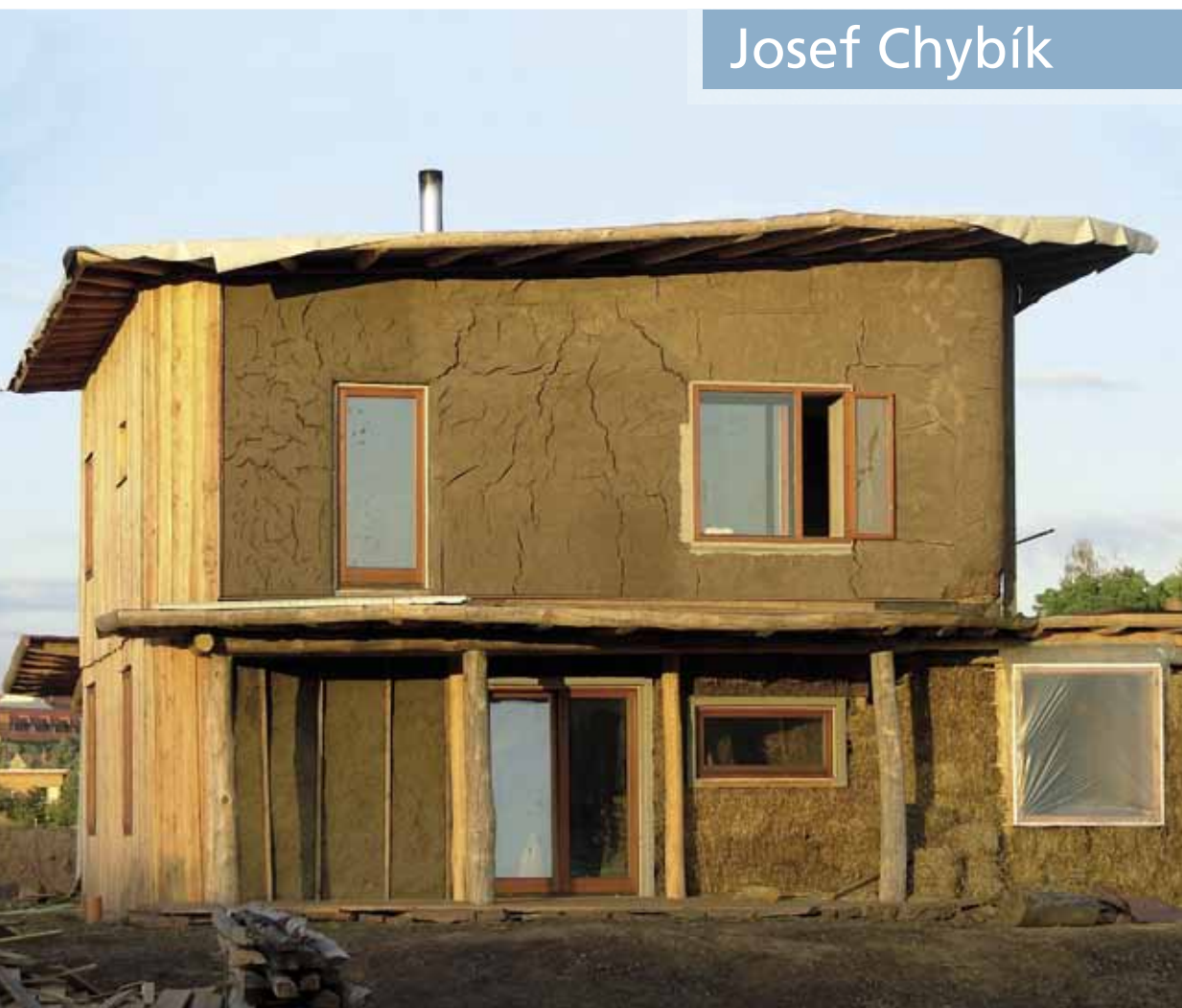


edice stavitel

# PŘÍRODNÍ STAVEBNÍ MATERIÁLY

Josef Chybík







# PŘÍRODNÍ STAVEBNÍ MATERIÁLY

---

Josef Chybík

Grada Publishing 2009

---

*Knihu věnuji svým učitelům.*

## **PŘÍRODNÍ STAVEBNÍ MATERIÁLY**

**Josef Chybík**

---

### **TIRÁŽ TIŠTĚNÉ PUBLIKACE**

Vydala Grada Publishing, a.s.  
U Průhonu 22, Praha 7  
obchod@grada.cz, www.grada.cz  
tel.: +420 220 386 401, fax: +420 220 386 400  
jako svou 3771. publikaci  
Odpovědná redaktorka Jitka Hrubá  
Grafická úprava a sazba Eva Hradiláková  
Foto na obálce RIGI, stavební společnost, s.r.o.  
Počet stran 272  
První vydání, Praha 2009  
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,  
Husova ulice 1881, Havlíčkův Brod  
© Grada Publishing, a.s., 2009  
Cover Design © Eva Hradiláková, 2009

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami  
nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.*

