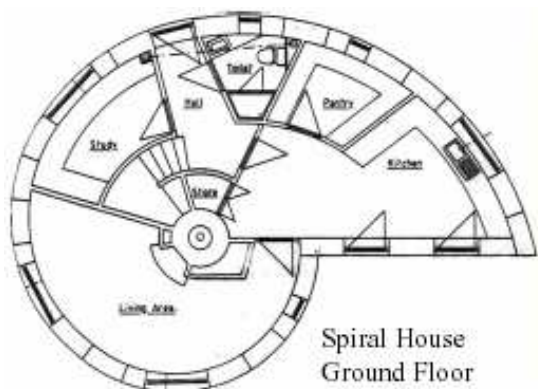
Tento dům je jedním z prvních úředně povolených slaměných domů s nosnými stěnami v Evropě a první dvoupodlažní budovou v Evropě povolenou vůbec<sup>32</sup>. Objekt byl stavěn dobrovolníky s podporou britské neziskové organizace Amazon Nails pod dohledem Barbary Jones. Díky výstavbě formou workshopu a nepřítomnosti dřevěných sloupků v konstrukci stěny byla celá stavba velmi levná. Půdorys stavby se nechal inspirovat ulitou loděnky Nautilus.



← → Obr. 53, 54 - Vnitřní prostory domu.



Obr. 55 - Půdorys domu a pohled na dům s ještě nedokončenou omítkou.

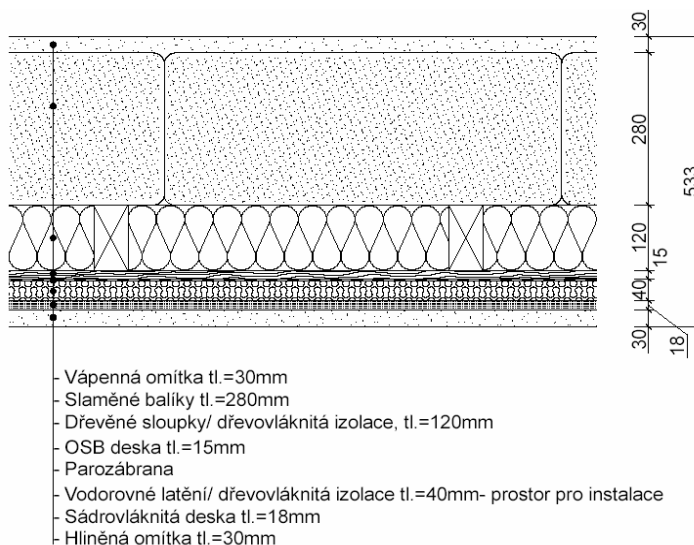


Spiral House  
Ground Floor



## Příklad skladby obvodové stěny energeticky pasivního domu s užitím slaměné izolace

Zde je nastíněn příklad pasivního domu s obvodovou stěnou s hlavní izolací ze slaměných balíků. Samotný dům je řešen jako bakalářská práce, pro niž byla vypracována i tato studie. Oproti původní skladbě se hlavní dřevovláknitá foukaná izolace nahradila slaměnými balíky, které jsou zvenčí opatřeny vápennou omítkou.



Samotné balíky jsou připevněny pomocí textilních provázků skobami k dřevěným sloupkům. Provedení této skladby je oproti variantě, kde se vkládají balíky mezi dřevěné I sloupky nebo variantě s nosnými stěnami trochu náročnější.

Název úlohy: **Obvodová stěna – Kuchyně + jídelna**

Typ hodnocené konstrukce: Stěna  
Korekce součinitele prostupu dU: 0.010 W/m<sup>2</sup>K

### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Hliněná omítka	0.0500	0.9100	1000.0	1770.0	10.0	0.0000
2	Fermacell	0.0180	0.3200	1000.0	1250.0	13.0	0.0000
3	Dřevovl. d. – měkká	0.0400	0.0500	1380.0	50.0	5.0	0.0000
4	Jutafof N 140	0.0003	0.3900	1700.0	560.0	70000.0	0.0000
5	OSB deska	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
6	Dřevovl. d. – měkká	0.1200	0.0500	1380.0	50.0	5.0	0.0000
7	Slaměná izolace	0.2600	0.0520	2000.0	100.0	5.0	0.0000
8	Váp. omítka	0.0500	0.8700	840.0	1600.0	10.0	0.0000

