

Kapitola 6

Stavební konstrukce a materiály

Konstrukce a materiály používané na stavbu domů chráněných zemí musejí bezpodmínečně vykazovat dostatečnou pevnost a trvanlivost. Nejde jen o to, že musejí vydržet vyšší a zpravidla víceosé namáhání popsané v předcházející kapitole, ale také o to, že jakékoli dodatečné opravy obvodového pláště budovy jsou zde mnohem náročnější, než u klasických nadzemních domů.

I když se v médiích často objevují ukázky různě bizarních konstrukcí typu hobitích obydlí, praxe je spíše taková, že většina domů krytých zemí u nás i ve světě je postavena jako běžné pravouhlé konstrukce. Je to dáno jednak tím, že stavební firmy jsou na to „zařizeny“ (například bedněním, lešením, stavebními mechanismy), což se projeví v rozumných stavebních nákladech, jednak se pravouhlý interiér přece jen lépe vybavuje nábytkem a běžným technickým zařízením domácnosti. Třetí faktor je spíše psychologický: rodinné, sousedské a nakonec často i úřední tlaky na stavebníka, který se rozhodne pro tak neobvyklý projekt, jej vedou k potřebě dokázat, že jde vlastně o zcela „normální“ dům.

Faktem je, že řada důvodů přitom skutečně hovoří pro klenuté konstrukce. Ze statického hlediska je klenba (v ideálním případě polokruhová, viz schéma 7) zatěžována pouze příčnými silami, tedy jednoosé. Je tedy schopna přenést větší zátěž od obklopující zeminy než podzemní pravouhlá konstrukce a lze ji při stejné tloušťce stěny použít ve větších hloubkách, anebo – což je v praxi běžnější – stačí pro danou zátěž v obvyklé hloubce použít tenčí stěnu. To se samozřejmě projeví sníženými náklady. Nesmíme zapomínat ani na menší plochu přestupu tepla (z tohoto důvodu by byl optimální kulový plášť budovy), výborné akustické vlastnosti klenutého interiéru, možnost jeho lepšího prosvětlení (bez „mrtvých koutů“) a obecně příjemnější působení oblých tvarů na psychiku člověka.

6

Stavební konstrukce a materiály



▲ **Schéma 7** ▲ Klenba je staticky výhodným řešením podzemní stavby.

I když konstrukce z železobetonového monolitu je nejpoužívanějším a v mnoha směrech nejvýhodnějším řešením při stavbě domů chráněných zemí, neznamená to, že je jediným možným.

Otázku, jestli použití železobetonu není v rozporu s principy ekologické architektury, slyšíme od exkurzí na Jižním Chlumu velmi často. Ano, i my bychom raději stavěli ze dřeva, balíků slámy, nepálené hlíny či jiných obnovitelných, přírodních a místních materiálů, nebo alespoň z materiálů

s nižším obsahem tzv. „šedé energie“. Jenže tak jako celý život je o hledání rozumných kompromisů, i my jsme si museli stanovit priority a hledat řešení, jak se k nim dostat s vynaložením prostředků a sil, které máme k dispozici. Naši prioritou je bydlení s minimálním dopadem na okolní přírodu a krajinu – proto jsme si postavili domy, na jejichž střeše roste tráva, které spotřebují minimum energie k vyhrívání v zimě a žádnou k chlazení v létě, kde teplou vodu vyrábějí solární kolektory a odpadní vodu čistí kořeny rákosu. Příčný tlak země v hloubce 3–4 m však bobužel neudrží ani slaměné balíky, ani dřevo, a bobužel ani nepálené cihly, ač poslední možnost jsme ve spolupráci s doc. Žabičkovou z Fakulty architektury VUT v Brně staticky velmi důkladně prověřovali. Samozřejmě nic nebrání použití přírodních materiálů včetně nepálených cihel v interiéru. Také se zmíníme o tom, že za jistých podmínek lze i v případě domu chráněného zemí uvažovat o konstrukci stropu z dřevěných trámů nebo o použití alternativních materiálů u fasád nekrytých zemí. V případě podzemních konstrukcí však mnoho prostoru na experimentování nezbyvá.

V následujících odstavcích popíšeme základní stavební materiály a pokusíme se definovat jejich výhody a nevýhody z pohledu možného použití při stavbě domu chráněného zemí.

