

## Dům v kožichu

Pasivní dům má extrémně nízkou spotřebu tepla. Aby v domě zůstala příjemná teplota i přesto, že se do něj dodává tak málo energie, je třeba teplo úzkostlivě chránit. Jedna z nejdůležitějších součástí pasivního domu je silná vrstva tepelné izolace, která výrazně snižuje tepelné ztráty a přináší domu řadu dalších výhod.

Pasivní domy se vyhýbají „odborným“ debatám, zda je lépe zateplít fasádu „desítkou“ nebo „dvanástkou“, které zároveň posouvají každým rokem tu „správnou“ tloušťku izolace o centimetr nahoru. Pro dosažení hodnot součinitele prostupu tepla na úrovni pasivního domu je nutné zaizolovat dům podstatně větší tloušťkou – často i více než třicet centimetrů – a na místech, která se v současné praxi izolují jen velmi zřídka.

Bohužel se stále lze i mezi odborníky setkat s různými mýty a pověrami ohledně použití tepelné izolace. Nejčastějším argumentem odpůrců tepelné izolace (zvláště polystyrenu) je, že konstrukce po zateplení „nedýchá“, tedy nevyměňuje vlhkost. Pravdou je, že v běžném domě je až 95 procent větrání realizováno spárami (většinou okenními) a větracími zařízeními (digestoře, ventilátory). Většina vlhkosti se pak odvětrává spolu se vzduchem a samotné zateplení domu má na „dýchání“ mizivý dopad.

Lidé často váhají při úvaze zda zateplovat či nezateplovat novostavbu – vždyť dnešní keramické či jiné tvárnice mají jistě dostatečné izolační vlastnosti. Na trhu však najdeme velmi těžko i cihly, které by mohly dosáhnout parametrů nízkoenergetického domu. Na úroveň pasivního domu se bez použití tepelné izolace nelze dostat. Navíc použitím tepelné izolace je možné zredukovat tloušťky zdících prvků pod 250 mm a tím zefektivnit proces výstavby a cenu díla.

### Výhody kvalitního zateplení:

- snížení tepelných ztrát
- snížení rizika plísně zvýšením vnitřní povrchové teploty
- menší namáhání nosné konstrukce atmosférickými vlivy
- odstranění typických tepelných mostů a vazeb – sekání cihel, překlady a stropy apod.
- snižuje přehřívání budovy v letním období
- redukce tloušťky nosného systému (zejména u zděných staveb)



*Obr. 1 Zcela zbytečná je také debata nad návratností investice do silnější vrstvy izolace, náklady na navýšení tloušťky jsou totiž většinou podstatně menší než náklady spojené s její aplikací. Návratnost investice do silnějšího zateplení domu je maximálně v řádu několika let. Ceny energie však zcela jistě porostou a úměrně tomu se bude i snižovat návratnost. Vnější zateplovací systém také podstatně prodlužuje životnost konstrukce. Mírně vyšší počáteční investice je tedy i z tohoto pohledu velmi výhodná.*

## Tepelná izolace masivních staveb

### Vnější zateplení

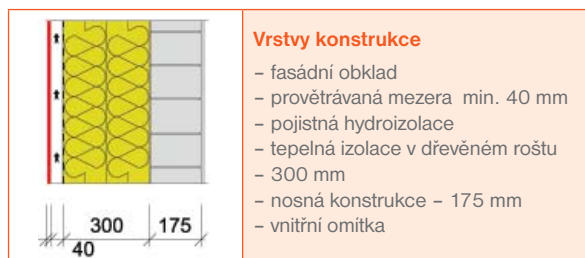
Vnější zateplovací systémy jsou nejčastějším způsobem tepelné izolace objektů. Jejich největší výhodou je celistvost tepelné izolační vrstvy. Při použití masivních stěn s vysokou akumulací lze také dosáhnout vynikajících parametrů tepelné setrvačnosti vnitřního prostoru. Zateplení z vnější strany se provádí buď formou provětrávaných zateplovacích systémů, nebo se používají takzvané kontaktní zateplovací systémy.

