

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

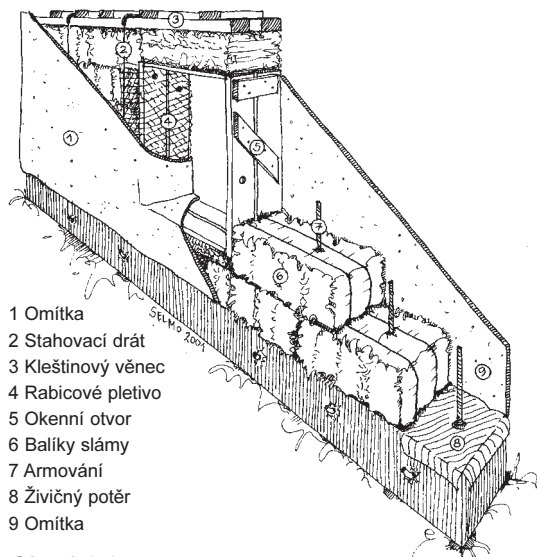
Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz

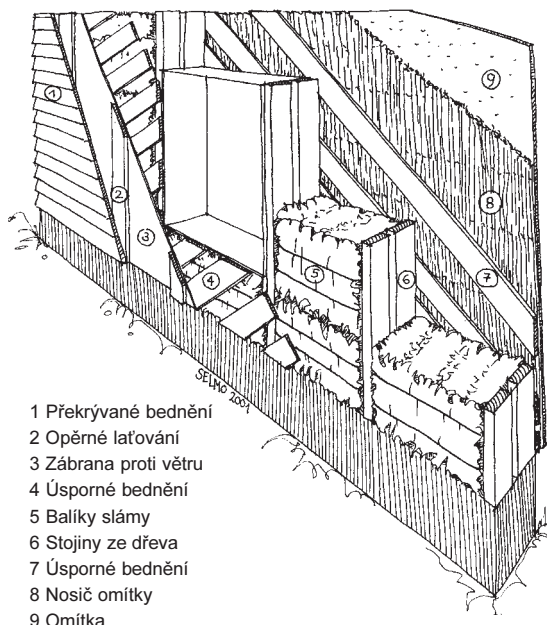


4 Stěnové konstrukce z balíků slámy

4.1 Úvod: konstrukční systémy



Obr. 4.1-1
Stavění nosných stěn z balíků slámy (GrAT 2002)



Obr. 4.1-2
Stavění nenosných stěn z balíků slámy
(GrAT 2002)

U stěn z balíků slámy existují dva zásadně odlišné konstrukční systémy: nosná stěna z balíků slámy, kdy se tíha střechy přenáší přes balíky slámy přímo do základů (obr. 4.1-1), a skeletová konstrukce, zpravidla ze dřeva, vyplněná slámovými balíky nebo opatřená vysunutým pláštěm ze slámových balíků (obr. 4.1-2). Stavění nosných slámových stěn bylo v literatuře často uváděno jako „technika z Nebrasky“, neboť vzniklo na konci 19. století v USA ve státě Nebraska. V angličtině se dnes většinou označuje výrazem „loadbearing“.

U skeletové konstrukce (anglicky „non loadbearing“ nebo „in-fill bale walls“) přebírá skelet ze dřeva, oceli nebo železobetonu přenos střešního zatížení a stabilizaci stěn, samotné balíky slámy neplní žádnou statickou funkci, mají však funkci tepelné izolace.

V roce 1982 vyvinul kanadský architekt *Louis Gagné* nosný stěnový systém („mortared-bale matrix system“), který je v literatuře označován také jako „technika Gagné“. U této techniky se balíky slámy kladou přes sebe jako cihly a s cementovou maltou vytvářejí spáry do kříže, takže vzniká jakýsi skelet z vertikálních a horizontálních maltových spár, který zcela nebo částečně plní statickou funkci (obr. 4.1-3). Jde tudíž o hybridní systém, protože balíky slámy mají částečně nosnou funkci, částečně působí pouze jako výplň. Kvůli tepelným mostům vznikajícím při této technologii stavění se v chladnějších klimatických zónách tento způsob konstrukce nemohl prosadit. Proto ani v této publikaci nebude blíže rozebírán.