### Okrajové podmínky výpočtu:

Teplotní odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi:	0.13 m <sup>2</sup> K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi:	0.25 m <sup>2</sup> K/W
Teplotní odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse:	0.04 m <sup>2</sup> K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse:	0.04 m <sup>2</sup> K/W

Návrhová venkovní teplota Te:	-15.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai:	20.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe:	84.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi:	55.0 %

### Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce R :	7.55 m <sup>2</sup> K/W
<b>Součinitel prostupu tepla konstrukce U :</b>	<b>0.12 W/m<sup>2</sup>K</b>
Difuzní odpor konstrukce ZpT:	1.1E+0011 m/s
Teplotní útlum konstrukce Ny:	905.5
Fázový posun teplotního kmitu Psi:	19.4 h

Jak již bylo řečeno, hraniční hodnota součinitele prostupu tepla u stěn pasivního domu je nejvýše U = 0,12 W/m<sup>2</sup>K. Tato skladba má hodnotu U rovných 0,12 W/m<sup>2</sup>K, tedy vyhovuje.

## OBJEKT 6

Nízkoenergetický „Dům pro dva“  
Místo – Šebetov, Česká republika 2008  
Architekt - Mojmír Hudec

Cílem architekta u tohoto malého bungalovu bylo s co největším množstvím přírodního materiálu a nejjednoduššími technickými prvky dosáhnout energeticky pasivního domu. Konstrukci tvoří dřevěné rámy z I nosníků. V objektu je užitá větrací jednotka s rekuperací tepla. I přesto, že kvůli mírně horším tepelně izolačním schopnostem slaměné obálky domu by měl být přerazen do kategorie domů nízkoenergetických, potřeba energie na vytápění je tak malá, že zde žádného jiného zdroje kromě třech přímotopných těles není potřeba. Uvádí se, že úspora oproti variantě s běžnou a také dražší izolací byla 150 tisíc Kč.



Obr. 57 - Dřevěná rámová konstrukce je rozmístěna v takové vzdálenosti, aby se mezi ně mohly balíky pohodlně napasovat.



← ↓ → Obr. 58, 59, 60 - Instalace slaměných balíků mezi dřevěné rámy. Tato varianta je z hlediska časové náročnosti a potřeby pracovní síly velice výhodná, zaizolování celého domku trvalo dvěma lidem necelé dva dny.



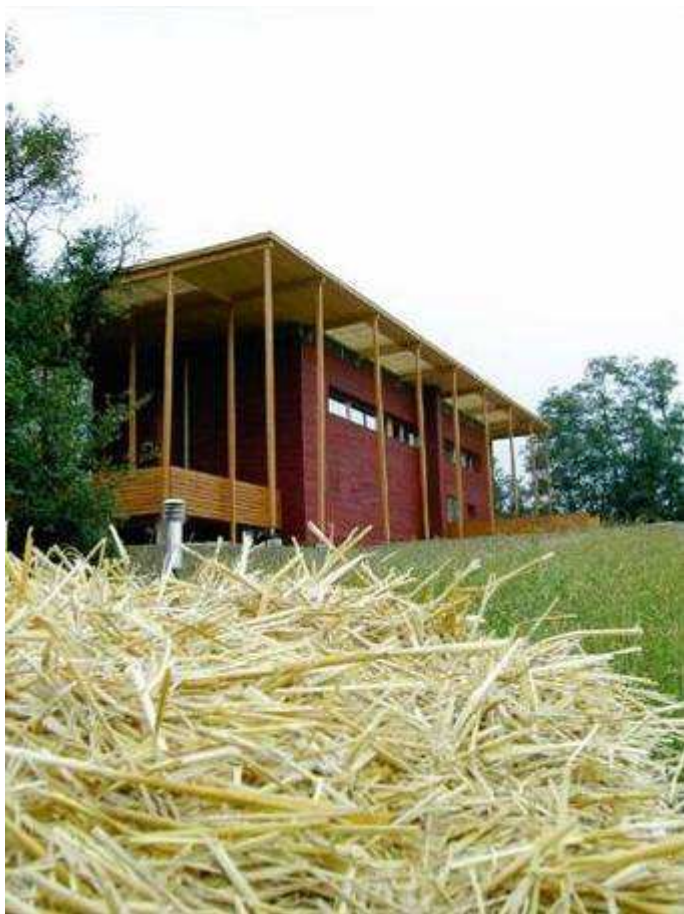
Obr. 61 - Obkládání venkovních stěn modřínovými prkny

