

POROVNANIE SPAĽOVACÍCH TEPIEL TEPELNE-IZOLAČNÝCH MATERIÁLOV

PETER RANTUCH¹, JURAJ GARDIAN², IVAN HRUŠOVSKÝ³, JOZEF MARTINKA⁴

Abstract — Thermal insulation materials represent one of the key ways of increasing energy efficiency of buildings. The paper deals with comparison of higher heating value of selected insulation materials on the market. The values were obtained for five polystyrene-based materials, five wood-fiber based materials and for one of each materials based on hemp, polyurethane, cork, textiles, and mineral wool. Obtained data were calculated to mass and volume of the insulation. Equation taking into account the thermal conductivity in addition to the density of the material was proposed. When the higher heating value was calculated to the mass the highest values were obtained for polystyrene and in the rest two cases of calculation were the highest values obtained for wood-fiber insulation. Contrary, the mineral wool didn't ignite and therefore was the higher heating value considered to be zero.

Keywords — burning, thermal insulation, higher heating value

Abstrakt — Tepelno-izolačné materiály predstavujú jednu zo základných možností zvyšovania energetickej účinnosti budov. Článok sa zaoberá porovnaním spaľovacích tepiel vybraných tepelných izolácií dostupných na trhu. Ich hodnoty boli získané pre 5 materiálov na báze polystyrénu, 5 na báze drevovlákna a po jednom na báze konope, polyuretánu, korku, textílií a minerálnej vlny. Získané údaje boli prepočítané na hmotnosť a objem izolácie. Taktiež bol navrhnutý vzťah zohľadňujúci okrem hustoty aj tepelnú vodivosť materiálov. Pri spaľovanom teple vzťahnutom na jednotku hmotnosti dosahoval najvyššie hodnoty polystyrén a vo zvyšných dvoch prepočtoch spalného tepla drevovláknitá izolácia. Naopak pri minerálnej vlne nedošlo k jej iniciácii a spaľovacie teplo bolo preto považované za nulové.

Kľúčové slová — horenie, tepelná izolácia, spaľovacie teplo

ÚVOD

Najväčšia časť spotrebovanej energie je v Európe v prípade obytných budov využívaná na ich vykurovanie. Hoci sa v tejto oblasti predpokladá postupný pokles, pravdepodobne bude hrať prím aj v najbližších rokoch (obr. 1).

Vo všeobecnosti energetická efektívnosť obytných budov môže byť zvýšená:

1. použitím efektívnejších energetických zariadení,
2. vylepšením energetických charakteristík budov,
3. zmenou správania sa spotrebiteľov [1].

Tepelná izolácia znižuje množstvo energie potrebnej na udržanie vnútornej teploty. Zároveň sa predpokladá, že predĺži navrhovanú životnosť budovy, kvôli čomu by mala byť odolná a trvanlivá [2].

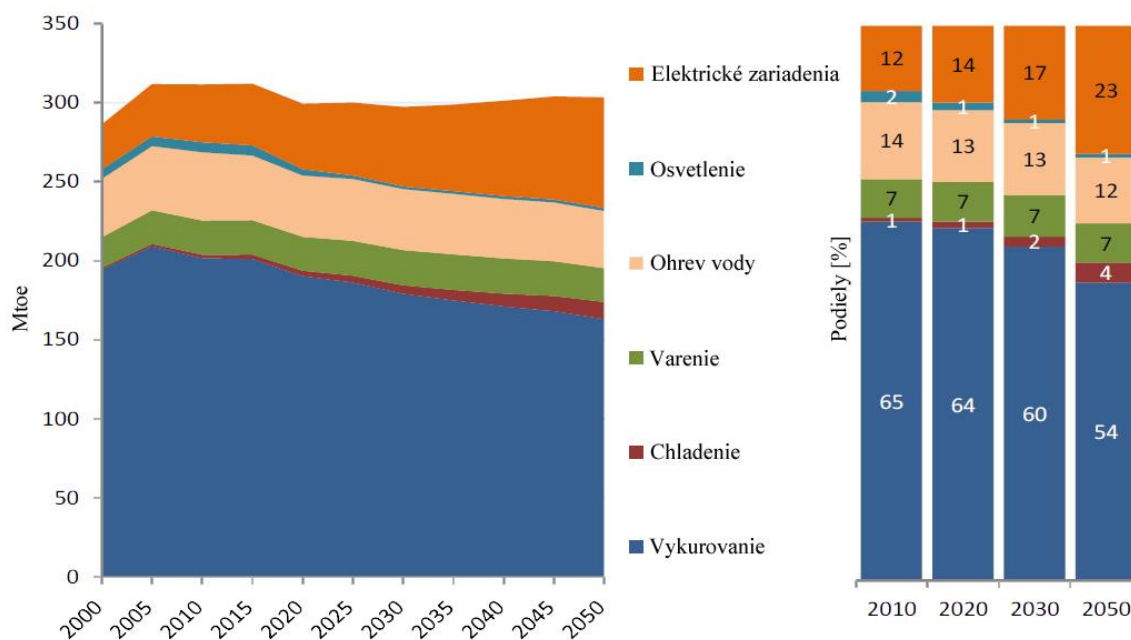
Investície do tepelnej izolácie externých vertikálnych stien budov sú z environmentálneho hľadiska veľmi výhodné. K zníženiu záťaže na životné prostredie ako následok týchto investícií dochádza po jednom až piatich rokoch. Dosiahnuté ekologické prínosy závisia primárne od stavu budovy pred zateplením, následne na využívanom zdroji tepla a napokon na treťom mieste na materiály použitom na tepelnú izoláciu [3].