Další varianty konstrukcí nosných stěn z balíků slámy představují systémy vyvinuté v Severní Americe, tzv. „Pailloblock System“, „Baleblock System“ a „Bioblock“; u těchto systémů se vysokým tlakem a nanášením malty vyrábějí ostře hranaté stavební dílce ze slámy, které se pak kladou s maltou nebo bez ní (Ladinsky, Bergeron 2000). Kvůli tepelným mostům, vytvářejícím se při této technologii, nepří-

padají ani tyto systémy pro stavění v severní a střední Evropě v úvahu.

Další možností využití slámových balíků pro konstrukce stěn je dodatečné obkládání stávajících stěn. Slámové balíky přitom vytvářejí vnější vysunutou tepelněizolační vrstvu.

U historických staveb se také často setkáváme s odlišnými konstrukčními systémy v jedné budově, což ovšem často vede k problémům, neboť nosné a nenosné stěnové konstrukce vykazují odlišné chování při sedání staveb i odlišnou flexibilitu.

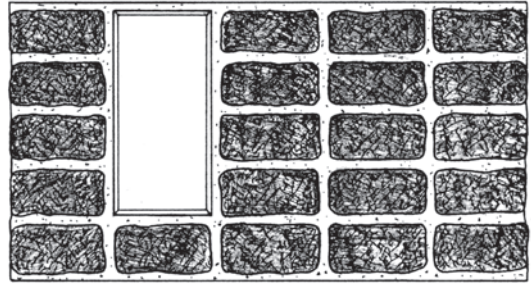
4.2 Nosné stěny z balíků slámy

Stěny z navrstvených slámových balíků, přenášející tíhu střechy do základů bez přídavných podpěr, nás fascinují jednoduchostí konstrukce a s ní spojenou krátkou dobou stavění, ale také nízkými stavebními náklady. Proto se stavění nosných stěn spolu s vývojem lisů na slámové balíky v USA na konci 19. století rychle začalo šířit (viz kap. 2.1).

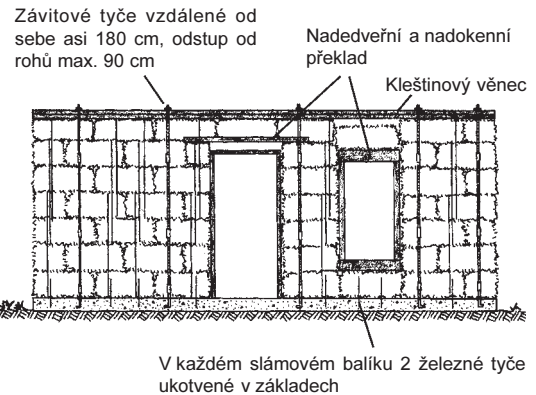
I v dnešní době jsou tyto výhody časových a nákladových úspor prokazatelné. Problematikou záležitostí pro realizaci je ale zejména v Německu postup při schvalování stavebních povolení, zvláště když zde dosud nebyla postavena žádná slaměná stavba se samonosnými stěnami, kterou by povolily úřady pro stavební dozor. Jiné podmínky mají ale ve Švýcarsku a v Rakousku. Tam již byly touto technologií stavění realizovány úředně schválené jednopodlažní i dvoupodlažní budovy (viz kap. 14.2).

Projektová omezení vyplývají z toho, že by stěny měly být v poměru k jejich šířce jen asi pětkrát vyšší, a proto z malých balíků připadá v úvahu pouze stavba jednopodlažních budov. (Dvoupodlažní objekty s nosnými stěnami byly postaveny z obrovských balíků). Podrobnější omezení, případně projektová kritéria jsou uvedena v kap. 7.1.

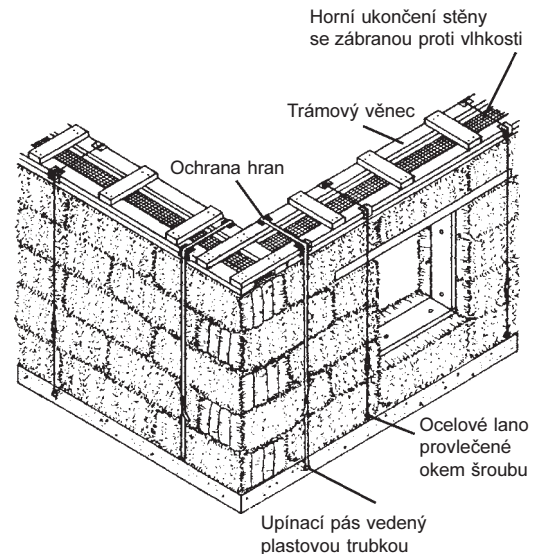
U nosných stěn je důležité, aby balíky slámy byly relativně silně slisovány a aby stěna byla předpjatá. To znamená, že nahoře musí být ukončena trámovým věncem, který musí



