

Tepelné izolace z hlediska svázané primární energie

Ing. arch. Tomáš Hlavsa
Školitel: Doc. Ing. Miloslav Meixner, CSc.
Ústav stavitelství, FA VUT Brno

Abstrakt

Vyhodnocení tepelných izolací z hlediska primární vázané energie potřebné na jejich výrobu a jejich podílu na tepelné obálce budov.

Klíčová slova: primární energie, tepelná izolace, součinitel tepelné vodivosti, tepelná obálka budovy

1 Úvod

Tepelná izolace je v našich klimatických podmínkách nedílnou součástí staveb. Současně se zvyšováním požadavků na tepelnou obálku budov a s rozvojem nízkoenergetických a pasivních domů se tepelná izolace dostává do popředí zájmu a nemalou měrou ovlivňuje architektonické a technické řešení staveb. Zvětšování tloušťky běžných tepelné izolačních materiálů v důsledku potřeby snížení prostupu tepla není možné do nekonečna a zejména sebou přináší velké množství technických problémů. Tento fakt napomáhá rozvoji a uplatnění nových materiálů a technologií jejich zpracování.

Tepelně izolační materiály plní ve stavbách několik úkolů. Vedle stavebně-fyzikálních, konstrukčních, apod. je jedna z jejich hlavních funkcí úspora energií. V našich klimatických podmínkách zejména úspora energie potřebné na vytápění. V tomto případě tvoří klíčovou část tepelné obálky. Toto snížení potřeby provozní energie je ovšem kompenzováno zvýšením zabudované energie v podobě použitého izolantu. Pro porovnání ekologických dopadů z hlediska energie se zavádí tzv. svázaná primární energie (PEI). Jedná se o množství spotřebované primární energie vynaložené k získání suroviny, výrobě a dopravě materiálu v MJ/kg. Chceme-li tedy při návrhu stavby hodnotit environmentální hlediska je třeba tento parametr zahrnout do výpočtu.

V následující části se pokusím představit několik druhů tepelných izolací a stanovit PEI pro ekvivalentní tloušťku z hlediska tepelného odporu.

2 Přehled materiálů

Pěnový polystyren EPS

Základní surovinou pro výrobu pěnového polystyrenu je zpěňovatelný polystyren ve formě perlí, obsahujících zpravidla 6-7% pentanu jako nadouvadla. Tyto perle se vyrábějí suspenzní polymerací monomeru styrenu a jsou dodávány výrobcům pěnového polystyrenu v několika velikostních skupinách od 0,3 do 2,8 mm, v závislosti na konkrétní aplikaci. Styren i pentan jsou látky, které se běžně vyskytují v přírodě. Obě tyto látky se pro průmyslové využití vyrábějí z ropy.

Pěnový polystyren s příměsí grafitu

Jedná se o pěnový polystyren obsahující mikročástice grafitu, které zajišťují, aby každá buňka pěnového polystyrenu s extrémně tenkým grafitovým povrchem pracovala jako miniaturní tepelné zrcadlo. Miliony buněk tohoto pěnového polystyrenu se stopovou přísadou grafitu odrážejí teplo zpět k jeho zdroji a podstatně tak zlepšují nejdůležitější vlastnost – tepelnou izolaci.

Extrudovaný polystyren XPS

Tento polystyren se vyrábí v podstatě ze stejné základní suroviny jako klasický pěnový polystyren, ale jinou technologií. Granule jsou dávkovány do násypky a roztaveny a těsně před výstupem z vytlačovací hubice extrudéru je do taveniny vhaněn nadouvací plyn CO₂. Následně je materiál vytlačován na pás výrobní linky, kde je po vychladnutí a ztvrdnutí formátován včetně konečné úpravy hran desek. Touto technologií výroby se získá výrobek s homogenní strukturou s uzavřenými buňkami – s velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, s velkou pevností v tlaku a s velmi malou nasákavostí.