¹ Peter Rantuch, Ing. PhD., Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita v Bratislave, peter.rantuch@stuba.sk

² Juraj Gardian, Bc., Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita v Bratislave, xgardian@stuba.sk

³ Ivan Hrušovský, Ing. PhD., Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita v Bratislave, ivan.hrusovsky@stuba.sk

⁴ Jozef Marinka, Ing. PhD., Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita v Bratislave, jozef.martinka@stuba.sk



Obr. 1.: Dopyt po energii v sektore obytných budov v Európskej únii [1]

Na trhu v súčasnosti dominuje niekoľko typov tepelno-izolačných materiálov ako minerálna vlna, extrudovaný a expandovaný polystyrén, avšak neustále vznikajú aj materiály nové ako napríklad materiály na báze recyklovaných textílií, či odpadov zo spracovávaní rastlín [4].

Spaľovacie teplo je dôležitou vlastnosťou palív, ktorá definuje ich energetický obsah. [5] Je možné ho určiť experimentálne pomocou bombového kalorimetra, alebo výpočtom zo zloženia látky za pomoci jednej z veľkého množstva rovníc [5; 6; 7].

MATERIÁL

Na merania boli použité vzorky 15 zateplovacích materiálov, z čoho 5 bolo na báze polystyrénu, 5 bolo na báze drevovlákna a po jednom boli materiály na báze konope, polyuretánu, korku, textílií a minerálnej vlny.

EPS 70 S Austrotherm predstavuje biely expandovaný polystyrén. Je vhodný do konštrukcií budov, bez významných požiadaviek na zaťaženie tlakom - do podkrovných konštrukcií, na tepelnú izoláciu dutín alebo na vytvorenie jadrovej tepelno-izolačnej vrstvy viacvrstvého muriva [8].

Soklové dosky EPS sú špeciálnym typom dosiek z expandovaného polystyrénu napeňovaných do foriem pre tepelnú izoláciu konštrukcií v priamom kontakte s vlhkosťou. Vyznačujú sa nízkou nasiakavosťou, vysokou pevnosťou a mrazuvzdornosťou. Sú určené pre zateplenie soklov stien, odstraňujú typický tepelný most v oblasti prechodu steny na základ, riešia detail

ukončenia hydroizolácie nad terénom a umožňujú spojitie prevedenie omietok až po úroveň terénu [9].

Izolačné dosky EPS 70 NEO sú dosky z expandovaného polystyrénu s obsahom grafitu, ktorý podstatne zlepšuje izolačné vlastnosti. Sú určené najmä pre fasádne kontaktné zateplovacie systémy s vysokými požiadavkami na tepelno-izolačné vlastnosti [10].

XPS TOP 30GK je tvrdý tepelno-izolačný materiál z extrudovaného polystyrénu je vhodným riešením na miestach, na ktorých sa kladú vysoké nároky z hľadiska tlaku a vlhkosti. Používa sa pri zvislej vonkajšej tepelnej izolácii konštrukčných prvkov v kontakte s pôdou, tepelnej izolácii pod základovou doskou, izolácii soklov, plochých striech a miestností s vlhkosťou prevládajúcou [8].