Obr. 4.1-3
Systém Gagné (Steen et al. 1994)



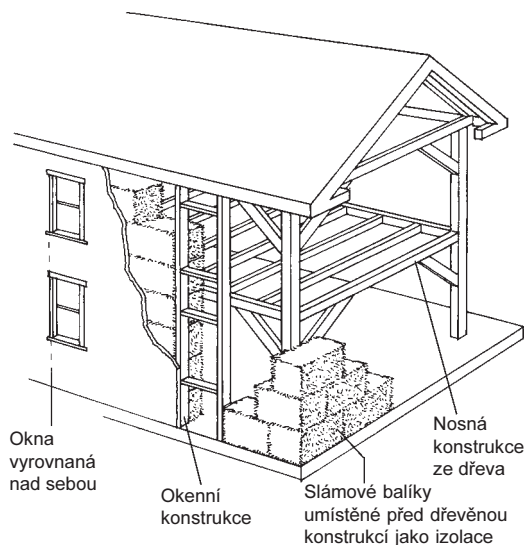
Obr. 4.2-1
Nosná stěna z balíků slámy s vnitřním ukotvením pomocí závitových tyčí (Steen et al. 1994)



Obr. 4.2-2
Nosná stěna z balíků slámy s vnějším ukotvením pomocí pásů (Steen et al. 1994)

být pomocí tažných prvků spojen se základy. Zkracováním tažných prvků vzniká ve stěně tlakové předpětí, které by v ideálním případě mělo být tak vysoké, aby zcela nevytizelo ani při zatížení stěny střechou. To tedy znamená, že se balíky slámy pod její tíhou již dále nestlačují. Ukotvení stěny k základům může být provedeno pomocí závitových tyčí vedených středem balíků, nebo upínacích pásů umístěných na vnější a vnitřní straně vytvořené stěny (obr. 4.2-1, obr. 4.2-2). Při ukotvení pomocí centrálně vedených závitových tyčí se balíky musejí na tyče „navléci“, což je časově náročné a vyžaduje rozdělení tyčí na více dílů. Proto se tato technika dnes sotva ještě používá. Jednodušší je ukotvení pomocí pásů. Přitom je nutno brát v úvahu, že rovnoměrné předpětí se dá stěžít kontrolovat a že pásy mohou případně vadit při úpravě povrchových ploch.

Firmy *Fibre House Ltd.* z Kanady a *Huff'n Puff Constructions* z Austrálie vyvinuly systém pro rovnoměrné předpětí, kdy se nad trámový věnec instaluje vzduchotěsně potažená textilní hadice o průměru 20 až 30 cm, která



Obr. 4.3-1
Skeletové struktury s vysunutou plochou ze slámových balíků (Lacinski, Bergeron 2000)

při naplnění stlačeným vzduchem stlačí stěnu přibližně až o 15 cm. Tento systém se nicméně neosvědčil, protože náklady na jeho použití jsou relativně vysoké.

Zkoumání nosných stěn s cementovou omítkou potvrdilo, že cementová omítka pomáhá odvádět zatížení (Lacinski, Bergeron 2000).

4.3 Nenosné stěny z balíků slámy

U nenosných slámových stěn neplní balíky slámy žádnou nosnou funkci. Tu přebírá skeletová konstrukce, která se skládá zpravidla z dřevěných profilů (obr. 4.3-1). Slámové balíky přitom přebírají funkci tepelné izolace a obvykle také ukončují stěny. Bývají uspořádány buď jako výplň mezi stojinami skeletového systému, nebo jako průběžná plocha před nebo za skeletovou konstrukcí. Na obr. 4.3-2 je znázorněno pět různých možností uspořádání.

V každém případě musejí být slámové balíky spojeny se skeletovou konstrukcí. Pokud nejsou ukotveny k základům, případně k pozednici, je nutné je mezi sebou propojit přídatnými prostředky, aby se docílilo dostatečné nepoddajnosti slámových balíků v roli plochy, která má čelit horizontálně se objevujícím zátlžím, způsobeným kupříkladu větrem (bliže v kap. 7.2).