**Kontaktní zateplovací systémy, zkr. ETICS** (anglicky External Thermal Insulation Composite System) tvoří jednotlivý celek jednotlivých vrstev systému. Tepelná izolace slouží v tomto případě jako nosný prvek povrchových vrstev. Povrch fasády tvoří většinou omítka, v ojedinělých případech lepený obklad. Tento systém je v současnosti masivně využíván zejména při obnově bytového fondu. Pro kontaktní zateplení je nejčastěji používán expandovaný polystyren nebo minerální vlna s tenkovrstvou vnější omítkou. U kontaktních zateplovacích systémů hrozí riziko kondenzace vlhkosti v konstrukci. Je to dáno poměrně vysokým difúzním odporem lepidel a vnějších omítek. Navrženou skladbu je vždy nutné prověřit ve výpočtech. Při rekonstrukci budov u lehce zavhlého zdiva je vždy nutné použít provětrávanou fasádu s izolací o malém difúzním odporu.



Tloušťka izolace není ani u jednoho systému nijak omezena. Izolace se aplikuje nejčastěji v jedné vrstvě, v některých případech v závislosti na rovinatosti stěny a soudržnosti lze vrstvu izolace jen celoplošně lepit bez dodatečného kotvení. Zde je však požadavek i na větší pevnost izolantu. Ve výškách nad 8 m nebo po nesplnění podmínek rovinatosti a soudržnosti je nutné zvolit kotvicí prostředky a nad 12 m výšky požárně odolnou izolaci např. minerální vlnu.

**U provětrávaných zateplovacích systémů** se vkládá tepelná izolace mezi nosné prvky roštu (nejčastěji dřevěného), který je připevněn k nosné části zdiva. Rošt je vhodné udělat několikanásobný, dvojitě až trojitě překřížený, pro eliminaci liniových tepelných mostů nebo použít vhodnější I-nosníky (žebříkové nosníky). Dále je vytvořena provětrávaná mezera o tloušťce min. 40 mm a připevněn fasádní obklad (dřevo, cementotřískové desky, keramika a podobně). Souvrství je pod vzduchovou mezerou opatřeno difúzně otevřenou deskou či fólií, která slouží jako pojistná hydroizolace. Ta brání zatečení vody do izolace či jinému vniknutí vlhkosti vlivem proudícího vzduchu v provětrávané mezeře.



V tomto systému se v našich podmínkách používá vláknitá tepelná izolace (desková v rolích nebo foukaná). Je dobře propustná pro vodní páry, které jsou pak odvětrány vzduchovou mezerou a v konstrukci je vyloučeno riziko kondenzace.

Je-li požadována omítka jako povrchová úprava, může být použitý obdobný rošt vyplněný izolací jako u provětrávaného systému. Nosičem pro omítku jsou pak např. dřevovláknité izolační desky či štěpkocementové desky (heraklit), kterými je rošt zaklopený. Tento systém se používá u zděných staveb jako přírodě šetrnější alternativa oproti běžným kontaktním zateplovacím systémům.



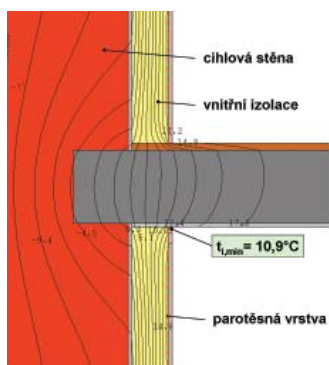
Obr. 2 Provětrávaná fasáda u novostavby před namontováním fasádního obkladu. Svíslé laťování před pojistnou hydroizolací tvoří vzduchovou mezeru.

### Vnitřní zateplení

U rekonstrukci budov je velmi těžké dosáhnout pasivního standardu. Situace se ještě podstatně komplikuje, pokud má budova výraznou a kvalitní fasádu například režné zdivo nebo štukovou výzdobu. Tam, kde nepřipadá vnější zateplení v úvahu je jediným řešením izolace zevnitř. Jak praxe i výpočty ukázaly, z energetického i ekonomického hlediska nemá smysl zateplovat silnější vrstvou než 120 mm. Efekty tepelných mostů stěn a stropů pronikajících izolací jsou totiž velmi výrazné. Při rozumném návrhu vnitřní izolace se lze u historické budovy dostat na  $U_{stěna} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Pro omezení kritických teplot při okrajích tepelné izolace (u podlahy a stropu) je možné použít náběhové klíny, které však nepůsobí v interiéru příliš esteticky. Samotnou kapitolou je vlhkostní chování takové konstrukce, kde za vrstvou izolace může na chladné stěně vlhkost kondenzovat. Jsou-li v konstrukci dřevěné prvky může to způsobit jejich poškození (např. uhnívání zhlaví dřevěných trámů u starších objektů). Zde je nutné vytvořit dokonalou parotěsnou rovinu, případně použít nenasákovou izolaci, která bude páram propustná. Obecně se jedná o složitou problematiku, která si vyžaduje důsledné posouzení tepelně-vlhkostního chování konstrukce. Při projektování novostaveb je vždy možné se vnitřní izolaci fasády vyhnout. Jsou konstrukční systémy nabízející vnitřní zateplení, avšak jejich vhodnost použití je ze zmíněných důvodů značně diskutabilní.