Nevyztužený beton litý na místě lze použít na základy, podlahy a také na obvodové zdi v hloubkách do 1,5 m pod povrchem [1]. Výhodou je nízká cena, schopnost jeho libovolného tvarování, vysoká pevnost v tlaku a smyku, nehořlavost a vysoká životnost. Hlavní nevýhodou je nízká pevnost v tahu, a tím sklon ke vniku prasklin, kterými se dovnitř materiálu může dostat voda. Ta představuje potenciální hrozbu jeho vnitřní destrukce, zvláště při opakovaném zamrznání a rozmrznání.

Vyztužený beton litý na místě má mnohem širší použití, neboť eliminuje hlavní hendikep nevyztuženého betonu – nízkou pevnost v tahu. Je samonosný, a lze z něj proto konstruovat stropy v jednotlivých podlažích i plochou střechu, sloupy, nosníky, klenby a obvodové zdi do prakticky libovolné hloubky pod povrchem. Nevýhodou je vyšší cena a nezanedbatelná není ani zvýšená hmotnost, na což je třeba myslet hlavně při dimenzování základů.

Obecnou nevýhodou betonu litého na místě (vyztuženého i nevyztuženého) je nutnost použít bednění, které představuje významnou část nákladů. Doba výstavby zpomaluje doba potřebná k zatvrdnutí betonu a nepříjemné je také dlouhé vysychání zbytkové

vody, která může nežádoucím způsobem zvyšovat vlhkost vzduchu v interiéru i řadu měsíců po nastěhování. Z hlediska tepelných vlastností je důležité to, že beton dobře absorbuje a uchovává přijaté teplo, čímž zabraňuje rychlým teplotním výkyvům a zvyšuje tepelnou pohodu obydlí. Zároveň je ale dobrým vodičem tepla, proto pozor na tepelné mosty.

Předpjaté betonové prefabrikáty dále zdokonalují mechanické vlastnosti popsané u vyztuženého betonu a lze je použít i v těch nejnáročnějších aplikacích. Výhodou navíc je, že s nimi lze pracovat za jakéhokoli počasí včetně mrazů (což u betonu litého na místě samozřejmě nejde), nevyžadují žádnou „čekací dobu“ na zatvrdnutí a obecně umožňují rychlejší postup stavebních prací. Nevýhodou je nutnost přizpůsobit architekturu stavby standardním rozměrům prefabrikátů, komplikací jsou také spoje mezi jednotlivými díly a nutnost jejich dokonalého utěsnění.

Při konstrukci střechy kryté vrstvou země o tloušťce nad 50 cm se neosvědčuje použití T-nosníků, které jsou jinak běžné při konstrukci klasických plochých střech. Jejich pásnice jsou totiž příliš slabé k přenesení potřebné vertikální zátěže. Vhodnější jsou deskové prefabrikáty, které také lépe přenášejí smykové síly „zezadu tlačené“ střechy na boční svislé zdi, jak bylo popsáno v předcházející kapitole. Jsou-li ale tyto síly značné, měli bychom se vyhnout deskovým prefabrikátům s vnitřními dutinami.

Zdivo (cihly, tvárnice, kameny) jsou vhodné především pro nadzemní konstrukce, například fasády nekryté zemí a opěrné zídky. Jejich hlavní výhodou oproti betonu je, že se při stavbě obejdeme bez bednění, práce mohou probíhat plynule a nejsou tak náročné na těžké zvedací mechanismy. Pálené cihly a tvárnice mají lepší tepelněizolační vlastnosti než beton, zároveň ale nižší schopnost akumulace tepla. I z tohoto důvodu jsou vhodné především na jižní odkryté stěny, které mají v našich podmínkách aktivní tepelnou bilanci. Problematické je naopak jejich použití pro podzemní obvodové zdivo ve větších hloubkách a místech koncentrace příčných tlaků, neboť zděné stěny nemají dostatečnou odolnost vůči příčnému tlaku. Uspokojivým řešením jsou z tohoto pohledu pouze tvárnice vyztužené ocelovými pruty a prolévané betonem. Protože však armaturu uvnitř tvárnice nelze provázat, je k dosažení dostatečné příčné pevnosti potřeba větší tloušťky stěny než při použití armovaného litého betonu. Problém představují také spáry mezi jednotlivými bloky. I když každou podzemní stěnu (i kompaktní betonovou) samozřejmě opatřujeme hydroizolací, přece jen každá spára představuje potenciální nebezpečí průsaku zemní vlhkosti při porušení primární hydroizolace. Problematické je už i samotné dokonalé zaizolování zděné stěny, neboť spáry obvykle představují nerovnosti (ať už prohloubení nebo výduť stěny), což hlavně hydroizolační systémy na bázi fólií „nemají rády“. Blíže o tom v kapitole 7.