ISBN 978-80-247-2532-1

---

### **ELEKTRONICKÁ PUBLIKACE**

ISBN 978-80-247-9114-2 (ve formátu pdf)

---

# Obsah

<b>Předmluva</b> .....	9
<b>Úvod</b> .....	11
<b>1 Teoretický základ tepelných dějů, akustiky a požární ochrany stavebních konstrukcí</b> .....	14
1.1 Základní pojmy a veličiny užívané ve stavební tepelné technice .....	14
1.2 Základní pojmy a veličiny užívané ve stavební akustice .....	18
1.3 Základní pojmy v požární ochraně budov .....	19
<b>2 Energetická bilance stavebních materiálů</b> .....	21
<b>3 Přírodní materiály jako obnovitelné zdroje energie</b> .....	30
3.1 Sláma jako energetická surovina .....	32
<b>4 Dříve používané přírodní materiály</b> .....	35
4.1 Desky z dřevěné vlny a cementu .....	35
4.2 Dřevotřískové desky .....	35
4.3 Dřevovláknité desky .....	36
4.4 Desky Likus .....	36
4.5 Kůrovinové desky .....	36
4.6 Desky Empa .....	36
4.7 Desky z pazdeří .....	36
4.8 Lisované desky Solomit .....	37
<b>5 Hlína</b> .....	38
5.1 Historické kořeny stavitelství z nepálené hlíny .....	38
5.2 Vlastnosti hlíny a výrobků z hlíny .....	41
5.3 Stabilizace hlíny .....	44
5.4 Zjišťování vlastností nepáleného materiálu .....	45
5.5 Přednosti nepálené hlíny .....	48
5.6 Nedostatky nepálené hlíny .....	51
5.7 Suroviny .....	55
5.8 Technologie zpracování hlíny .....	58
5.9 Tradiční nepálené kusové stavivo .....	59
5.10 Novodobé kusové stavivo z nepálené hlíny .....	62
5.11 Války .....	66
5.12 Hlína dusaná do bednění .....	67
5.13 Vrstvená nebo také nakládaná hlína, zvaná též lepenice .....	73
5.14 Hloubené konstrukce .....	73
5.15 Hlínoslaměné konstrukce v kombinaci se dřevem .....	74

5.16	Omazávky, mazanice .....	74
5.17	Mazaniny .....	75
5.18	Malty na zdění .....	76
5.19	Přilnavostní – základní nátěry .....	77
5.20	Hrubé omítky .....	77
5.21	Jemná hliněná omítka .....	80
5.22	Příklad použití hlíny v rodinném domě v Čelákovících .....	87
5.23	Výrobky z jemné hlíny a jílu .....	90
<b>6</b>	<b>Výrobky z dřevní hmoty .....</b>	<b>95</b>
6.1	Vlastnosti dřevovláknitých desek .....	96
6.2	Použití dřevovláknitých desek .....	99
<b>7</b>	<b>Korek .....</b>	<b>111</b>
7.1	Vlastnosti korku .....	112
7.2	Zpracování korku .....	113
7.3	Použití korku .....	114
<b>8</b>	<b>Ovčí vlna .....</b>	<b>116</b>
8.1	Vlastnosti ovčí vlny .....	116
8.2	Úprava ovčí vlny .....	116
8.3	Zabudování ovčí vlny .....	117
8.4	Stavební tepelná izolace z ovčí vlny .....	119
8.5	Difuzně otevřený systém Diffuwall® .....	122
<b>9</b>	<b>Konopí .....</b>	<b>125</b>
9.1	Legislativa k pěstování konopí v ČR .....	126
9.2	Konopí ve stavebnictví .....	126
9.3	Bilance CO <sub>2</sub> .....	128
9.4	Tepelně izolační materiály z konopí .....	128
9.5	Konopný podlahový systém .....	132
9.6	Stavba stěny z konopného pazdeří .....	132
9.7	Konopné pazdeří pro lehčenou maltu a izolační vrstvy .....	133
9.8	Drť z konopného pazdeří .....	134
9.9	Konstrukce vnějších stěn s izolacemi z konopí .....	134
9.10	Konstrukce šikmých střech s izolacemi z konopí .....	137
9.11	Příčky s izolacemi z konopí .....	138
9.12	Stropy s izolacemi z konopí .....	140
9.13	Konopné izolace Canabest .....	140
<b>10</b>	<b>Len .....</b>	<b>143</b>
10.1	Zpracování lnu .....	143
10.2	Vlastnosti výrobků ze lnu .....	144
10.3	Skladování a manipulace s materiálem .....	145