Styrodur XPS 2800C,5 je extrudovaný polystyrén charakteristickej zelenej farby. Tieto izolačné dosky sa vyznačujú vysokou pevnosťou v tlaku a nízkou nasiakavosťou. Sú vhodné na použitie ako tepelná izolácia v rámci kontaktných zateplovacích systémov, na izoláciu soklov a tepelných mostov [9].

Drevovláknitá doska Steico Flex je flexibilná výplňová tepelná a zvuková izolácia, ktorá nachádza svoje uplatnenie v priestoroch medzi stenovými, strešnými a stropnými konštrukciami [11].

Drevovláknitá doska Steico Therm sa využíva na izoláciu strešných a stenových konštrukcií aj ako kročajová izolácia do podláh a vhodné je jej aplikovanie pod plávajúce podlahy. Zabezpečuje vysokú pevnosť v tlaku a využíva sa aj pod betónové a anhydritové potery [11].

Drevovláknitá doska Steico Floor sa používa ako tepelná, zvuková a protikročajová izolácia pod masívne palubové podlahy bez akustických mostov [11].

Steico Universal je drevovláknitá tepelná a zvuková izolácia, vhodná pri rekonštrukcii strechy. Dočasne môže tvoriť aj debnenie strechy [11].

Doska z drevovláknitých vlákien Steico Top má využitie ako pevná pochôdzna tepelná izolácia v neobytnom podkroví, ktorú nie je nutné dodatočne zakrývať [11].

Konope panel je vysoko difúzna fasádna izolačná doska z konopných vlákien, vhodná na masívne konštrukcie pri novostavbách a rekonštrukciách [11].

Puren Pir Unterdach je izolačná doska z tvrdenj polyuretánovej peny. Je určená na tepelnú izoláciu šikmých striech s difúzne otvorenou poistnou hydroizoláciou so samolepiacim presahom [9].

Expandovaný korok je tepelná, akustická a antivibračná izolácia. Zvlášť je vhodný pre použitie vo vonkajších, vnútorných a dutých stenách, pre šikmé a ploché strechy a rôzne druhy podláh [12].

Tab. 1.: Základné vlastnosti testovaných tepelno-izolačných materiálov [8, 9, 10, 11, 12, 13]

Materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Objemová hmotnosť [kg.m ⁻³]	Trieda reakcie na oheň
EPS 70 S	0,039	14,5	E
EPS soklová doska	0,033	30	E
EPS 70 NEO	0,031	14,5-15,5	E
XPS TOP 30GK	0,035	35,5	E
XPS 2800C,5	0,033	30	E
Steico Flex	0,038	50	E
Steico Therm	0,039	160	E
Steico Floor	0,039	160	E
Steico Univeral	0,048	270	E
Steico Top	0,041	140	E
Konope panel	0,039	100	E
Puren Pir Unterdach	0,022	> 30	E
Expandovaný korok	0,040	110-120	E
Stered ID 150	0,050	150	E
Unirol Plus	0,036	17	A1

Stered ID 150 je určený pre tepelne a zvukovo-izolačné riešenia. Je vyrábaný na báze mechanickej recyklácie syntetických textílií používaných v automobilovom priemysle. Používa sa ako tepelná izolácia priechok, ale hlavne ako zvuková izolácia akustických panelov a protihlukových stien [13].

Unirol plus je izolačný rolovaný pás vyrobený zo sklenených vlákien, ktoré sú po celom svojom povrchu hydrofobizované. Má dobré tepelno-izolačné a akustické vlastnosti. Je vhodný na izoláciu šikmých striech a podkroví. Izolácia sa takisto používa aj v konštrukciách obvodových stien drevodomov [9].

Všetky testované materiály sú v súčasnosti dostupné na trhu. Ich súčinitele tepelnej vodivosti ako aj objemové hmotnosti uvádzané výrobcami sú uvedené v tabuľke 1.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Spaľovacie teplo

Spaľovacie teplo je možné definovať ako množstvo tepelnej energie uvoľnenej z jedného gramu materiálu pri jeho dokonalom spálení za vzniku vody v kvapalnom skupenstve. Jeho experimentálne stanovenie prebieha postupom podľa normy STN ISO 1928:2003 [14].

Keďže sa jedná o jednu zo základných vlastností materiálov, jeho stanoveniu sa venovalo veľké množstvo autorov. Ich výsledky pre materiály rovnaké, prípadne príbuzné s tými, ktorými sa zaoberá tento príspevok, sú uvedené v tabuľke 2.