Pěnový polyuretan PUR

Základem syntézy polyuretanových pěn je reakce izokyanátů, polyolů, aminů a vody. Volbou vhodné kombinace těchto látek, které vstupují do reakce, lze získat polyuretany lišící se svými vlastnostmi – od velmi elastických (pružných) pěn až po „silně zesíťované“ tvrdé pěny. Pro dosažení určitých vlastností PUR pěny je nutno k reagujícím složkám přimísit četné pomocné a přídavné látky, které ovlivňují výslednou podobu vytvořené PUR pěny a na místě smísit obě dvě složky za podmínek a ve směšovací poměru daném výrobcem a vytvořit finální výrobek.

Polyisokyanurát PIR

Kingspan Thermaroof™ TR26 LPC/FM (obchodní značka) je potažen na obou stranách sendvičovou fólií s nízkou emisí a autoadhezivně spojen s nepropustným jádrem během výroby. Fóliový potah je vysoce odolný vůči přenosu vodních par. Jádro Kingspan Thermaroof™ TR26 LPC/FM je vyrobeno dle technologie Nilflam®, která neobsahuje CFC ani HCFC a je na bázi polyisokyanurátu (PIR). Kingspan Thermaroof™ TR26 LPC/FM má typickou hustotu 32 kg/m³. Bez CFC/HCFC Kingspan Thermaroof™ TR26 LPC/FM je vyroben bez použití CFC a HCFC. Výroba má nulovou spotřebu ozónu takzv. ODP (Ozone Depletion Potential).

Fenolická pěna

Kingspan Kooltherm K5 je tepelná izolace na bázi fenolické pěny. Materiál je díky svým Tepelněizolačním a mechanickým vlastnostem, dobré zpracovatelnosti a dalším technickým parametrům vhodný pro vytvoření tepelněizolační vrstvy ve vnějším kontaktním zateplovacím systému (ETICS). Tepelněizolační desky Kingspan Kooltherm K5 se skládají z jádra a z povrchové úpravy provedené na obou stranách desky. Jádro desky je tvořené tuhou fenolickou pěnou (PF). Neobsahuje CFC ani HCFC. Povrchová úprava je ze skleněné tkaniny, která je s jádrem adhezivně spojená během výrobního procesu.

Pěnosklo

Granulát - Pěnové sklo je tepelně-izolační materiál vyrobený z recyklovatelného skla. Výrobní technologie spočívá ve zpracování odpadových střípků z obalového skla.

Desky - pěnové sklo FOAMGLAS® se vyrábí ze speciálního aluminio-silikátového skla. Po vychlazení je sklo rozemleto na velmi jemný prášek. Tento skleněný prach je při mletí smíchán s ještě jemnějším uhlíkovým prachem. Výsledná směs je v tenké vrstvě rozprostřena do ocelových forem. Formy jsou následně zahřáté v tunelové peci na cca 1000°C. Tak dojde k opětovnému roztavení skleněného prášku a k současné oxidaci částic uhlíku na CO₂. Tento plyn vytvoří drobné bublinky, které až dvacetinásobně zvětší původní objem roztaveného skla a vyplní celou formu. Po vypěnění je vzniklý blok pěnového skla zvolna ochlazován z 1000°C na 20°C. Po konečném zchlazení pěnového skla zůstává v jeho jednotlivých buňkách CO₂ v podtlaku cca 1/3 atmosférického tlaku, který vzniká z důvodu zmenšení objemu ochlazovaného plynu. Po vychlazení jsou bloky pěnového skla obroušeny, zbaveny povrchové "kůrky" a je důkladně zkontrolována kvalita a homogenita vypěnění. Bloky, které vyhoví všem kontrolám, jsou dále řezány na desky spádované desky či jiné tvarovky.

Vakuově - izolační panel

Vakuové izolační panely (označované zkratkou VIP) používají jako výplň tuhovou síťovou strukturu složenou z klastrů (shluků) částic oxidu křemičitého (SiO_2) nanometrických rozměrů. Další důležitou součástí VIP je vzduchotěsný a mechanicky tuhý obal, který umožní úplné a trvalé odčerpání vzduchu z výplně SiO_2 i bezporuchovou manipulaci s panely při výstavbě. Výrobci dnes Docilují až 99.999999 % vakua a tím tepelného odporu 250 $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ pro libovolnou tloušťku. Panely VIP se vyrábějí v rozměrech stavebních izolačních desek, jejich tloušťka je malá, od 2 do 8 cm. Dosahují součinitele tepelné vodivosti od $\lambda = 0,004 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Kamenná vlna