Obr. 4.3-2
Různé polohy slámových balíků a skeletových struktur

4.4 Vysunutý plášť ze slámových balíků jako tepelná izolace

U starých staveb se špatnou tepelnou izolací může dodatečná instalace vnější uzavřené tepelnéizolační vrstvy ze slámových balíků představovat levné a energeticky úsporné řešení. Přitom musejí být balíky slámy pevně spojeny se stávající stěnou, nebo je musí přidržovat vysunutá dřevěná sloupková konstrukce. Druhá varianta má tu výhodu, že může zároveň posloužit jako přichycení pro zezadu provětrávané vnější opláštění.

V tomto případě však může hrozit nebezpečí šíření požáru přes fasádu. I když zde neplatí žádné zvláštní předpisy, je nutno doporučit, aby se na vnější straně slámového pláště nanasla první vrstva omítky, která se dobře vyhladí, a to do té míry, aby případně vyčnívající konečky slámových stébel byly do ní zatlačeny a tak již nepředstavovaly nebezpečí pro vznik požáru.

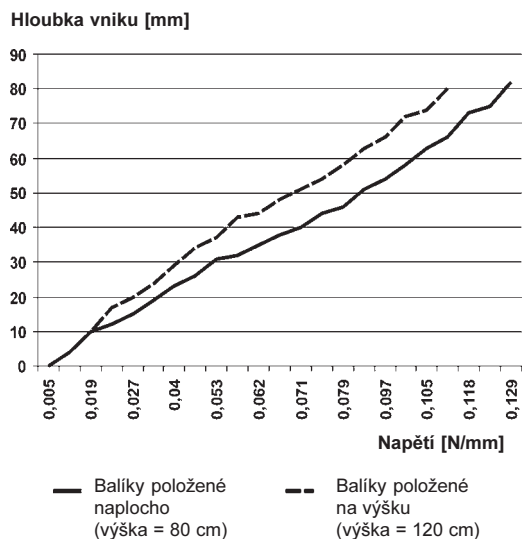
Nevýhodou tohoto řešení je však skutečnost, že vlivem takto vzniklého zvětšení tloušťky stěn narůstají konstrukční náklady. Musí se rozšířit základy, nebo si toto řešení vyžaduje u základů odpovídající konzolové nosníky, které by přebíraly zátěž vrstvy z balíků slámy. Kromě toho tak vznikají hluboká okenní ostění a zpravidla je třeba zvětšit i přesah střechy.

4.5 Statické a dynamické aspekty

To, že stěny z balíků slámy mohou snést střešní zatížení ve výši 500 kg na metr délky stěny (což odpovídá 1000 kg/m²), bylo demonstrováno na pokusné stavbě popsané v kap. 10. Kalifornský předpis „Strawbale Code“ povoluje maximální vertikální zatížení na horním konci stěny ve výši 400 liber/stopu² = 1953 kg/m² (King 1996, str. 142 a další).

Stěny z balíků slámy mohou zcela určitě odolávat ještě větším silám, jestliže jsou náležitě stabilizovány proti vyboulení. K tomuto účelu slouží horizontální a vertikální stabilizační prvky a rovněž předpětí stěny pomocí závitových tyčí nebo upínacích pásů (viz kap. 9.9, případně kap. 9.10). Nepředpjeté stěny z balíků slámy se mohou při horizontálním zatížení vlivem nárazů větru, mechanických úderů nebo zemětřesení snadno vyboulet, zejména tehdy, když sousedící balíky nejsou navzájem propojeny pomocí tyčí, prutů a podobně.

U staticky zatížených slámových stěn je třeba věnovat pozornost stlačení slámových balíků. To je tím větší, čím méně jsou samotné balíky při jejich výrobě slisovány a čím větší je zatížení. Úřední zkušebna stavebních materiálů na Vysoké škole technické v Trieru měřila deformace na velkých balících o rozměrech



Obr. 4.5-1
Deformace balíků slámy při zatížení (grafické zpracování dat ze zkušebního osvědčení, Nr. M/Tr 504/01, Amtliche Prüfstelle für Baustoffe FH Trier)

80 × 120 × 250 cm při specifické hmotnosti asi 130 kg/m³ (viz obr. 4.5-1). Z měření vyplývá, že se u naplocho ležících balíků při zatížení 2000 kg/m² (20 kN/m²) projevilo stlačení jen 1,25 % a že se při zatížení silou 7100 kg/m² (71 kN/m²) dosahuje stlačení 5 %. To znamená, že stlačení narůstá přibližně proporcionálně s rostoucím zatížením. Deformace balíků je velmi elastická. Po odlehčení nabývají balíky téměř svou původní formu, což potvrdily testy v USA. Modul pružnosti kolísá podle Kinga (1996) okolo 150 lbspsi (liber na čtvereční palec, 1 lbspsi = 5,69 kPa).