Obr. 56 – Z útrobu teplovzdušného kolektoru umístěného mezi okny odvádí ventilátor sluncem ohřátý vzduch do vnitřní dvojité přičky z vápenopískových cihel.



## Zhodnocení slaměného balíku pro stavbu domu

Sláma ve formě lisovaného balíku má výborné tepelně izolační vlastnosti. Dá se říci, že je to poměrně odolný materiál co do průběhu výstavby, jelikož snese i mírně hrubější zacházení oproti klasickým měkkým izolacím. Je to nejlevnější tepelná izolace a materiál pro výstavbu stěn. Je to materiál hygienicky nezávadný a neobsahuje žádné jedovaté příměsy, které se přidávají do některých izolačních materiálů. Když se balík opatří omítkou nebo nehořlavým deskovým materiálem jako sádkartonové nebo sádrovláknité desky, požární odolnost této konstrukce je z hlediska požadavků protipožární ochrany vyhovující. Výroba balíku nezatěžuje životní prostředí velkou energetickou potřebou a neprodukuje žádné toxické odpady jako vedlejší produkty. Po dožití stavby se může snadno zkompostovat nebo využít pro jiné účely, aniž by to výrazně zatěžovalo přírodu nebo lidi. Kdo může to stejné říci o současném „pokrokovém“ kontaktním zateplení, které je složeno ze směsi polystyrenu a cementu?



Do dalších let se také uvažuje se směsí slámy a celulózy jako novodobé přírodní izolace. Na stěně postavené ze slaměných balíků jde docílit různých povrchových úprav jak na vnitřní, tak na vnější straně

stěny. Stavění se slaměnými balíky se nijak principiálně neodlišuje od jiných systémů. Jako každý materiál má své specifické vlastnosti, které lze využít ve svůj prospěch.

Jsou tu také i nepříjemná fakta. Samozřejmě všechno se odvíjí od toho, zda nám bude schopen někdo balíky zajistit a dále s nimi vhodně naložit při samotné výstavbě domu. Zemědělců, kteří by byly schopni stavební balíky v kvalitní formě poskytnout by mohlo být určitě víc. Přitom čím je balík přesnější, tím je konstrukce z něj vytvořená samozřejmě kvalitnější. V současnosti se tato situace zlepšuje, ale stále obstarání dodávky balíků potřebuje značnou zainteresovanost stavebníka.

Do této doby se v České republice stavby s využitím slámy stavěly spíše svépomocí než by je dodávaly stavební firmy. Pro výstavbu bez svépomocných sil se velmi hodí konstrukční řešení domu představeném jako OBJEKT 6.

Na závěr si dovolím na následující straně představit dům či spíše domek, který je už velkým pokrokem ve slaměném stavitelství. Uplatňuje se u něho totiž velký díl prefabrikace, tedy určitý stupeň předvýroby domu mimo staveniště.



*Obr. 62 – Fotografie předváděcího objektu, který je složen z předem vyrobených slaměných panelů.*

## OBJEKT 7

„Balehaus“ - předváděcí dům postavený v areálu univerzity Bath

Místo - Bath, Anglie 2009

Projekt – Projekční tým Modcell



Obr. 63 – Bílé plochy značí omítnuté balíky, zbytek konstrukce je opatřen dřevěným obkladem.

Dům, který je sestaven z prefabrikovaných slaměných dílců. Ty mají firemní označení „Modcell“, jejich výroba se odehrává v Anglii. Slaměné balíky jsou při výrobě napasovány mezi dřevěný rám, který zároveň přenáší zatížení. Panely jsou na povrchu balíků opatřeny vápennou omítkou.