Spaľovacie teplo bolo určované experimentálne pomocou poloautomatického kalorimetra IKA C 4000, ktorý pracuje na základe vzťahu (1):

$$Q_{sm} = \frac{E(T_m - T_i + c) - b}{m} \quad (1)$$

kde Q_{sm} je spaľovacie teplo v MJ.kg⁻¹, E je vodný ekvivalent kalorimetra a kalorimetrickej bomby v MJ.K⁻¹, T_i je počiatočná teplota v K, T_m je maximálna teplota v K, b je korekcia potrebná na zohľadnenie spaľovacieho tepla „paliva“ použitého pri skúške (zapaľovacieho drôtu, bavlneného vlákna, kyseliny benzoovej atď.) v MJ, c je teplotná korekcia pre výmenu tepla s okolím v K a m je hmotnosť skúšobnej vzorky v kg.

Z výsledkov meraní, zobrazených na obrázku 2 je zrejmé, že najvyššie spaľovacie teploty dosahovali vzorky polystyrénových izolácií. Ich priemerná hodnota predstavovala 40,6kJ.g⁻¹, čo je vo veľmi dobrej zhode s výsledkami v tabuľke 2. Rozdiely medzi jednotlivými izoláciami na báze polystyrénu neboli výrazné. Taktiež nebol zistený rozdiel medzi extrudovaným a expandovaným polystyrénom. Tento stav je možné prisúdiť skutočnosti, že množstvo prídavných látok, ktoré spôsobujú zlepšenie vlastností penových polystyrénov, je pomerne nízke.

Tab. 2.: Spaľovacie teplo uvádzané v literatúre

Materiál	Spaľovacie teplo [kJ.g ⁻¹]	Zdroj
Polystyrén	41,2 – 41,9	[15]
	39,7 – 42,9	[16]
	40,0	[17]
	38,9	[18]
	39,6 – 40,8	[19]
Borovicové drevo	21,3	[20]
	19,62	[21]
	20,2 ± 0,4	[22]
Ihličnaté drevo	20,2 – 23,0	[23]
Drevovláknó	18,6	[24]
Konope	17,9 – 19,8	[25]
	17,76 – 18,98	[26]
	17,5 – 19,1	[27]
	18,5	[28]
Polyuretán	27,0	[15]
	27,0	[18]
	26,3 ± 2,5	[29]
	23,1 – 30,7	[30]
Korok	19,37 – 21,78	[31]
	29,29	[32]
	15,91 – 37,66	[32]
	15,2 – 30,4	[33]
	21,6	[34]
PET	22,4 – 23,0	[15]
	24,13	[35]
	24,0	[36]
PA	31,0 – 33,0	[15]
	26,03	[35]
	27,7 – 36,7	[29]
PE	43,2	[15]
	47,74	[35]
	43,3 – 46,5	[36]

Izolácie z drevných vlákien dosahujú v porovnaní s polystyrénom približne polovičné hodnoty s aritmetickým priemerom rovným 20,1 kJ.g⁻¹. Mierne vyšší rozptyl môže byť dôsledkom rozdielneho množstva a zloženia aditív slúžiacich ako pojivá, plnivá, hydrofobizačné látky a podobne. Zároveň je táto hodnota veľmi blízko hodnôt spalného tepla uvádzaného pre drevo ihličnaté drevín, ktoré tvorí podstatnú časť suroviny na výrobu drevovlákná.

Mierne nižšie spaľovacie teplo ako drevovláknó bolo namerané pre konopnú izoláciu. Gefertová uvádza, že spaľovacie teplo lignínu je 25,8 kJ.g⁻¹, celulózy 17,37 kJ.g⁻¹ a holomicelulózy 17,84 kJ.g⁻¹. [37] Keďže konope obsahuje podstatne viac celulózy ako hemicelulóz a lignínu [38], je zrejmé, že celkové spaľovacie teplo konopnej izolácie je ovplyvnené predovšetkým spaľovacím teplom v nej obsiahnutej celulózy.