Obr. 3 Při montáži ETICS na bázi EPS lze na soudržný a rovný povrch do výšky 8 m celoplošně lepit bez kotvení. Na obrázku 30 cm EPS s přidavkem grafitu celoplošně lepeno na vápenopískové cihly tl. 175 mm. (pozn ostatní obrázky je potřeba přečíslovat)



Obr. 4 Výstup z výpočtového programu simulujícího průběh teplotního pole. Při vnitřním zateplení vzniká v místě průchodu stropní desky liniový tepelný most, který výrazně zvyšuje tepelné ztráty v tomto místě. Další navyšování tloušťky proto není efektivní a největším problémem je vlhkost, která může kondenzovat na chladné stěně za izolací.

### Systém ztraceného bednění

Tyto systémy, které tvoří specifickou skupinu masivních staveb, v současné době získávají stále větší oblibu. Pro pasivní domy jsou zvláště vhodné systémy z polystyrénových nebo štěpkocementových tvarovek. Po sestavení vytváří skládačku jako z dětské stavebnice, která zaručí perfektní návaznost jednotlivých prvků a celistvou tepelně-izolační obálku.

Bloky jsou vyráběny z EPS s přidávkou grafitu (tzv. šedý polystyren), který tvoří zároveň bednění pro lité beton tvořící nosnou část stěny. Materiál použitý na tvarovky dosahuje součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  a stěna o tloušťce 450 mm má součinitel prostupu tepla  $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ .

Výhody systémů ztraceného bednění	Nevýhody systémů ztraceného bednění
<ul style="list-style-type: none"> <li>- vysoká přesnost stavebnicových systémů</li> <li>- rychlost výstavby</li> <li>- systémové řešení konstrukčních detailů bez tepelných mostů</li> <li>- vynikající tepelně-izolační vlastnosti při relativně malé tloušťce zdi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- možnost mechanického poškození vnitřní strany stěny</li> <li>- částečné omezení akumulace zdiva v případě tepelné izolace na vnitřní straně tvarovky</li> </ul>

### Tepelná izolace u dřevostaveb

Dřevostavby jsou již z konstrukce svých stěn jako stvořené pro použití masivní vrstvy tepelné izolace. Obecně lze rozdělit stavby s dřevěnou nosnou konstrukcí na stavby připravované na místě (in situ) a stavby panelového systému, jejichž dílce se vyrábí jako prefabrikáty v továrně a na místě jsou pouze smontovány a utěsněny.

Tepelná izolace se vkládá přímo mezi dřevěné nosníky a tím dochází k zásadnímu snížení tloušťky stěny, která je ve výsledku téměř totožná s tloušťkou izolace. Kromě izolace na bázi minerálních či skleněných vláken se velmi často používají i izolační materiály na přírodní bázi jako je foukaná celulóza, dřevovláknité desky, desky z konopí či lnu. Souvrství pak může být doplněno o provětrávanou mezeru a fasádní obklad nebo kontaktní zateplovací systém (např. dřevovláknité desky o vyšší objemové hmotnosti) s tenkovrstvou omítkou.



Obr. 5 Příklad vrstvené izolace do dřevěného roštu. Použity jsou nosníky, které neprochází skrze celou konstrukci a tudíž nevytváří tepelné mosty.

Kvalitní vzduchotěsná rovina a konstrukce bez tepelných mostů jsou určitě dva nejdůležitější parametry, které nám ovlivňují životnost konstrukce a její funkčnost. Bezpečnější z pohledu vlhkosti jsou difúzně otevřené konstrukční systémy, které mají na vnitřní straně místo parotěsné fólie vrstvu parobrzdnu např. OSB desky, které propouští malou část vodních par do konstrukce. Směrem k vnější straně stěny se difúzní odpor konstrukce zmenšuje, aby bylo umožněné odpařování vlhkosti. Naopak vnikne-li v případě difúzně uzavřené konstrukce defektním místem dovnitř vlhkost, nemá se kde odpařit a hrozí nebezpečí poškození zabudovaného dřeva.