Na základě své duktility, své schopnosti elasticky měnit svůj tvar, jsou stěny z balíků slámy relativně bezpečné vůči zemětřesení; změnou svého tvaru pohlcují kinetickou energii otřesů půdy.

4.6 Posouzení a porovnání jednotlivých systémů ve zkratce

- *Nosné stěnové konstrukce z balíků slámy* jsou značně ekonomičtější než nenosné.
- Dají se podstatně rychleji postavit a vyžadují menší projektové náklady a menší řemeslnické schopnosti při realizaci.
- Představují původní způsob stavění ze slámy.

Problém tohoto způsobu stavění slámových stěn spočívá v tom, že v Německu a v některých jiných zemích ještě není po stavebně právní stránce povolen, ačkoliv se již více než sto let osvědčuje v USA a mezitím byl také použit v Dánsku, Francii, Velké Británii, Holandsku,

Irsku, Rakousku a Švýcarsku u budov schválených podle stavebně právních předpisů. Navíc nebyly předloženy žádné důkazy, které by svědčily proti stabilitě, odolnosti vůči požáru či trvanlivosti těchto konstrukcí.

Varianty konstrukcí nosných stěn realizované v USA a v Kanadě, u nichž se styčné a ložné spáry vyplňují cementovou maltou (viz kap. 4.3), jsou kvůli tepelným mostům vznikajícím při tomto způsobu stavění pro klima v severní a střední Evropě nepoužitelné.

U *nenosných stěnových konstrukcí*, kdy balíky slámy vytvářejí jen tepelněizolační obal, případně výplň, existuje na jedné straně výhoda levné a zvláště dobré tepelné izolace, na druhé straně se vyskytují nevýhody, spojené se zvýšenými náklady na širší základy stavby, na zvětšený přesah střechy a širší dveřní a okenní ostění.

Otázku, zda je možné si takto realizovaný „slaměný dům“ pořídit ekonomicky výhodněji než dům s konvenční izolací, však nelze s konečnou platností zodpovědět kladně, protože to závisí na projektu, organizaci staveniště a mnoha jiných faktorech.

Jednoznačně kladně tu však vyznívá ekologické hledisko, neboť sláma je stavební hmota, která při svém vzniku nevnáší do životního prostředí CO₂ nebo jiné škodlivé látky, nýbrž naopak CO₂ ze vzduchu chemicky váže. Výhodné je i to, že balíky slámy jsou levné a že jejich dovoz se může odehrát svépomocí. Tímto způsobem je zpravidla možné ušetřit stavební náklady.

Dům tepelně izolovaný pomocí balíků slámy může dosáhnout „standardu pasivního domu“ (viz kap. 6.3).

5 Konstrukce střech a podlah z balíků slámy

5.1 Izolace střechy

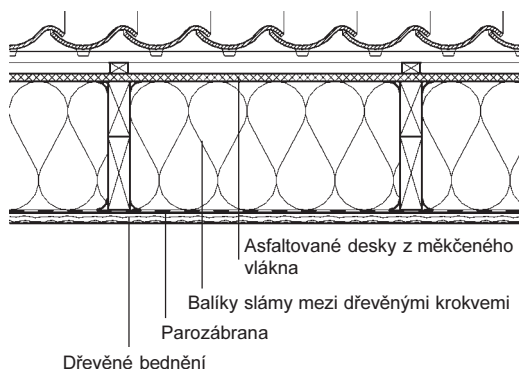
Izolace střechy pomocí slámových balíků je zpravidla jen tehdy ekonomicky výhodná, je-li již při projektování stavby dostatečně zohledněna. Pokud výška krokví odpovídá výšce balíků (asi 35 cm) a odstup krokví jejich délce, pak je montáž velmi jednoduchá. U této stavby odpovídá součinitel prostupu tepla $U = 0,14$ až $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ standardu nízkoenergetického ekologického domu.