10.4	Zabudování materiálu .....	145
10.5	Použití izolace ze lnu .....	146
<b>11</b>	<b>Materiály z dovozu .....</b>	<b>149</b>
11.1	Bavlna .....	150
11.2	Juta .....	150
11.3	Kokos .....	153
11.4	Bambus .....	155
<b>12</b>	<b>Rákos .....</b>	<b>161</b>
12.1	Rákos jako nosič omítek .....	162
12.2	Rákosové desky .....	162
12.3	Střešní krytina z rákosu .....	163
12.4	ZOO Jihlava – chýše z přírodních materiálů .....	169
<b>13</b>	<b>Sláma jako stavební materiál .....</b>	<b>173</b>
13.1	Historie .....	174
13.2	Vliv použití slámy na životní prostředí .....	176
13.3	Vlastnosti slámy .....	177
13.4	Biotičtí škůdci .....	187
13.5	Slaměný balík .....	188
13.6	Konstrukční řešení s využitím slámy .....	190
13.7	Podlaha se slámou .....	205
13.8	Omítky použitelné na slaměnou konstrukci .....	207
13.9	Sláma jako tepelná izolace plochých střešů .....	213
13.10	Sláma jako tepelná izolace šikmých střešů .....	215
13.11	Instalace v konstrukcích ze slámy .....	217
13.12	Nenosné panely z lisované slámy – ekopanely .....	218
13.13	Nosné panely z lisované slámy .....	222
13.14	Příklady domů s použitím slaměných prvků .....	225
13.15	Sláma jako střešní krytina .....	242
<b>14</b>	<b>Přírodní materiály k úpravě povrchů .....</b>	<b>245</b>
14.1	Výrobky na ochranu dřeva .....	245
14.2	Povrchové úpravy na omítky a zdivo .....	252
14.3	Povrchová úprava antikorozi kovářskou barvou .....	257
	<b>Závěr .....</b>	<b>259</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>260</b>
	<b>Rejstříky .....</b>	<b>263</b>

**Děkuji všem, kteří jakkoliv přispěli při práci na rukopisu.**

Podklady a informace poskytli nebo byli pomocníky při zpracování:

Jan Bareš, Ekopanely CZ, s.r.o. Jedousov; Leoš Boček, FA VUT Brno; Aleš Brotánek, Rožmitál pod Třemšínem; Jaromíra Císařová, Korek Jelínek spol. s r.o. Rychnov u Jablonce nad Nisou; Pavel Deržmíšek, FA VUT Brno; Yvona Gaylliová, Ekologický institut Veronica Brno; Dagmar Glosová, FA VUT Brno; Ladislav Grégr, Claygar s.r.o. Lužice; Daniel Grmela, FAST VUT Brno; Pavla Hesová, IZOLACE KONOPI CZ, s.r.o. Tábor; Boris Hochel, Bratislava (Sk); David Hora, IZOLACE KONOPI CZ, s.r.o. Tábor; Mojmír Hudec, ELAM Brno; Ondřej Chybík, FA VUT Brno; Felix Jeanmarie, Niederbuchsitten (CH); Georg H. Jeitler, Baden bei Wien (A); Max V. Jensen, Svojanov u Bouzova; Felix Jerusalem, Curych (CH); Pavel Klang, Brno; Jana Klimešová, FA VUT Brno; Pavel Koterzyna TRESPOLART, s.r.o. Strunkovice nad Blanicí; Jan Krňanský, Praha; Ladislav Kubů, m.t.a. spol. s r.o. Praha; František Kurtin, ecoShop Brno; Jaroslav

Men, Juta a.s. Turnov; Christian Meyer, Limbach (D); Karel Murtinger, EkoWATT CZ s.r.o. České Budějovice; Michal Navrátil, RIGI, stavební společnost, Hradčany; Pavel Nešťák, Roženec-ké Paseky; Petr Novák, FA VUT Brno; Stefanie Ostermair, GrAT Wien (A); Ivo Štefan, Juteko spol. s r.o. Praha; Tomáš Pešek, Juteko spol.s r.o. Praha; Gabriela Plachá, Kreidezeit Dačice; Lucie Pohanková, FA VUT Brno; Bernard Resch, natur & lehm, Tattendorf (A); Werner Schmidt, Trun (CH); Lukáš Sochor, FAST VUT Brno; Ludvík Trnka, Brno; Marek Vlček, Hliněný dům Lysovice; Kamila Weiglová, FAST VUT Brno.

Zvláště pak děkuji paní doc. Ing. Ivaně Žabičkové, CSc. a panu doc. Ing. Janu Wernerovi, kteří se ochotně a s pečlivostí jim vlastní ujali lektorování. Svými připomínkami, podněty a návrhy přispěli ke zkvalitnění díla.

*Josef Chybík*



# Předmluva

Odklonění od starých výrobních postupů, v nichž se běžně používaly přírodní materiály, začalo s nástupem průmyslové revoluce, která naše území zasáhla na počátku 19. století. Její vliv spustil řetězec proměn s dopadem na urbanizaci a demografickou strukturu země. Projevil se odlivem venkovského obyvatelstva, které jako pracovní síla odcházelo do měst. Zde tito lidé „nasáli“ městský životní styl a pozvolna jej přenášeli do svých venkovských domovů. Námezdní dělníci zvolna opouštěli dovednosti, které se v historickém vývoji s naprostou samozřejmostí při stavbě domů uplatňovaly. Řemeslné techniky děděné generacemi otců a dědů a materiály používané starými staviteli se v překotném vývoji překrývaly moderními způsoby výstavby. Společnost se ocitla na prahu procesů považovaných za stírání rozdílu mezi městem a vesnicí.