### Provedení kvalitní izolační obálky

Při aplikaci izolace pro dosažení požadovaného izolačního účinku a předpokládané životnosti je nutno dbát technických zásad a doporučení výrobců izolací a zateplovacích systémů. Chyb při provedení je velké množství a mezi nejčastější a nejdůležitější patří:

- spáry mezi izolačními deskami nebo rohožemi (doporučené spáry pod 3 mm, větší spáry vyplňovat izolantem, nevyplňovat cementovým lepidlem!)
- dostatečné množství a umístění kotev pro odolnost vůči namáhání větrem;
- zapaštění hmoždinek do izolantu, správně by měly být hmoždinky zapaštěny do izolantu a překryty zátkou ze stejné tepelné izolace aby nedocházelo k jejich překreslování přes omítku
- prostupy pro vynesení stříšek, okapového svodu a jiné prostupy přímo procházející celou vrstvou izolantu – termicky vhodné oddělit
- nechtěné stlačení vláknitých desek u vrstvených izolací vkládaných do roštu (deska nemá izolační účinek jako v původní tloušťce)
- nedodržení doporučené tloušťky odvětrávaných mezer (střecha, fasáda)
- nerovnoměrná (nedostatečná rovinatost izolačních desek) či nedostatečná tloušťka omítkového systému a nedodržení zásad armování výztužnou tkaninou – způsobuje vytváření trhlin, zatékání a snížení životnosti
- nevhodné použití a umístění nasákových materiálů či dřevěných prvků – například ve styku s terémem nebo v místě ostříkujícího deště
- nedostatečná ochrana proti povětrnosti během výstavby (ochrana před zatečením) a použití konstrukční ochrany proti poškození povětrnosti (klempířské prvky, různé připojovací a dilatační profily) nebo zvířaty (ochrana dutin mřížky)

Samozejmě zásad pro návrh a provedení je mnoho více a zkušené stavební firmy by měly konkrétní postupy znát nebo se nechat na daný systém proškolenit. Klíčovou roli zde hraje i stavební dozor, který by měl nejasnosti konzultovat s architektem či projektantem. Důležité může být i zaškolení řemeslníků ohledně zásad prvků pasivních domů, jako je těsnost obálky, tepelné mosty apod. Náklady na autorický dozor a kontrolní dny se některým investorům zdají jako vyhozené peníze, no bohužel položky za opravná řešení či znehodnocení některých prvků je mohou několikanásobně převyšit. Účinným prostředkem zajištění kvality a také ochrany práv stavebníka je technický dozor investora.

## Typy tepelných izolací

Tepelných izolací je nepřeberné množství. Následující přehled tepelných izolací zdaleka není jejich vyčerpávajícím výčtem, ale je přehledem materiálů běžně dostupných a používaných v českém prostředí.

### Expandovaný pěnový polystyren – EPS

Je stále ještě nejrozšířenějším tepelným izolantem. Polystyren vzniká jako produkt polymerace styrenu. Následně je materiál tepelně zpracován a vypěňován do forem. Bloky se pak řežou na desky požadovaného rozměru. Dalším zpracováním se dociluje samozhášivosti (přidávají se retardéry hoření).

Ve stavitelství se používají čtyři základní varianty, které předurčují jeho použití.

- **Z** (základní) – nízká přesnost desek, použití: podlahy
- **S** (stabilizovaný) – používaný ve střeších
- **F** (fasádní) – vysoká přesnost desek (tolerance max. 2 mm), zejména pro kontaktní zateplovací systémy
- **Perimetr** – desky jsou minimálně nasáklivé a mrazuvzdorné. Využívá se tam, kde by mohlo dojít ke kontaktu s vodou, např. izolace soklu.

Typ polystyrenu se označuje např. EPS 70 S. Číslo značí pevnost v tlaku v kPa. Běžně jsou k dostání polystyreny tříd 50, 70, 100, 150, 200 a 250.

Materiál běžně dosahuje hodnot deklarovaného součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_D = 0,036 \text{ W/(m.K)}$  pro EPS 100. V současné době je již na trhu polystyren s příměsí grafitu (tzv. „šedý EPS“), který dosahuje výborných hodnot  $\lambda_D$  až  $0,031 \text{ W/(m.K)}$ . Výhodou je vyšší izolační schopnost při menší tloušťce. To je důležité jak u rekonstrukcí, kde nemůžeme navyšovat tloušťku stěny, tak i u novostaveb, kde se snažíme dosáhnout co nejlepších tepelně-izolačních parametrů při co nejmenší tloušťce.