Jak je znázorněno na obr. 5.1-1, upevní se na spodní straně krokví bednění a na ně se položí parozábrana, kupříkladu polyetylenová fólie (fólie PE). Ta slouží současně jako „ochrana proti rozsypávání“, to znamená, že brání tomu, aby se slámová drť trousila ven spárami bednění. Jestliže je bednění z desek OSB a styky desek se parotěsně přelepí, pak se parozábrana nemusí použít, protože desky OSB se vyznačují vysokou hodnotou činitele difuzního odporu (obr. 5.1-2)

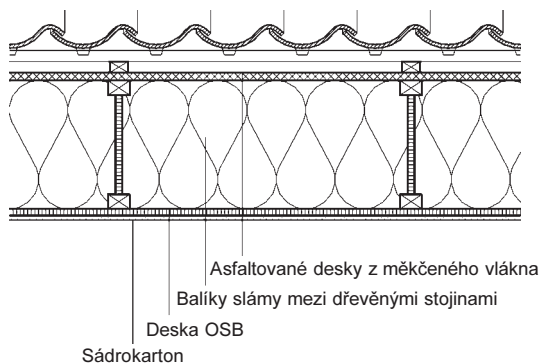
Aby se vytvořilo bednění, které by bylo ohnivzdorné a dosahovalo hodnoty požární odolnosti ve výši F30, je nutno navíc na vnitřní straně položit 12,5 mm silnou sádrovláknitou nebo sádrokartonovou desku.

Nižší a tím i hospodárnější výšky krokví je možné uplatnit tehdy, když se balíky slámy instalují nad nimi (viz obr. 5.1-3). Krokve mohou být v tomto případě také překryty bedněním na pero a drážku s parotěsnou zábranou či deskami OSB.

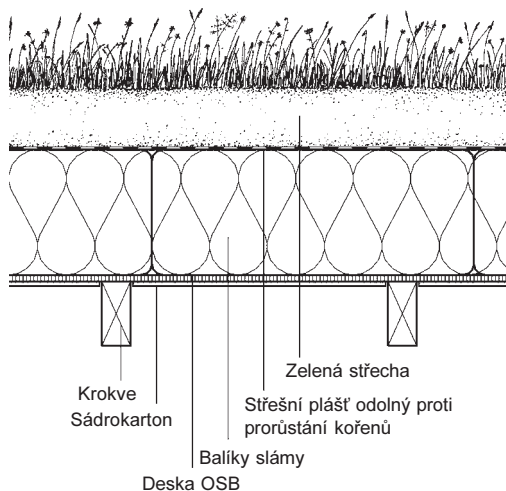
Jestliže slámové balíky leží nad skeletem střechy, pak ovšem vzniká problém s upevněním střešního pláště, který musí odolávat nepřízní počasí a být zajištěn proti zvednutí vlivem podtlaku větru. U šikmých střech k tomu



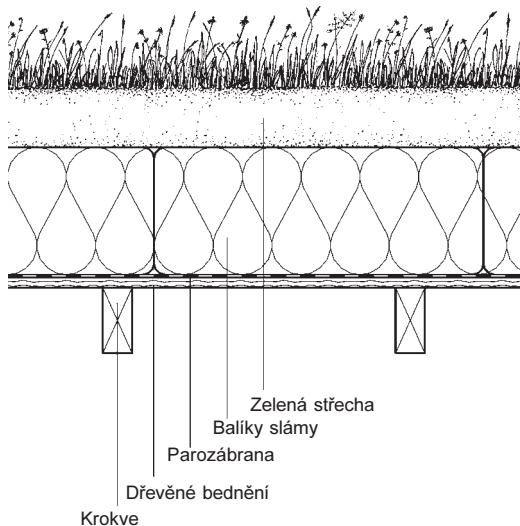
Obr. 5.1-1
Konstrukce střechy s balíky slámy mezi krokve-
mi, bednění s parozábranou



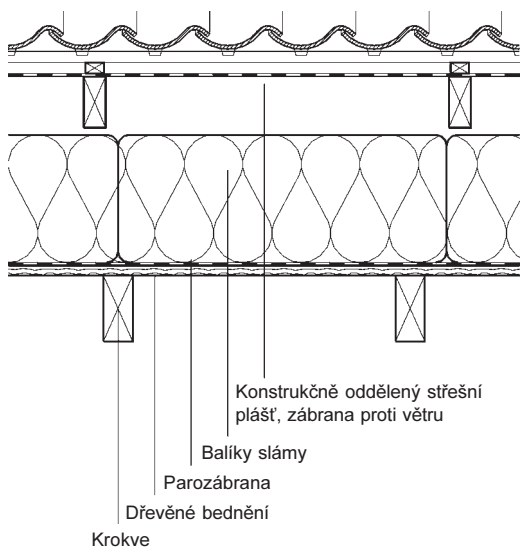
Obr. 5.1-2
Konstrukce střechy s balíky slámy mezi krokve-
mi, desky OSB jako parozábrana