Kamenná vlna vzniká tavením čediče v kupolové peci při teplotě nad 1500°C . Vznikne láva, která se při vytékání na rotující válce změní odstředivou silou na malé kapky, které odlétávají do usazovací komory. Kapky lávy se vlivem velké rychlosti natáhnou a tím vznikne jemné vlákno - základ izolace. Do tohoto vlákna se vstříkuje pojivo, vodoodpudivé přísady (hydrofobizační olej), protiplísňové a další přísady. Vlákno se rovnoměrně usadí na pás a pokračuje do vytvrzovací pece, kde se spolu s pojivem a všemi přísadami teplem vytvrzuje. Z vytvrzovací pece vychází pás kamenné vlny přes přítlačné zařízení, které spolu s rychlostí posuvu pásu a intenzitou přísunu vláken zajišťuje požadovanou objemovou hmotnost a tloušťku konkrétního výrobku. Přes chladicí komoru se nekonečný pás kamenné vlny dostává k diamantové pile, která má naprogramovány požadované rozměry konkrétního výrobku.

Skelná vlna

Výroba je založena na metodě rozvlákňování taveniny skla a dalších příměsí a přísad. Vytvořená minerální vlákna se v rámci výrobní linky zpracují do finálního tvaru pásu. Vlákna sou po celém povrchu hydrofobizována.

Dřevovláknité izolace

Dřevovláknité desky jsou vyráběné z jemných dřevěných vláken. Různé druhy desek se vzájemně odlišují svými vlastnostmi, a to především v závislosti na objemové hmotnosti, která se pohybuje přibližně v rozmezí 160 – 270 kg/m^3 . Vlákna desky jsou pojena ligninem, pojivem obsaženým v rostlém dřevě, takže výrobek je zcela ekologicky nezávadný (atest). Pro exteriérové aplikace či aplikace v prostorách se zvýšenou vlhkostí je možné použít desky ve hmotě hydrofobizované parafínem. Desky se dodávají jak s rovnými okraji (obvyklé pro desky s nižší objemovou hmotností), tak i s okraji tvarovanými pro spoj na pero a drážku (obvyklé pro desky s vyšší objemovou hmotností).

Ovčí vlna

Izolace z ovčí vlny představuje ve stavebnictví tepelnou a akustickou izolaci, která se vyrábí z čistě přírodní ovčí vlny. Izolace z vlny je živočišný, čistě ekologický a zdravotně nezávadný produkt s velmi dlouhou životností, je trvale obnovitelný a energeticky nenáročný. Vyrábí se ze střížní vlny živých ovcí a dodává se v různých variantách provedení.

Korek

Korek je přírodní materiál se specifickou buněčnou strukturou, díky níž ho lze použít k výrobě izolací proti hluku, úniku tepla a vibracím. Svě uplatnění nachází v průmyslových a stavebních odvětvích. Využívá se nejen k exteriérovému zateplení fasád, izolování střech, ale i k interiérovému izolování zvuku a tepla. Korek se získává oloupáním kůry z korkového dubu (*Quercus Suber*), který má schopnost kůru regenerovat a umožňuje její loupání, aniž by se poškodil samotný strom. Vlastnosti korku vyplývají z jeho struktury a chemického složení. Protože korkové pletivo obsahuje 89,7 % plyných látek, jeho hustota je nízká. Tento údaj vyjadřuje velký nepoměr mezi objemem a hmotností korkové suroviny. Plyný prvek nacházející se v korku téměř neumožňuje vodivost z hlediska

tepelného, zvukového nebo vibračního působení. Díky své struktuře má dobrou stlačitelnost a je flexibilní. Korková izolace se vyrábí ve formě expandované drtě nebo desek. Korkové desky se zhotovují bez použití cizích pojiv. Při zvýšené teplotě v kombinaci s vysokým tlakem se z korkových granulátů vytlačuje vlastní pryskyřice, čímž dochází k propojení granulátů do deskové formy s rozměry 1 000 × 500 mm.