Expandovaný polystyren nelze dlouhodobě vystavit vlhku ani účinkům UV záření a je omezená i jeho pevnost. U novostaveb se EPS upevňuje při dostatečně soudržném podkladním materiálu, rovinnosti a výšce objektu do 8 m nejčastěji celoplošným lepením bez mechanického kotvení. V ostatních případech a u rekonstrukcí je nutné desky mechanicky kotvit hmoždinkami. Běžné talířové hmoždinky procházející izolantem jsou dražší a díky nutnosti zapouštět je do izolantu a následně překrýt izolační zátkou i pracnější. Vhodnější je pak použít speciální talířové hmoždinky tzv. lepicí kotvy na, které se izolační desky nalepí. Izolace se aplikuje v jedné vrstvě, i když jde o tloušťky třeba 30 cm. V takovém případě nehrozí kondenzace vlhkosti, která by v případě vrstvené izolace mohla vznikat. Mezi výhody polystyrenu patří jednoznačně jeho nízká cena a snadná dostupnost, nevýhodou je nižší propustnost vodních par.

### Extrudovaný polystyren – XPS

Na první pohled jiný typ polysterenu, který je barevně odlišen dle výrobce (modrý, zelený, žlutý, růžový, fialový, atd.) a lišící se od standardního bílého expandovaného polysterenu jak způsobem výroby tak i vlastnostmi. Extruzí či protlačení pěny má extrudovaný polystyren (XPS) narozdíl od EPS uzavřenou strukturu bez mezer. To dává XPS velmi dobré parametry co se týče pevnosti v tlaku (únostnost), minimální nasáklivosti a nulové kapilarity s vazbou na stálost hodnoty součinitele tepelné vodivosti, která se pohybuje v intervalu  $0,029\text{--}0,038 \text{ W/(m.K)}$ .

Obecně se rozděluje XPS dle níže uvedených kritérií:

- dle pevnosti v tlaku (kPa) – XPS 200, 250, 300, 500,
- dle povrchu – hladký, zdrsněný, protlačovaný,
- dle profilu hran – rovný, polodrážka, pero-drážka.

U pasivních domů se díky svým vlastnostem XPS nejčastěji používá při založení betonové desky na izolaci, v inverzní neboli obrácené skladbě ploché střechy tedy i zelené střechy, dále při izolování základů, suterénu, soklu, podlahy a eliminaci tepelných mostů. Jako všechny pěno-plastické izolace povrchově degraduje UV zářením.

### Minerální vlna – MW

Po pěnovém polystyrenu se zatím u nás jedná o nejrozšířenější tepelnou izolaci. Vyrábí se průmyslově tavením hornin. Surovinou pro výrobu je buď čedič nebo křemen a další sklotvorné příměsi, kde může značný podíl tvořit také recyklát. Název podle suroviny je potom kamenná nebo skelná vlna. Pojivem jsou nejčastěji fenol-formaldehydové pryskyřice, které někteří výrobci již nahrazují šetrnějšími a zdravotně nezávadnými alternativami. Desky jsou v celém objemu hydrofobizované, ale nelze je trvale vystavit vlhku. Běžně dosahují hodnot tepelné vodivosti mezi  $\lambda_D 0,035\text{--}0,040 \text{ W/(m.K)}$ , v současnosti se na trhu objevují i výrobky s nižšími hodnotami až  $\lambda_D 0,030$ .

Předností je jednoznačně odolnost vůči vysokým teplotám – používají se například v kombinaci s polystyrenem u panelových budov nad požárně dovolenou výškou nebo pro vytvoření požárních pásů. Další výhodou minerální vlny je její nízký difúzní odpor a tím vysoká paropropustnost. Díky této vlastnosti se minerální vlna často úspěšně používá ve skladbách provětrávaných fasád (kde je požadována větší požární odolnost) nebo dvouplášťových střešních.

Při kontaktním zateplení je desky nutné lepit a mechanicky kotvit hmoždinkami, které je nutné zapouštět a zátkovat kolečky z izolace. Při vrstvení do roštu je potřeba dát pozor na provazování vrstev. Aplikace může probíhat buď klasicky, kontaktním způsobem pomocí lepicí stěrky a kotvením, nebo vkládáním desek či foukáním rozvlákněného materiálu do připraveného dřevěného roštu. Při aplikaci ale i po zabudování je nutné kvůli vysoké nasáklivosti chránit izolaci od vlhkosti (např. nesmí být zabudována pod úroveň terénu, při montáži je nutné ji chránit proti promáčení deštěm či zatečením, apod.). Jako u všech druhů vláknitých izolací se více projevuje vliv vlhkosti na zhoršování hodnot tepelné vodivosti.