Obr. 5.1-3
Konstrukce střechy s balíky slámy nad krokve-
mi, zelená střecha



Obr. 5.1-4
Konstrukce střechy realizovaná jako zelená střecha bez střešního pláště



Obr. 5.1-5
Konstrukčně oddělená vrstva balíků slámy

přistupuje i skutečnost, že balíky mají tendenci klouzat dolů, takže nahoře u hřebene střechy se může objevit štěrbina. Proto se balíky musejí při instalaci pevně stlačit k sobě.

Zatímco je u výše uváděného provedení střechy při obvyklém zastřešení taškovou, plechovou nebo asfaltovou krytinou nezbytná pevná podkladní konstrukce, u zelených střech s dostatečně silnou vrstvou substrátu to není nutné (obr. 5.1-3). Vodotěsný a kořenům odolávající střešní plášť může být v tomto případě položen přímo na slámové balíky. (Bližší informace o stavbě zelených střech viz G. Minke: Zelené střechy, HEL Ostrava, 2001)

Myslitelné je i takové řešení, kdy zelená střecha spočívá přímo na balících slámy, tzn. bez substrátové vrstvy (obr. 5.1-4). Tento způsob střešní konstrukce představuje velmi levné řešení. Protože se však zemina dotýká slámových balíků, může v nich sláma nasávat vlhkost a časem podléhat hnilobnému procesu. Ten sice může trvat léta, nicméně tepelněizolační efekt se v důsledku provlhčení a hnitě silně redukuje. Toto řešení proto přichází v úvahu nanejvýš u dočasných staveb.

Další řešení spočívá v tom, že spodní nosná konstrukce nese jen balíky slámy a teprve nad ní se nachází vlastní střešní skelet, který je konstrukčně oddělen od spodní vrstvy a odvádí zatížení větrem a sněhem (obr. 5.1-5).

U všech konstrukčních řešení je výhodné, je-li vrstva slámových balíků odvětrávána, aby se tak umožnilo vysychání případné zbytkové vlhkosti balíků nebo kondenzační vody vznikající nedostatečnou parozábranou.

5.2 Podlahy

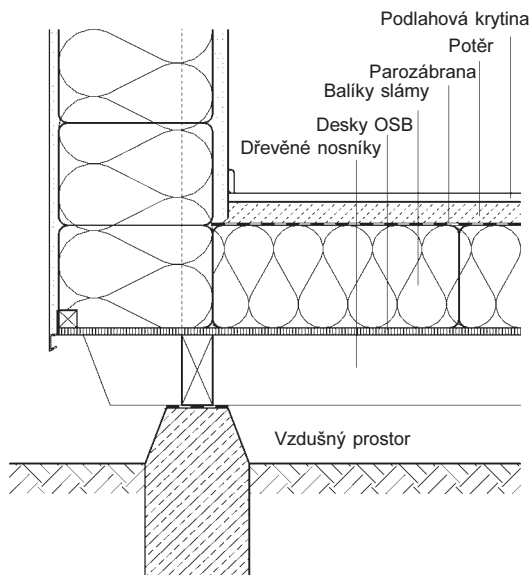
Ve slaměných stavbách v Evropě se vedle konvenčních podlažních konstrukcí mnohokrát realizovaly také podlahy tepelně izolované pomocí slámy.

Při použití balíků slámy v podlahách se musí bezpodmínečně dávat pozor na to, aby se do nich nemohla dostávat z půdy žádná vlhkost a aby byly balíky při instalaci dokonale suché. Dále je důležité, aby byla nad balíky umístěna uzavřená parozábrana, která by v balících znemožňovala tvorbu kondenzační vody.

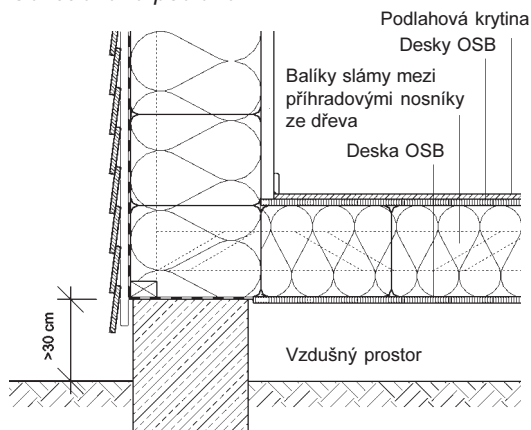
Bezpečnou metodou, jak se vyhnout škodám způsobeným zdola pronikající vlhkostí, je instalace podlahy na nosnících, přičemž prostor pod balíky má být provětráván (obr. 5.2-1 a obr. 5.2-2).