Konopí

Přírodní vlákna z konopí setého jsou velmi odolná a výborně se hodí pro výrobu tepelných izolací. Tato tepelná izolace vykazuje velkou stabilitu, je odolná proti roztrhání. Pro zlepšení její ohnivzdornosti se k vláknům při výrobě izolace přidávají retardéry (uhlíčan sodný, jedlá soda). Izolace neobsahuje škodlivé látky ani alergeny. V konopných vlákních se nenacházejí bílkoviny, proto s jistotou lze říci, že ji nenapadnou škůdci (moly, hlodavci, ...). Izolace z konopí má výborné sorbční vlastnosti, díky této schopnosti nepodléhá hnilobě. Jako tepelná izolace se používá k izolování střeš, obvodových stěn, utěsnění oken a spar, dále jako akustická izolace do podlah. Konopné izolace jsou difúzně otevřeným materiálem, který zaručuje příjemné klima v interiéru.

Len

Len je od přírody vybaven tím nejbezpečnějším systémem obrany proti molům: neobsahuje absolutně žádnou živočišnou bílkovinu. Protože se lněná vlákna nemusejí prát, ochranný lněný vosk na vlákních zůstává. Vlákna se spojují do desek po vrstvách přírodním lepidlem ze škrobu. Tyto izolační desky se vyznačují vysokou pružností, a lze je proto jednoduše a beze spár upnout mezi krokve.

Sláma

Sláma je obnovitelnou surovinou, která je k dispozici v tuzemsku. Možnosti použití jsou ale velmi omezeny vlastnostmi tohoto materiálu. Slámu lze použít v neupraveném stavu, v balících přímo z pole. V tom případě se používá i jako zdivo (nosné nebo výplňové). Sláma má průměrnou izolační účinnost a propouští vodní páry. Hlavní problém slámy představuje její velká hořlavost, kterou lze jen stěží snížit pomocí ochranných prostředků proti vznícení, které na hladkém povrchu stébel neudrží. Pokud ve slámě nezůstane zrno, nejsou známy problémy s hlodavci. Při zvlhnutí slámy hrozí vznik plísní a hub, jež mohou způsobit zdravotní problémy.

Celulóza

Tepelná izolace z celulózy je izolace ve formě jemných vloček vyrobených z tříděného novinového papíru, která se nafoukává do připravené konstrukce. Vlákniatá izolace funguje na principu mikroprostorů vyplněných vzduchem, který je uzavřen mezi vlákny. Jejich tepelněizolační kvalita závisí na jemném rozvláknění papíru s co největším počtem co nejmenších prostorů a vláken, které nesmějí mít příliš vysokou tepelnou vodivost a musejí být dostatečně dlouhé. Těchto vlastností se dosahuje speciálními technologiemi turbínového rozvláknění. Základ papírových vloček tvoří rozvlákněná celulóza, která je obohacena boritými solemi. Tyto přísady ovlivňují vlastnosti hotového výrobku a zajišťují jeho odolnost proti ohni, proti vzniku plísní a vytvářejí prostředí, které je pro hmyz a drobné hlodavce nepříznivé. Celulóza nasypaná v konstrukci je pro myši nepříjemná, nedokáže však omezit jejich pohyb, protože není pro živý organizmus agresivní. V praxi se celulóza použila při zateplování mnoha zemědělských objektů s velkým výskytem hlodavců (zejména menších druhů myši), kde následně došlo k výraznému omezení jejich výskytu. Požární odolnost zaručují látky jako kyselina boritá, borax pentahydrát nebo síran hořečnatý. Prokázalo se, že materiál je do teploty 105 °C zcela stabilní a jeho struktura se nemění. Nedoporučuje se jeho použití při izolování povrchů, které tuto teplotu překračují, protože hrozí chemické změny přísad, tudíž by z dlouhodobého hlediska nemusela ochrana proti ohni dosahovat původních parametrů. Tepelná izolace z celulózy je schopna přijímat a vydávat vlhkost, proto dokáže

vytvořit příjemné vnitřní klima. Důležitou podmínkou kvalitní izolace z recyklovaného novinového papíru je platný certifikát a odborná montáž školenými mistry.