Nebyl to však hlavní důvod, který způsobil odchýlení od staletých stavitelských zvyklostí. Na uplatnění materiálů vyráběných průmyslovými metodami měl dominantní vliv především rozvoj dopravních systémů. Trasy železnic a vodních cest byly na našem území dokončeny v podstatě do konce 19. století. Poněkud volnějším tempem se rozšiřovala výstavba zpevněných komunikací a s tím související silniční přeprava. Dalším předelem se stalo období první světové války, které významnou měrou souviselo se začleněním silniční dopravy do běžného života. Najednou přestalo být problematické, aby se na velké vzdálenosti transportovaly hmoty a výrobky. Domácí, s krajinou spjaté materiály se opouštěly. Neodolaly tlaku průmyslové výroby. Objevují se náznaky trendů, charakterizujících odklon od tradičních způsobů výstavby, které se nakonec neudržely ani na našem venkově.

Zásadní význam pro opuštění starých technologií byl vedle dopravy spojen s výrobou a snadnou dostupností oceli, skla a především

s uplatněním cementu. Cement se používal nejen ke stavbě pevnějších základů, svislých a vodorovných konstrukcí. Prostý a vyztužený beton umožnil vytvářet konstrukce větších rozpětí. Ve velké míře se cement uplatnil i pro jednoduché vytváření povrchových úprav. Celá řada nově stavěných i původních domů ztrácela svůj výraz. Fasády se zbavovaly dřívějších výplní otvorů, které nahradila neúměrně velká a nezvykle členěná okna. Bílením nebo hliněnými omítkami upravené stěny ustupovaly sice trvanlivým, ale tuhým a nevzhledným cementovým omítkám. Domy opouštěly své původní funkce. Nejzachovalejší z nich, které si udržely zřetelné stopy těsného vztahu člověka a přírody, nazýváme památkami lidového stavitelství. Jsou reflexí materiálové základny, kterou naši předkové měli k dispozici a dovedli ji využít.

K tomu po druhé světové válce přispělo zprůmyslněné stavebnictví, které spolu s typizací a unifikací, podporující produkci ohromného množství stejných nebo si velmi podobných budov, vedlo ke kvantitativnímu způsobu výstavby. Vše, co vznikalo na prknech architektů a vymykalo se této koncepci, mělo na realizaci buď velmi malou, nebo spíše žádnou naději. Transformovala se řemesla. Například nejhojněji používaný přírodní stavební materiál, kterým je dřevo, se z produkce českých stavebních podniků téměř vytratil. Řemeslníci přestali přebírat zkušenosti, které se dříve předávaly z generace na generaci. Hledaly se nové cesty kosmopolitně nesourodé s tím, co bylo dříve charakteristické pro jednotlivé kraje, města a obce. Z průmyslově vytvářených dílců, postrádajících alespoň náznak přírodní substance, vyrůstaly nové městské části nazývané sídliště.

V projektových pracovištích umrtvovala invence architektů snaha o co nejvyšší produktivitu. Existovaly centrálně řízené ateliéry, kde se v poměrně velké míře pracovalo s opakovatelnými

projekty. Za hranicemi „železné opony“ jsme v polovině 70. let 20. století stáli zcela mimo nastupující proud, který v evropském kontextu přivál první projekty charakteristické konceptem ekologické architektury.

Současné vývojové trendy jsou v obecné rovině úzce spjaty s myšlenkami trvale udržitelného rozvoje. V daleko větší míře, nežli tomu bylo v minulosti, vznikají obavy z vyčerpání surovinových a energetických zdrojů a z nadměrného znečišťování ovzduší. Myšlení stále většího počtu lidí silně ovlivňuje ekologie a snaha o zachování pokud možno co nejčistšího přírodního prostředí. I proto je jedním z důležitých parametrů přírodních materiálů jejich téměř stoprocentní recyklovatelnost. Stále větší důraz se klade na zdravotní nezávadnost materiálů. Uvedené tendence se promítají i do inovací konstrukcí. Pozornost se začíná přesouvat od energeticky náročných technologií k organické materiálové bázi, tzn. přírodním surovinám, které většinu požadavků udržitelného rozvoje splňují.

S nastalou svobodou a možnostmi poznávat, jak se staví v zahraničí, i čeští architekti a stavitelé po roce 1989 odkrývali, kam až dospěly

technologie spojené s použitím přírodních materiálů. S cestami po Evropě získali zkušenosti, do jaké úrovně došla vzdělanost v této oblasti a jak hluboká je naše zaostalost. Díky nevšední otevřenosti zahraničních partnerů jsme mohli začít s transferem poznatků do domácího prostředí. Navzdory mnohemu pozitivnímu jen s obtížemi k nim nalézali cestu nejen stavebníci, ale i projektanti. Přesto se objevili lidé, kteří byli ochotni studovat a poznávat zákonitosti stavitelství založeného na používání tradičních surovin. Nejčastěji však s nimi pracují jen menší, zpravidla specializované stavební podniky, které jsou ochotny je systematicky a plánovitě zařazovat do výrobního programu.