Pravděpodobně nejlevnější řešení bylo zvoleno u pokusné stavby popsané v kap. 10. V tomto případě byla na rostlý terén uložena asi 10 cm silná vrstva štěrku, ta pak byla překryta asi 3 cm silnou vrstvou písku a nad touto vrstvou byla položena polyetylenová fólie jako zábrana proti vlhkosti. Vrstva opotřebovaných dřevěných palet posloužila pak jako odvětrávaná nosná kostra pro slámové balíky. Desky OSB o tloušťce 24 mm byly položeny jako plovoucí podlahy bez dřevěných polštářů přímo na balíky slámy, přičemž styky desek byly sešroubovány asi 25 cm širokými pásy z desek OSB.

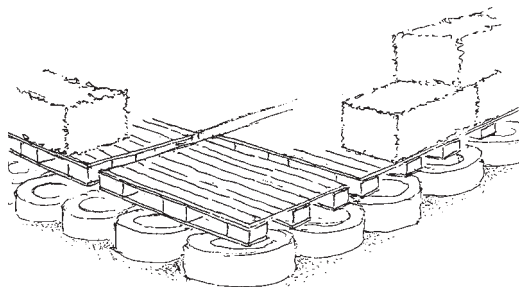
Na obr. 5.2-3 je zobrazena podobně levná a pro svépomocnou stavbu vhodná konstrukce podlahy, u níž balíky slámy určené pro tepelnou izolaci spočívají na paletách, které zase leží na opotřebovaných pneumatikách, aby se zabránilo pronikání vlhkosti z půdy a vytvořily se podmínky pro spodní odvětrávání. V tomto případě je možné upustit od horizontální zábrany proti vlhkosti pod pneumatikami.



Obr. 5.2-1
Odvětrávaná podlaha



Obr. 5.2-2
Odvětrávaná podlaha



Obr. 5.2-3
Levná konstrukce podlahy s paletami a vyřazenými pneumatikami

5.3 Dodatečná instalace tepelné izolace

5.3.1 Izolace střechy

Dodatečná izolace střech pomocí balíků slámy je relativně nákladná. Přitom existují tři možná řešení:

Vnitřní izolace

U vnitřní izolace se balíky slámy připevní zdola ke stávající střešní konstrukci. Musejí být zpravidla chráněny parozábranou před tvorbou kondenzační vody.

Vnější izolace, zdvojení střešní konstrukce

Mají-li balíky slámy sloužit jako vnější tepelná izolace, musí se nejprve sejmout krytina a zdvojit střešní konstrukce v souladu s tloušťkou balíků, která se pohybuje kolem 35 cm (obr. 5.1-1).

Vnější izolace, plovoucí konstrukce

U střechy, která je kryta zelení (zelená střecha), může zdvojení střešní konstrukce i odstranění starého těsnění střechy případně odpadnout, a to za předpokladu, že stavba zelené střechy odpovídá všeobecným předpisům; zejména je třeba zabránit nežádoucímu pozvednutí střechy vlivem podtlaku větru. Pokud byl starý střešní plášť vytvořen z asfaltových pásů nebo nějaké jiné parotěsné střešní krytiny, pak odpadá i instalace parozábrany pod střešním pláštěm.

U všech tří řešení je nutno dávat pozor na to, aby u napojení na stěny nevznikaly žádné tepelné mosty ani prostupy pro vodní páru.

5.3.2 Izolace podlahy

U dodatečné izolace podlahy pomocí slámových balíků je třeba dbát na to, aby do balíků nemohla pronikat žádná vlhkost, a to ani zdola, ani shora.

Nevýhodou tohoto opatření je ztráta výšky prostoru a hlavně ta skutečnost, že se nelze vyhnout zvýšení profilů dveří. Kromě toho se musí pro podlahu vytvořit pevná podkladní konstrukce. Ta se může samonosně (v nepodepřeném stavu) napnout od stěny ke stěně, nebo „plovoucím způsobem“ položit na balíky slámy.