Ocel se v domech chráněných zemí vyskytuje v podobě sloupů, nosníků, nejčastěji ale jako výztuž v betonových či zděných stěnách. Její výhodou je vysoká pevnost v tahu a vzpěru (důležitá například u sloupů), lze s ní pracovat za jakéhokoli počasí a lze ji libovolně tvarovat. Toho využívají například firmy stavějící na zakázku bohatých klientů domy avantgardního designu: vytvarují z armovacích prutů, případně smontují z kovových dílů podle představ zákazníka něco jako „drátový model“ ve skutečné velikosti, na který po odsouhlasení výsledného tvaru nastříkají nízkoviskózní beton. Mezi ne-

6 Stavební konstrukce a materiály

výhody oceli patří nutnost účinné antikoroziní úpravy a na první pohled paradoxně též protipožární ochrany. Ocel samozřejmě za obvyklých teplot nehoří, avšak v rozžhaveném betonu ztrácí podstatnou část své pevnosti. Budova proto musí být dimenzovaná tak, aby její statika nezávisela výhradně na ocelové výztuži.

Dřevo má své typické použití především ve vybavení interiéru, nicméně pevnostní charakteristiky trámů z tvrdého dřeva jsou dostatečné i k jejich použití na ploché střechy kryté zemí za předpokladu, že vrstva zeminy na ní nebude extrémní a že statické poměry nevyžadují od střešní konstrukce, aby fungovala zároveň jako smyková deska (viz kapitola 5). Tam se také dočteme, proč je dřevo naprosto nevhodné ke konstrukci stropu/podlahy mezipatra, což je poměrně běžné v klasických nadzemních domech. Výhodou dřeva je jinak jeho lehkost, snadná obrobitelnost, lze s ním pracovat za jakýchkoli teplot a z ekologického hlediska je důležité to, že jde o obnovitelnou surovinu s minimálním obsahem „šedé energie“. Nevýhodou je jeho hořlavost a nutnost chemického ošetření proti dřevokaznému hmyzu a bakteriálnímu rozkladu. Jeho použití na obvodové zdi – zvláště pak zdi podzemní – rovněž nelze doporučit. Problémem zde není ani nedostatečná pevnost, ani ochrana proti zemní vlhkosti, ale špatné tepelněabsorpční vlastnosti dřeva. Ty jsou v pasivním domě, který má ve zdech akumulovat teplo, samozřejmě podstatným hendikepem.

Nepálená hlína – ať už v podobě nepálených cihel nebo hlíny dusané mezi bednění – je opět ideálním materiálem do interiéru, ale prakticky nepoužitelným pro obvodové a nosné konstrukce. Ani zde není problémem ochrana proti zemní vlhkosti, s tou si moderní hydroizolační systémy umějí poradit, ale pevnostní charakteristiky nepálené hlíny. Zatímco vertikální nosnost je dostatečná (proto jsou ve světě běžné i několikapatrové budovy), nevyhovuje odolnost nepálené hlíny vůči příčným a smykovým silám, které jsou limitující pro výběr materiálů u domů chráněných zemí.

Co do použití v interiéru (a nejen v domech chráněných zemí) naopak sotva najdeme vhodnější materiál, a to dokonce i ve srovnání se dřevem. Má proti němu přinejmenším šest výhod: je nehořlavá, nevyžaduje chemické ošetření proti rozkladu, má výborné tepelněakumulační vlastnosti, zvukoizolační vlastnosti a nedostižnou schopnost regulace vnitřní vlhkosti interiéru. Vysokou vlhkost absorbuje (klasickým příkladem je, že zrcadlo v koupelně se stěnami z nepálené hlíny se ani při dlouhém sprchování horkou vodou nezarosí), do suchého vzduchu naopak absorbovanou vlhkost dodává. Vysokým žářem nezničená hlína navíc svými půdními bakteriemi neustále filtruje a likviduje škodlivé výpary ze syntetických materiálů, které se v domácnosti ve větší či menší míře vyskytují.