Každá nová stavba, v níž se používají přírodní materiály, byla a stále je sledována širokým okruhem odborníků i veřejnosti. Doprovází je množství pracovních setkání – workshopů, kde si jejich účastníci mohou vlastním přičiněním vyzkoušet stavební postupy. K tomu neodmyslitelně patří rozvoj znalostí o vlastnostech výrobků, které se do stavebního díla zabudovávají. Také tato kniha si vytyčuje za cíl být příspěvkem k tomuto poznání.

# Úvod

Termín přírodní materiály není neznámý a můžeme jej nalézt i ve starých normách. Například v ČSN 1168, kterou již v roce 1939 vydala Česká společnost normalizační, jsou stavební materiály rozděleny do dvou skupin, na:

- a) materiály přírodní, které zahrnovaly nejen kámen, kamenné drti, štěrky, písky, hlíny, a dřevo, ale také korek, rákos a dokonce i asfalt,
- b) materiály umělé, kam patřilo vápno, cement, sádra, kamenné omítkové směsi, škvára, dehet, šedá litina a ocel, výrobky z pálené hlíny, také výrobky cementové, sádrové, litinové, ocelové a jiné.

Přírodní stavební materiály v pojetí, které představuje tato kniha, jsou hmoty zpravidla rostlinného nebo živočišného původu. Německy se nazývají „nachwachsende Rohstoffe“, což můžeme přeložit jako dorůstající suroviny. Například se jedná o konopí, korek, len, ovčí vlnu, slámu a další. Proto pozornost nebude věnována hmotám, které jsou také přírodního charakteru, ale pocházejí z oblasti neživé přírody – například různé druhy hornin. Výjimkou bude pouze hlína, která rostlinné produkty velmi často vhodně doplňuje.

Významnou vlastností přírodních materiálů je skutečnost, že mají příznivý vliv jak na lidské smysly, tak i na zdravé životní prostředí. Mnoho lidí trpí alergiemi a zdravotními indispozicemi, které jsou vyvolány látkami zabudovanými do konstrukcí. Hmoty, které vytvářejí obytný a pracovní prostor a jsou z přírodních materiálů, dokáží být příspěvkem k potlačení nebo úplnému odstranění těchto těžkostí. Dovedou například dobře regulovat vlhkost vzduchu ve vnitřním prostředí. Mají charakteristickou vůni, která blahodárně působí na lidské vědomí. Vizuelní kontakt nebo dotyk ruky dokáže vyvolat příjemné pocity a zprostředkovat člověku dobrou náladu. Použitím materiálů

a konstrukcí realizovaných podle zásad zdravotní nezávadnosti se předejde mnohým chorobám, které se například mohou projevovat poklesem imunitních schopností organismu, rozvojem různých forem alergií, v krajních případech vznikem karcinomů. V této souvislosti probíhá světový výzkum, který se zabývá studiem vlivu budov na zdraví. Ubírá se několika směry:

- "Indoor Air Pollution" (IAP) se zabývá negativním působením škodlivin z fyzikálního, chemického i biologického hlediska.
- "Sick Building Syndrome" (SBS) – syndromem nemocných budov se nazývá negativní ovlivnění zdraví člověka v budovách, jehož původ a souvislost s budovou zatím nedokážeme prokázat.
- "Building Related Illness" (BRI) jsou choroby, které mají prokazatelně původ v samotné budově.

Příroda produkuje velké množství surovin, které je možno použít ve výstavbě, mnohdy s jen velmi malým energetickým vkladem. Jsou anorganického původu, jako je hlína nebo kámen, rostlinného původu, ke kterým můžeme zařadit dřevo, konopí, korek, len, slámu, rákos, bambus, anebo původu živočišného, jako je ovčí vlna. Podle využití se dělí do tří kategorií – na konstrukční, izolační a doplňkové (Nagy 2004).

- a) Konstrukční materiály slouží k vytváření nosných konstrukcí. Zde se nejlépe uplatňují například kámen, dřevo, lisovaná sláma, nepálená hlína ve formě cihel, dusaná hlína, slaměné balíky nebo exotický bambus.
- b) Izolační materiály slouží pro tepelné izolování obvodových plášťů budov, zvukovou izolaci podlah a akustické obklady. Patří sem například bavlna, celulóza, konopí, len, rákos, ovčí vlna, sláma, výrobky z dřevěných vláken a korku.

c) K doplňkovým materiálům se řadí nátěry z přírodních látek, linoleum, podlahoviny z korku, tkaniny z juty, tkaniny z kokosových vláken, tkaniny a tapety z ovčí vlny nebo též omítky.