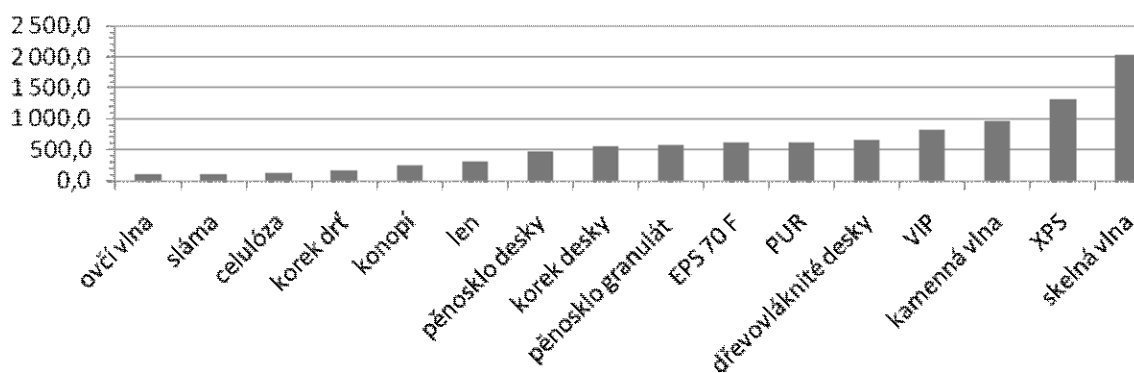
Aerogel

Aerogel je pevná látka s nejnižší známou hustotou. Jeden krychlový metr nejnovější a nejlehčí verze tohoto materiálu váží pouhých 1,9 gramů! Je také nazýván "pevným kouřem", neboť až 99,8 % jeho objemu tvoří vzduch. Zbývající 0,2 % tvoří oxid křemičitý. Aerogel je jediný materiál s porozitou přesahující 95 % a velmi širokou distribucí pórů od 10-10 do 10-6 m. Navíc jsou tyto póry otevřené, tzn. plyny nebo kapaliny mohou procházet materiálem s minimálními omezeními. Aerogely jsou tvořeny křemičitými strukturami ve tvaru dutých koulí o velikosti řádově několika nanometrů. Důsledkem tvaru a velikosti těchto stavebních kamenů aerogelu je jeho obrovský vnitřní povrch, tedy poměr mezi povrchem vnitřní struktury a jejím objemem. Jeden gram aerogelu má specifický povrch až 1000 m²! Vynikající termoizolační vlastnosti nízký součinitel tepelné vodivosti, pohybující se v rozsahu $\lambda = 0,015-0,020 \text{ W/m.K}$, a tedy v hodnotách nižších než u naprosto klidného vzduchu ($\lambda = 0,026 \text{ W/m.K}$), je dán skutečností, že rozměr pórů je menší než střední volná dráha molekul vzduchu. Jemná struktura tak omezuje přenos tepla vzájemnými kolizemi molekul vzduchu. Teplota tavení aerogelu je kolem 1200 °C! Propustnost slunečního záření aerogelu se pohybuje v rozsahu $T = 0,85$ až $0,95$ podle tloušťky vrstvy aerogelu. Přitom aerogel je jediná hmota s výraznými tepelněizolačními schopnostmi, která je současně čirá. Aerogely mohou být připraveny z řady chemických prvků. Nejběžnější jsou aerogely křemičité, byly však vyrobeny také aerogely na bázi uhlíku, hliníku, chrómu, zinku, cínu a zkoumají se možnosti využití méně obvyklých prvků jako např. tantalu či niobu. Aerogel se vyrábí z gelu oxidu křemičitého (SiO₂) při vysokých tlacích a teplotách s přídavkem katalyzátorů. Po odstranění veškeré kapalné složky z gelu vznikne těleso s miliardami skořápek z křemíku, které zaručuje celé struktuře odolnost proti působení tlaku. Celý tento proces se nazývá superkritické vysoušení. Vzhledem k velmi vysoké porozitě běžný aerogel výrazně váže vodní páru a při styku s vodou se rozpouští zpět do podoby gelu. Jeho aplikace je tedy podmíněna hermetickým uzavřením. V současné době probíhá výzkum a vývoj výrobních postupů, které by zlevnily investičně náročnou produkci (snížení tlaků a teplot) a zlepšily fyzikální vlastnosti aerogelu (snížení křehkosti, hydrofobní aerogely, velkoplošné monolitické aerogely atd.). Americká firma Aspen Aerogels vyrábí izolační rohože na bázi aerogelu vyztužené textilními vlákny. Jsou vhodné pro izolace nejrůznějších potrubí, tepelných výměníků, pro stavbu protipožárních bariér, dokonce se používají pro výrobu vložek do bot. Tyto izolační rohože se aplikují stejným způsobem jako běžné izolační materiály. Švédská firma Airglass vyvíjí nový materiál pro zasklívání oken, složený z vrstvy aerogelu vakuově uzavřené mezi dvě desky skla. Výroba je zatím ve fázi poloprovozu, měsíčně se vyrobí 3-6 m², které zatím slouží pouze k testování.