Obr. 65 – V interiéru se uplatňuje pouze dřevo a vápenná omítka.



Obr. 64 – Obvyklý rozměr panelu je 1, 2 nebo 3x3,2 metrů, tloušťka je 0,49 metrů. Panely jsou k dostání také v konopné variantě.



Obr. 66 – Schodiště, vnitřní stěny spodního patra a také všechny stropy jsou tvořeny dřevěnými nosnými panely.



← → Obr. 67,68 – Výstavba domu za pomoci jeřábu.



[www.modcell.co.uk](http://www.modcell.co.uk)

## Poznámky:

- 
- <sup>1</sup> Informace k úvodní kapitole jsou čerpány z knihy Gernota Minkeho a Friedemanna Mählkeho *Stavby ze slámy*. Ostrava: HEL 2009, s. 10-15
- <sup>2</sup> RIJVEN, T.: *Between earth and straw*, Athée: Goutte de Sable 2008, s. 6.
- <sup>3</sup> Nejpodrobnější regule jsou v Kalifornii a v Arizoně - California Straw-Bale-Code, Arizona Straw-Bale-Code
- <sup>4</sup> Samotný dům je v této práci představen jako OBJEKT 5 na straně 23
- <sup>5</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, Ostrava: HEL, 2009, s. 83.
- <sup>6</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 16.
- <sup>7</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 16.
- <sup>8</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 16.
- <sup>9</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 17.
- <sup>10</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 27.
- <sup>11</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 8.
- <sup>12</sup> GRMELA, D.: *Doktorský seminář I. Využití slaměných balíků ve stavebních konstrukcích*, Brno: VUT v Brně FAST, 2008, s. 5.
- <sup>13</sup> GRMELA, D.: *Doktorský seminář I. Využití slaměných balíků ve stavebních konstrukcích*, Brno: VUT v Brně FAST, 2008, s. 6.
- <sup>14</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 36.
- <sup>15</sup> GRMELA, D.: *Doktorský seminář I. Využití slaměných balíků ve stavebních konstrukcích*, Brno: VUT v Brně FAST, 2008, s. 6.
- <sup>16</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 37.
- <sup>17</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 37.
- <sup>18</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 21.
- <sup>19</sup> Představení výsledků zkoušky na přednášce tohoto architekta u příležitosti konference „Zdravé domy 2009“
- <sup>20</sup> Zástupcem nosného systému je v této práci OBJEKT 4 a OBJEKT 5
- <sup>21</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 20.
- <sup>22</sup> Tuto techniku upřednostňuje architekt Werner Schmidt, kterého v této práci zastupuje OBJEKT 4
- <sup>23</sup> Obrázky použity a přeloženy Ing. Danem Grmelou z knihy organizace Amazon Nails *Information guide to straw bale building*. Todmorden: Amazon Nails 2001
- <sup>24</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 19.
- <sup>25</sup> Níže uvedené údaje jsou pro stručnost vypsány spíše zkratkovitě, pro podrobnější informace o průběhu měření si je nutno prostudovat samostatně
- <sup>26</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 29.
- <sup>27</sup> HOLLAN, J.: *Přírodní materiály jako tepelná izolace: sláma a nejen ta*, Brno: Ekologický institut Veronica, 2007
- <sup>28</sup> Grafy použity z práce GRMELA, D.: *Doktorský seminář III.*, Brno: VUT v Brně FAST, 2009, s. 6.
- <sup>29</sup> Ceny jsou uvedeny bez DPH a bez aplikace. Jednotlivé výrobky jsou voleny v nejnižší cenové kategorii. Dané tepelné izolační parametry jsou dosazovány od výrobců, tedy za ideálních podmínek.
- <sup>30</sup> Ceny jsou uvedeny včetně DPH, v ceně konstrukce jsou zahrnuty všechny potřebné materiály pro její vytvoření. Není zde zahrnuta práce.
- <sup>31</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 6.
- <sup>32</sup> MINKE, G., MAHLKE, F.: *Stavby ze slámy*, c. d., s. 92.