K výstavbě budov se po dlouhá staletí používaly především místní materiály. Zpravidla se jednalo o suroviny, které se daly vytěžit nebo vyprodukovat přímo v místě stavby. Často to byla hlína, kámen a hmoty pocházející z rostlin. Tak známe území, která jsou označována jako zóny a styčné oblasti s výskytem podunajského hliněného a kamenného domu, západoevropského hrázďného domu, českého a moravského roubeného domu nebo alpského dřevěného domu v Pošumaví (Mencl 1980). Stavby se realizovaly podle generacemi osvědčených archetypů, podpořených tradičními a staletými prověřenými technologiemi. Nejen na venkově, ale i ve městech vznikaly soubory staveb v harmonickém souladu s krajinou, přitom vyhovující životnímu stylu jejich tvůrců. V současnosti se na tuto poněkud pozapomenutou tradici navazuje. Ve stavebních realizacích se opět objevují komponenty, které jsou produktem zemědělské výroby. Patří k nim například sláma. Jejich příznivé užitné vlastnosti jim například dovolují, aby se staly surovinou do zateplovacích systémů a střešních krytin.

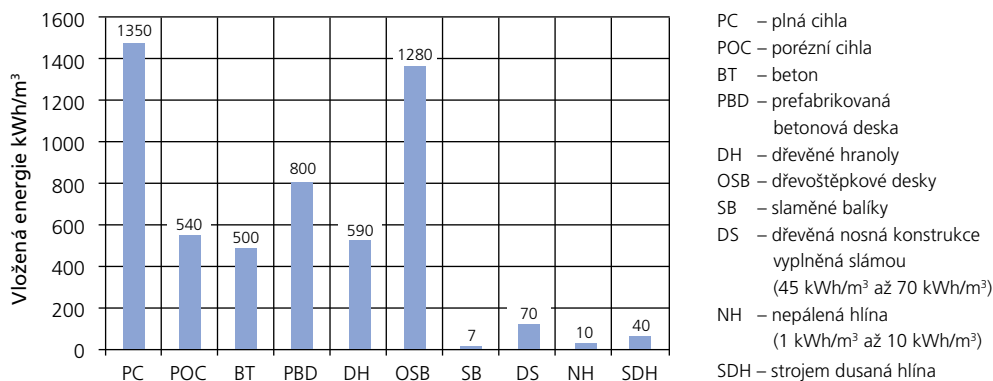
Po druhé světové válce nastalo období, kdy do stavebnictví vstoupila do té doby nevídaným způsobem chemická výroba. Její produkty jsou levnější než celá řada tradičních materiálů. Stačí s různými přírodními výrobky porovnat tepelné izolanty z pěnového polystyrénu. Jejich nízká cena však neobsahuje náklady nutné na recyklaci, což se stává zátěží odloženou budoucím generacím. Otázkou však zůstává, zda je vhodné aplikace hmot z neobnovitelných ropných zdrojů stále rozvíjet. Zvláště když existuje velké množství obnovitelných surovin, které dokáží synteticky vyráběný produkt nahradit a ropu i z hlediska perspektiv dalšího rozvoje ponechat pro vhodnější použití, za které můžeme například považovat produkci ušlechtlejších komodit, jako jsou

léky. Přitom je potřeba si uvědomit značné závislosti na producentech suroviny, která je obtížné a mnohdy s průvodním jevem ekologických katastrof dobývána, přepravována a zpracována. Navíc se zpravidla nachází v politicky nestabilních teritoriích. Příkladem mohou být zkušenosti získané z energetické krize, která nastala v roce 1973. I současnost je prodchnuta trendem stoupajících nebo kolísajících cen ropy, zemního plynu, uhlí i elektřiny. Tíživé zkušenosti byly získány při několikátýdenním kolapsu v dodávce zemního plynu, který Evropu postihl na počátku roku 2009. To vše posiluje přesvědčení o použití nezávislých alternativních energetických a surovinových zdrojů.

Nejen v mnoha evropských zemích, ale i u nás již v současnosti existuje množství příkladů, ve kterých se optimálně využívá konstrukčních vlastností hlíny a tepelně izolační schopnosti slámy, lněných nebo konopných vláken. Aktuální veličinou je přitom potřeba energie na jejich výrobu. Podle míry při výrobě vložené energie lze provést porovnání několika vybraných surovin a konstrukcí (Minke 2008), *obrázek 1*. Nejvhůře vycházejí plné cihly s 1350 kWh/m<sup>3</sup>. Porézní cihly oproti cihlám plným potřebují pouze 40 %, beton 37 % energie. Možná překvapivě vynikají desky OSB s 95 %. Slaměné balíky mají proti plným cihlám pouze 5% podíl vložené energie.

Přírodní materiály uplatněné ve výstavbě jsou zdravotně nezávadné hmoty. Oproti produktům vyráběným z ropy jsou charakteristické také tím, že na konci životnosti se dají snadno recyklovat. Velmi úspěšné je dřevo, které jako dorůstající obnovitelný materiál kumuluje ve své rostlinné struktuře CO<sub>2</sub>.