### Pěnový polyuretan – PUR

Polyuretan může být ve formě měkké pěny, která zlidověla pod označením molitan. Ve stavebnictví se ale používá téměř výhradně tvrdá polyuretanová pěna. Jedná se o účinnou tepelnou izolaci s velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda_D$  až pod hodnoty  $0,025 \text{ W/(m.K)}$ . Aplikuje se buď přímo na místě stříkáním nebo litím, nebo je dodáván ve formě desek či tvarovek. Tvrdý pěnový polyuretan může mít i zvýšenou odolnost vůči tlaku, a může být použit pro eliminaci tepelných mostů (např. práh u dveří, atd.), či kotvicí tvarovky. Podobně jako polystyren nesnáší UV záření, a je nutné jej před ním chránit. U polyuretanu je potřeba také zmínit vyšší energetickou náročnost a produkci škodlivin během procesu výroby. Také je diskutabilní obsah izokyanátů jakožto alergenů, které jsou přítomny u většiny materiálů na bázi polyuretanu.

## Pěnové sklo

Materiál vzniká ztavením směsi skleněného a uhlíkového prášku. V nově vzniklém materiálu, který je vlastnostmi podobný sklu, se vytváří drobné bublinky, jejichž stěny jsou zcela uzavřené. Tím docílí materiál úplné nehořlavosti a parotěsnosti. V pasivních domech se v současnosti využívá především pro přerušení tepelného mostu, například u paty nosných stěn. Jeho širšímu použití na stavbě brání jeho vysoká cena. Větší využití nachází pěnosklo v průmyslu, kde se aplikuje na podlahy či střechy s extrémním tlakovým namáháním. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v závislosti na únosnosti mezi 0,040–0,050 W/(m.K). Při pokládce se desky lepí k napenetrovanému podkladu horkým asfaltem.

Dalším produktem je štěrk z pěnového skla, který se využívá zejména při zakládání domu na izolaci, což umožňuje dosáhnout celistvou izolační obálkou bez tepelných mostů. Výhodou je jeho vysoká únosnost a nenasákavost. Při aplikaci je potřeba počítat s koeficientem zhuštění 1,2–1,4, při kterém dosahuje štěrk pěnového skla hodnotu  $\lambda_D = 0,075\text{--}0,085\text{ W/(m.K)}$ . Pro pasivní domy tak potřebujeme vrstvu přibližně 500 mm zhuštěného skleněného štěrku.

## Vakuová izolace

Vakuová izolace patří mezi takzvané high-tech izolační materiály. U nás se používá zřídka zejména kvůli vysoké ceně. Dodává se ve formě panelů obalených v metalizované fólii. Plnivo tvoří pyrogenní kyselina křemičitá, která zajišťuje prvku unikátní vlastnosti. Součinitel tepelné vodivosti vakuové izolace v neporušeném stavu se udává  $\lambda_D = 0,004\text{ W/(m.K)}$ , do výpočtu se počítá s vyšší hodnotou se zhoršením kvůli stárnutí a započítání vlivu okraje desek –  $\lambda_D = 0,008\text{ W/(m.K)}$ . Při těchto hodnotách je možné použít k izolování stěny na úroveň pasivního domu pouze 6 cm široký panel. Vakuové panely nachází uplatnění zejména při řešení komplikovaných konstrukčních detailů např. při zaizolování roletového boxu, podlaha na terase, podlaha u rekonstrukcí s omezenou světlou výškou, apod. atd. V zahraničí i u nás jsou však i realizace, kde byla provedena kompletní izolace domu pomocí systému vakuových panelů – fasáda, střecha, podlaha.

## Celulóza

Jedná se o tepelnou izolaci z celulózových vláken, která se vyrábí metodou recyklace starého novinového papíru. Základní surovinou izolace je tedy dřevo. Ve výrobě je rozemletím a rozvlákněním získáno celulózové vlákno, které je smícháno s přísadami zajišťujícími odolnost proti hnilobě, požáru a hlodavcům. Základními používanými přísadami jsou boritany, fosforečnan amonný či síran hořečnatý, který je zdravotně i ekologicky nezávadný. Celulóza je v pasivních stavbách masivně využívána zejména v dřevostavbách, které zde tvoří vysoké procento novostaveb (viz grafy).