3 Tepelné izolace z hlediska PEI

	objemová hmotnost	součinitel tepelné vodivosti	PEI	PEI přepočítáno na ekvivalentní tloušťku TI odpovídající R = 8,0 m ² .K/W
	[kg/m ³]	[W/m.k]	[MJ/kg]	[MJ/m ²]
ovčí vlna	23	0,039	14,7	105,5
sláma	70	0,060	3,2	107,5
celulóza	60	0,039	7,0	131,0
korek dř	70	0,040	7,1	159,0
konopí	30	0,039	27,1	253,7
len	30	0,037	34,0	301,9
pěnosklo desky	100	0,038	15,7	477,3
korek desky	150	0,064	7,1	545,3
pěnosklo granulát	180	0,060	6,7	578,9
EPS 70 F	20	0,039	98,5	614,6
PUR	65	0,024	49,8	621,5
dřevovláknité desky	160	0,038	13,7	666,4
VIP	435	0,0038	62,1	821,2
kamenná vlna	150	0,036	22,3	963,4
XPS	40	0,040	102,0	1305,6
skelná vlna	150	0,034	49,8	2031,8

Tabulka 1



Graf 1: PEI přepočítáno na ekvivalentní tloušťku TI odpovídající R = 8,0 m².K/W [MJ/m²]

4 Citace

<http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6791-drevene-konstrukce-a-prirodni-izolacni-materialy>
<http://www.bachl.cz/>
<http://www.systemvystavby.cz/technologie/izoblok-sedy-polystyren-grafit>
http://www.vsenastrechy.cz/files/polystyren_eps_xps.pdf
<http://www.odpadoveforum.cz/OF2010/dokumenty/prispevky/017.pdf>
<http://tvi-pur.cz/prodej/pur-peny/pur-peny-obecne>
<http://www.pasivnidomy.cz/tepelna-ochrana/tepelne-izolace.html?chapter=zakladni-vlastnosti-jednotlivych-druhu-izolaci>
<http://www.insulation.kIngspan.com/cesko/pdf/tr26.pdf>
http://dektrade.cz/Docs/technicke/tl_kIngspan-k5.pdf
<http://www.enviweb.cz/clanek/staveni/84815/aerogel-izolacni-material-budoucnosti>
<http://www.penove-sklo.eu/penove-sklo-018/>
http://www.foamglas.cz/tech_vlastnosti.htm
<http://www.virtualsro.cz/5-vakuove-izolacni-panely/>
<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vakuova-izolace/>
<http://www.tzb-info.cz/4480-vakuovane-izolacni-materialy>
<http://www.rockwool.cz/produkty>
<http://www.tepelne-izolace.cz/kamenna-vlna-rockwool>
<http://www.isover.cz/isover-multi-komfort-passivhaus-klemmfiz>
<http://www.eko-domy.com/hofafest.htm>
<http://www.izolacezvlny.cz/izolace-gold.html>
<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelni-izolace/tepelna-a-zvukova-korkova-izolace-816.html>
<http://www.korek.cz/zbozi/korek-ve-stavebnictvi/izolacni-korkove-desky/>
<http://www.obcanskavystavba.cz/clanek/prirodni-izolace-z-konopi/>
http://www.abrako.cz/ekobydlo_len.php
<http://www.veronica.cz/?id=173>
http://amper.ped.muni.cz/jenik/passiv/slama/aquath_05.htm
http://www.ekologickelisty.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=333&Itemid=58
<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelni-izolace/izolace-ze-dreva-a-celulozy-689.html>