Environmentálně šetrný přístup se řídí teoreticky zdůvodněnými a praxí ověřenými principy, které preferují přírodní materiály z obnovitelných a recyklovatelných surovin (Pířko & Špaček et al. 2008). Zatížení dopravou může ve velké míře snížit využívání místních zdrojů. I přírodní materiály se mohou stát málo vhodnými, pokud budou přepravovány po dlouhých trasách. Například převážení slámy na velké vzdálenosti může



**Obr. 1** Energie vložená do zpracování stavebních materiálů (Minke 2008)

tento zajímavý a kvalitní přírodní produkt posunout až za hranici použitelnosti. Zcela se tak poruší princip o úspornosti, který by měl platit u materiálů vyrobených s minimální energetickou náročností.

V energetické optimalizaci budov je vhodnou alternativou realizace pasivních domů s použitím přírodních materiálů. To lze tvrdit i přes skutečnost, že z hlediska pořizovacích – investičních nákladů je průměrná cena těchto objektů přibližně o 8 % až 12 % vyšší. K běžnému provozu takové budovy je však potřebné pouze 10 % energie oproti domům stavěným podle současných požadavků.

V Evropě již bylo realizováno množství nových moderních domů, v nichž jsou použity přírodní materiály a přitom dosahují velmi nízké spotřeby. Příkladem může být administrativní objekt firmy Natur&Lehm v Tattendorfu s použitím slámy a hlíny nebo S-Haus v Böheimkirchenu. Důslednost při výstavbě v Böheimkirchenu byla dovedena až k výrobě nábytku z lisované slámy. Obě stavby vykazují vynikající energetické výsledky, které je řadí ke špičkovým dílům v kategorii pasivních domů. Takovéto domy významnou měrou přispívají ke snížení zatížení životního prostředí. Příspěvkem může být ještě případné

použití paliva získaného z rostlin. Například dům v Tattendorfu je v období s nejnižšími teplotami vytápěn bioethanolem. Zajímavou stavbou je také rodinný dům ve švýcarském Eschenz (*Chybík 2008*), jehož realizace se uskutečnila z panelů vyrobených z lisované slámy. V České republice je obdobným pasivním domem Centrum ekologických aktivit v Hostětíně.

S tématy přírodních domů se rozvíjí i mezinárodní spolupráce. Řada našich zájemců o přírodní stavitelství vyjíždí do zemí, kde je tento typ výstavby na pokročilé technologické úrovni. Z poslední doby můžeme vzpomenout návštěvu slovenských stavitelů u Švýcara Wernera Schmidta, který je znám jedinečnými stavbami z nosné slámy. Studenti se svými učiteli vyjíždějí do Rakouska. Také do České republiky a na Slovensko přichází řada známých odborníků. Můžeme uvést vystoupení německého profesora Gernota Minkeho v Bratislavě (2008) a v Brně (2009), úspěšný návrh a realizaci profesora Georga W. Reinberga v Hostětíně, přednášku architekta Felixe Jerusalema (2008) a Wernera Schmidta (2009) v Brně nebo praktické ukázky stavitele Toma Rijvena na několika workshopech v Hradčanech u Tišnova (2007).

# 1 Teoretický základ tepelných dějů, akustiky a požární ochrany stavebních konstrukcí

K přiblížení pojmů, které jsou v dalších kapitolách používány, je přiložen krátký komentář. Budou definovány základní matematické vztahy, které se při popisu vlastností materiálů ve stavební tepelné technice, akustice a požární ochraně uplatňují nejčastěji. Také budou uvedeny fyzikální jednotky užitých veličin.

## 1.1 Základní pojmy a veličiny užívané ve stavební tepelné technice

**Teplota** ( $Q$ ) je energie dodávaná v důsledku rozdílu teplot. Energii lze dodávat též konáním práce a přenosem hmoty. Příspěvek dodaný teplem není v energii soustavy rozlišitelný od příspěvků dodaných jinými způsoby: pojem tepelná energie, který se velmi často používá, nemá proto smysl (Zemansky 1957), (Chybík 2005). Jednotkou je  $J = m^2 kg/s^2$ .

Tepelný stav dané látky vyjadřuje **teplota**. Rozlišujeme:

- termodynamickou teplotu,
- Celsiovu teplotu.

**Termodynamická teplota** ( $T$ ) je definována druhou větou termodynamiky a přiřazením 273,16 K teplotě trojného bodu vody, což je směs ledu, vody a vodní páry.

**Celsiova teplota** ( $t$ ) je definována vztahem:

$$\theta = T - 273,15$$

kde  $\theta$  je Celsiova teplota ve  $^{\circ}C$

(stupních Celsia),

$T$  termodynamická teplota v K

(Kelvinech).

Teplota trojného bodu vody je 273,16 K a 0,01  $^{\circ}C$ . Teplota bodu mrazu je 0,00  $^{\circ}C$  a 273,15 K. Rozdíly teplot vyjádřené ve  $^{\circ}C$  a v K jsou číselně přesně stejné, to znamená, že 1  $^{\circ}C$  je přesně roven 1 K.

V anglosaských zemích se ještě používá **stupnice Farenheitova**. Jejimi fixními body jsou 32  $^{\circ}F$  (0  $^{\circ}C$ ) a 212  $^{\circ}F$  (100  $^{\circ}C$ ). Vztah ke stupnici Celsiově se dá vyjádřit rovnicí:

$$\theta_f = \frac{9}{5} \cdot \theta + 32$$

kde  $\theta_f$  je teplota ve  $^{\circ}F$ ,  
 $\theta$  teplota ve  $^{\circ}C$ .