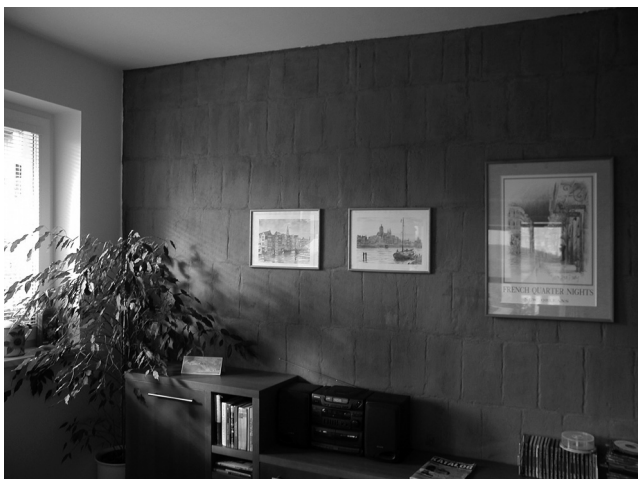
A pokud by někdo pochyboval o estetické hodnotě stěny z nepálené hlíny, ať se přijede podívat na Jižní Chlum nebo si zadá heslo „nepálená hlína“ do jakéhokoli webového prohlížeče. Bohužel se tam ale také dozví, že jde o materiál poměrně drahý, mimo jiné proto, že současná poptávka vysoce převyšuje nabídku (obr. 1).

Nakonec ještě pár slov ke zmiňované „šedé energii“. O její přesný výpočet se pokouší metoda LCA (Life Cycle Assessment = posouzení životního cyklu produktů), volně přeloženo porovnání energie potřebné k výrobě a dopravě výrobků na místo s energií, kterou pak výrobek ušetří po dobu svého používání. U starší výstavby byla tato energie zanedbatel-

ná ve srovnání s tím, co dům spotřeboval na vytápění během svého života. U nízkoenergetických domů to už zanedbatelné není – šedá energie může klidně představovat i 10 % spotřeby domu za 50 roků jeho životnosti [8]. Optimální jsou z tohoto pohledu dřevo a nepálená hlína, ty jsme ale jako nosné konstrukční materiály u domů chráněných zemí museli z výše uvedených důvodů zamítnout. Pokud však jde například o srovnání betonu s jinými prakticky použitelnými materiály, pak beton vychází nejlépe. Železobetonová konstrukce ve složení 300 kg cementu a 100 kg oceli při předpokládané dopravě komponent do betonárny na průměrnou vzdálenost 100 km a transportu namíchaného betonu na místo spotřeby 12 km má celkovou spotřebu energie 6,3 MJ/m³. To je výrazně méně například ve srovnání s pálenými cihlami (11,1 MJ/m³) [9].

Ještě lepší vlastnosti se udávají pro tzv. ekocement („zelený cement“), který se na rozdíl od klasického portlandského cementu nevyrábí z vápenců, ale z dolomitů nebo magnazitů. Vypaluje se při poloviční teplotě než klasické cementy, konkrétně při 650 °C, čímž se i emise CO₂ redukuje zhruba na polovinu. Další oxid ubličitý se absorbuje při tvrdnutí betonu (jako ostatně každého jiného), specialitou ekocementu má však být schopnost pohlcovat oxid ubličitý průběžně po celou dobu existence stavby. Představa budovy, která – stejně jako rostliny – pohlcuje obyvateli vydechovaný oxid ubličitý, či dokonce celých měst, které by v takovém případě fungovaly jako betonové džungle v tom nejlepší slova smyslu, je jistě svůdná až romantická. Bohužel je tento materiál stále v plenkách, ač se o něm hovoří už léta, a jeho zatím jediným známým komerčním dodavatelem na světě je australská firma TecEco Ltd., blíže viz www.tececo.com.

V každém případě se ale na problematiku „šedé energie“ můžeme dívat i z druhé strany. Celková energetická bilance domu s extrémně nízkou spotřebou na vytápění v zimě a nulovou na klimatizaci v létě, byť postaveného z energeticky náročnějšího materiálu s vysokou trvanlivostí, vyjde určitě lépe než budova s nižší životností a několikanásobnými náklady na celoroční udržování tepelné pohody. Neboli jako vždy – něco za něco.



▲ **Obrázek 1** ▲ Stěna z nepálené hlíny jako působivý estetický prvek interiéru