Celulóza se aplikuje s pomocí strojního zařízení foukáním za sucha nebo formou nástřiku. Aplikace suché izolace je možná tzv. volným foukáním (například půdy) nebo mnohem častěji tzv. objemovým plněním do připravených dutin stěn, střech nebo stropů. Systém umožňuje izolovat bez spár a řešení i komplikovaných a těžko dostupných míst. Výhodou je, že při aplikaci nevznikají odřezky a jiný. Při kalkulaci ceny je nutné počítat s koeficientem zhuštění při aplikaci do různých typů konstrukcí.

U volného foukání se objemová hmotnost pohybuje od 30 kg/m<sup>3</sup>. Při vyfoukávání dutin je objemová hmotnost vyšší, až po 70 kg/m<sup>3</sup> do vertikálních dutin, při které po správné aplikaci nedochází k sesedání.

Při volném foukání je pro dosažení potřebné tloušťky potřeba počítat se sedáním asi 10 %. Foukání do dutin má také své zásady pro provádění. Vertikální dutiny musí být maximálně 3 m vysoké a asi 80 cm široké, aby došlo k potřebnému zhuštění v celém prostoru. K rozdělení komor se nejčastěji používá pevnější netkaná textilie nebo dělicí příčky tvoří přímo nosník. Dutiny je nutné místo fólie uzavřít pevným materiálem, například OSB či DHF deskami, které se při aplikaci neprohnují a nesníží se tím např. tloušťka provětrávané mezery u fasády nebo střechy.

Nástřik celulózové izolace (dle tloušťky smícháno s vodou nebo lepidlem) je možné použít pro stěny v interiéru i exteriéru. Tloušťka nástřiku se může pohybovat až do 15 cm. Objemová hmotnost nástřiku se pohybuje okolo 80 kg/m<sup>3</sup>.

Dle různých způsobů aplikace celulóza dosahuje hodnot  $\lambda_D = 0,035\text{--}0,042\text{ W/(m.K)}$ . Izolace má nízký difúzní odpor a zajímavá je také hodnota měrné tepelné kapacity (tepelná setrvačnost), ta je oproti „umělé“ vyráběným izolacím dvojnásobná – 1907 J/(kg.K).

Zvláštní vlastností tzv. „živých izolací“ (všechny izolace na přírodní bázi) je, že do buněčné struktury váží vlhkost a rozvádí ji. V praxi to znamená, že taková izolace je méně náchylná na případný vnik vlhkosti do konstrukce, která se neshlukuje, ale je rovnoměrně rozložena.

## Sláma

Obliba slaměných balíků jako tepelné izolace v poslední době roste zejména mezi ekologicky smýšlejícími stavebníky. Používá se často v kombinaci s dalšími přírodními materiály jako jsou hliněné omítky a nepálené cihly. Fyzikální vlastnosti závisí z velké části na kvalitě a objemové hmotnosti slaměných balíků. Obecně je u slámy v porovnání s průmyslovými izolacemi potřeba počítat s vyšší pracností vzhledem k nerovnosti a rozměrové balíků a s tím spojeným vycpáváním. Kvalitně slisované slaměné balíky o objemové hmotnosti 90–110 kg/m<sup>3</sup> dosahují hodnotu  $\lambda_D = 0,052\text{ W/(m.K)}$  při použití kolmo na stěbla. Slámu lze použít buď v kombinaci s nosnou stěnou, nebo může sama sláma sloužit jako nosná konstrukce. Izolace má ve spojení s hliněnou omítkou požární odolnost až 90 minut, vyhovuje proto všem typům konstrukcí. Velmi důležité je oddělení balíků od všech zdrojů vlhkosti omítkou nebo obkladem.

## Izolace z dřevitých vláken, konopí a lnu

Desky z dřevitých vláken se dají považovat za přírodě šetrný materiál, při jejich výrobě je použito jen minimální množství lepidla. Mezi velkou výhodou patří mimořádně vysoká tepelná kapacita ( $c = 2100\text{ J/(kg.K)}$ ), díky které má izolace větší schopnost zabraňovat přehřívání interiéru v letních měsících než ostatní běžné izolace (EPS, MW). Desky jsou dobře paropropustné a hodnota  $\lambda_D$  se pohybuje v rozmezí 0,038–0,050 W/(m.K). Desky z dřevitých vláken se často využívají u dřevostaveb i jako pokladní vrstva pro omítku či další aplikace, jako kročejová izolace či pojistná hydroizolace.

Podobné vlastnosti jako dřevitá vlákna mají také izolace z technického konopí a lnu.



Obr. 6 Díky vysoké únosnosti a nenasákavosti je extrudovaný polystyren ideální pro použití například při založení betonové desky na izolaci. Tím je eliminován tepelný most v patě zdi a tepelná izolace probíhá kolem domu bez přerušení.