**Tepelná kapacita** ( $K_x$ ) vyjadřuje schopnost tělesa nebo soustavy přijímat teplo. Tepelná kapacita je teplo potřebné k ohřátí daného tělesa o jeden stupeň (1 K nebo 1  $^{\circ}C$ ).

Je definována podílem přivedeného tepla a příslušné změny teploty:

$$K_x = \frac{dQ}{dT}$$

kde  $K_x$  je tepelná kapacita v  $J/K = m^2 \cdot kg/(s^2 \cdot K)$ ,

$dQ$  přivedené teplo v J,

$dT$  přírůstek teploty v K způsobený přivedeným teplem.

**Měrná tepelná kapacita** ( $c$ ) je teplo potřebné k ohřátí jednotky hmotnosti (1 kg) dané látky o jeden stupeň (1 K nebo 1 °C). Je definována podílem tepelné kapacity  $K_x$  a hmotnosti  $m$  zkoumaného množství látky:

$$c = \frac{K_x}{m} = \frac{1}{m} \cdot \left( \frac{dQ}{dT} \right)$$

kde  $c$  je měrná tepelná kapacita  
v J/(kg·K) = m<sup>2</sup>/(s<sup>2</sup>·K),

$K_x$  tepelná kapacita  
v J/K = m<sup>2</sup>·kg/(s<sup>2</sup>·K),

$m$  hmotnost látky v kg,

$Q$  přivedené teplo v J,

$T$  teplota v K.

**Absolutní vlhkost daného vzduchu** ( $\phi$ ) vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu (1 m<sup>3</sup>) tohoto vzduchu. Vyjadřuje se vztahem:

$$\phi = \frac{m_v}{V}$$

kde  $\phi$  je absolutní vlhkost vzduchu  
v kg/m<sup>3</sup>,

$m_v$  hmotnost vodní páry v kg,  
 $V$  objem vzduchu v m<sup>3</sup>.

**Relativní vlhkost daného vzduchu** ( $\varphi$ ) je poměr hmotnosti vodní páry obsažené ve vzduchu ku hmotnosti nasycené vodní páry stejného objemu a teploty. Může se vyjádřit vztahem:

$$\varphi = \frac{\phi}{\phi_n} \cdot 100 = \frac{p}{p_n} \cdot 100$$

kde  $\varphi$  je relativní vlhkost vzduchu v %,  $\phi$

absolutní vlhkost vzduchu  
v kg/m<sup>3</sup>,

$\phi_n$  absolutní vlhkost párou  
nasyceného vzduchu v kg/m<sup>3</sup>,

$p$  parciální tlak vodní páry v daném  
vzduchu v Pa,

$p_n$  parciální tlak nasycené vodní  
páry v daném vzduchu v Pa.

**Tepelný tok** ( $I_Q$ ) je teplo dodané za jednotku času. Je definován podílem přenášeného tepla a příslušného času:

$$I_Q = \frac{dQ}{d\tau}$$

kde  $I_Q$  je tepelný tok v J/s = W = m<sup>2</sup>·kg/s<sup>3</sup>,  
 $dQ$  dodané teplo v J,  
 $d\tau$  za čas  $d\tau$  v s.

**Hustota tepelného toku** ( $q$ ) vyjadřuje tepelný tok připadající na jednotku plochy (1 m<sup>2</sup>) postavenou kolmo ke směru šíření tepla. Je definována podílem tepelného toku a plochy, jíž tento tok kolmo prochází:

$$q = \frac{dI_Q}{dS}$$

kde  $q$  je hustota tepelného toku  
ve W/m<sup>2</sup> = kg/s<sup>3</sup>,

$dI_Q$  tepelný tok v J/s = W = m<sup>2</sup>·kg/s<sup>3</sup>,  
 $dS$  plocha v m<sup>2</sup>.

**Teplotní gradient** (spád) je teplotní rozdíl, připadající na jednotkovou vzdálenost (1 m):

$$\frac{\Delta T}{\Delta x}, \text{ (obecně grad } T)$$

kde  $\Delta T$  je teplotní rozdíl v K nebo °C  
připadající na vzdálenost  $\Delta x$ .

**Tepelná vodivost** ( $\lambda$ ) vyjadřuje schopnost látky vést teplo. Tepelná vodivost daného materiálu je hustota tepelného toku při jednotkovém teplotním gradientu. Hustota tepelného toku při daném teplotním gradientu  $\Delta T/\Delta x$  pak je:

$$q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}, \text{ (obecně } q = -\lambda \cdot \text{grad } T)$$

(znaménko minus vyjadřuje, že tepelný tok je kladný, když je gradient záporný)

kde  $q$  je hustota tepelného toku  
ve W/m<sup>2</sup> = kg/s<sup>3</sup>,

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti  
ve W/(m·K) = m·kg/(s<sup>3</sup>·K),