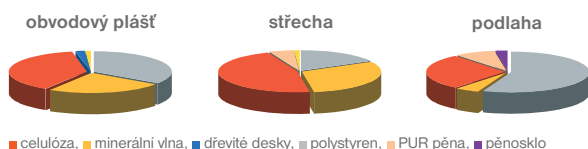
Obr. 7 Šterk z pěnového skla je často používán při zakládání betonové desky na izolaci. Na ztuhnutou vrstvu pěno-skla se následně provede armovaná železobetonová deska.



Obr. 8 Celulóza se nejčastěji aplikuje volným foukáním nebo pod tlakem do uzavřených dutin. Výhodou je cena a rychlost aplikace.



Obr. 9 Izolace z přírodních materiálů mají obdobné využití jako běžné izolace - vkládané do roštu nebo o vyšší objemové hmotnosti jako fasádní izolace s tenkovrstvým omítkovým systémem.



Obr. 10 Porovnání použití jednotlivých druhů izolací v konstrukcích pasivních domů v Německu. Zdroj: Passivhaus Institut.

Vydalo:

Centrum pasivního domu  
 Údolní 33, 602 00 Brno

Autor textů: Jiří Cihlář, Juraj Hazucha

Fotografie: Aleš Brotánek, Knauf Insulation, Kalksandstein, Dow Europe, Juraj Hazucha

© 2010 Centrum pasivního domu

[www.pasivnidomy.cz](http://www.pasivnidomy.cz)

## Základní vlastnosti jednotlivých druhů izolací

V tabulce je porovnání nejčastěji používaných tepelných izolací v pasivních domech, které jsou běžně k dostání na českém trhu. Cena je kalkulována většinou jako součet více vrstev o odpovídající doporučené tloušťce (tloušťka není v nabídce dodavatelů, překrytí na vazbu eliminuje tepelné mosty na styku dílců).

Pro porovnání ekologické stopy materiálů je v tabulce uvedena i hodnota svázané primární energie (PEI), tzv. „šedá energie“. Jedná se o množství spotřebované primární energie vynaložené ke získání suroviny, výrobě a dopravě materiálu v MJ/kg (1MJ = cca. 0,27KWh). Je to jedním z faktorů ekologického hodnocení materiálů, které stále víc nabývá na důležitosti. Další hodnoty jako emise CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub> nejsou v tabulce uvedeny.

typ izolace	součinitel tepelné vodivosti * λ <sub>D</sub>	faktor difúzního odporu	doporučená tloušťka izolace **	svázaná primární energie (PEI)
cihla děrovaná	0,090	9	750	2,49
expandovaný polystyren EPS	0,031–0,040	40–100	300	98,5
extrudovaný polystyren XPS	0,029–0,038	100–200	280	104,0
pěnový polyuretan PUR	0,024–0,028	180–200	220	49,8
minerální vlna	0,030–0,042	1–3	300	23,3
pěnové sklo	0,040–0,050	70 000	300	15,7
pěnové sklo šterk	0,075–0,090	1	600	6,7
vakuová izolace	0,008	> 100 000	60	62,1
celulóza	0,037–0,042	1–2	320	7,0
dřevité desky	0,038–0,046	5	330	13,7
desky na bázi konopí	0,040	1–4	320	31,1
sláma	cca 0,050–0,060	2–3	400	3,2

\*) Hodnota součinitele tepelné vodivosti se mění s různou objemovou hmotností a tloušťkou. Uváděné hodnoty nejsou návrhové, ale deklarované. Dle typu izolantu a jeho použití v konstrukci je potřeba započítat vliv vlhkosti, která vede k zhoršení tepelných izolačních vlastností zejména nasákavých materiálů.

\*\*) Tloušťka izolace při vnějším zateplení masivní stavby na úroveň běžnou u pasivních domů – U = 0,12 W/(m<sup>2</sup>.K). Nosnou vrstvu tvoří vápenopískové cihly tloušťky 175 mm (neuvažován vliv omítek). Pro zjednodušení a přehlednost je tato skladba uvažována i u materiálů, které se častěji používají u dřevostaveb.

## Závěr

Při výběru tepelné izolace do skladby konstrukce je nutné pečlivě uvážit požadované vlastnosti izolace, které se u jednotlivých typů zásadně liší. Kritériem výběru kromě fyzikálních vlastností a ceny může být také ekologické hledisko. Správná funkce izolace závisí na promyšleném návrhu řešení konstrukce a také precizním zabudování a kontrole na stavbě.