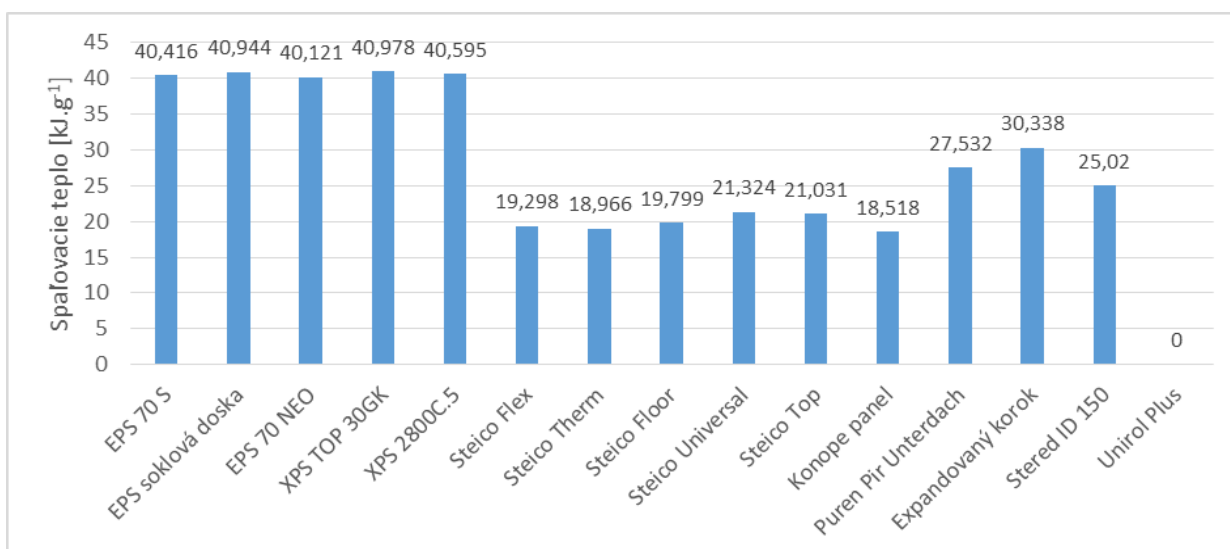
Spaľovacie teplo namerané pre polyuretánovú izoláciu je veľmi podobné s údajmi uvádzanými inými autormi. Z hľadiska testovaných tepelných izolácii sa

nachádza medzi hodnotami určenými pre polystyrén a drevovláknó.

Expandovaný korok má hodnotu spaľovacieho tepla mierne vyššiu ako drevovláknó a nižšiu ako polystyrén. V porovnaní s údajmi uvádzanými pre korok v literatúre sa radí skôr do oblasti vyšších hodnôt. Táto skutočnosť je zrejme spôsobená procesom expandovania, ktorý sa deje pri teplotách okolo 300 °C a tlaku 40 kPa. [39] Za uvedených podmienok dochádza k zvýšeniu podielu uhlíka a teda aj energetického obsahu. Spaľovacie teplo expandovaného korku je teda v porovnaní s korkom bez úpravy vyššie.

Stered ID 150 je zmesou rôznych textílií, čo výrazne sťažuje jeho porovnanie s inými materiálmi. Vzhľadom na to, že sa v automobilovom priemysle využívajú predovšetkým textílie z polymérnych vlákien, je možné porovnanie Steredu ID 150 s materiálmi ako polyetylén tereftalát, polyamid alebo polyetylén. Nameraná hodnota spaľovacieho tepla je veľmi podobná s hodnotami uvádzanými pre polyetylén tereftalát. Mierne sa odlišuje od polyamidu a najmenej podobná je polyetylénu.

Poslednou testovanou tepelnou izoláciou bola izolácia zo sklených vlákien Unirol Plus. Pri tejto izolácii sa ani po viacnásobnom opakovaní skúšky nepodarilo vzorku iniciovať. Z tohto dôvodu je jej spaľovacie teplo uvádzané ako nulové.



Obr. 2.: Spaľovacie teplá testovaných izolácií

Spaľovacie teplo na objem

Keďže majú stavebné materiály rozličnú hustotu, často sa v odborných diskusiách vyskytuje argument, že by spaľovacie teplo malo byť prepočítané nie na hmotnosť (ako je tomu typicky v technickej chémii), ale na objem látky. Tento prepočet je možný pomocou rovnice (2):

$$Q_{SV} = Q_{sm} \cdot \rho \quad (2)$$

,kde Q_{SV} je spalné teplo na objem materiálu v MJ.m⁻³ a ρ je merný objem materiálu v kg.m⁻³.

Výsledky takto prepočítaných hodnôt spaľovacieho tepla sú uvedené v grafe na obrázku 3. Objemové hmotnosti EPS 70 NEO a expandovaného korku sú uvádzané ako rozpätie hodnôt. Z tohto dôvodu bola pri výpočtoch použitá stredná hodnota. V prípade polyuretánovej izolácie výrobca uvádza len maximálnu objemovú hmotnosť a preto je možné spaľovacie teplo na objem v jej prípade považovať za najvyššiu možnú hodnotu.

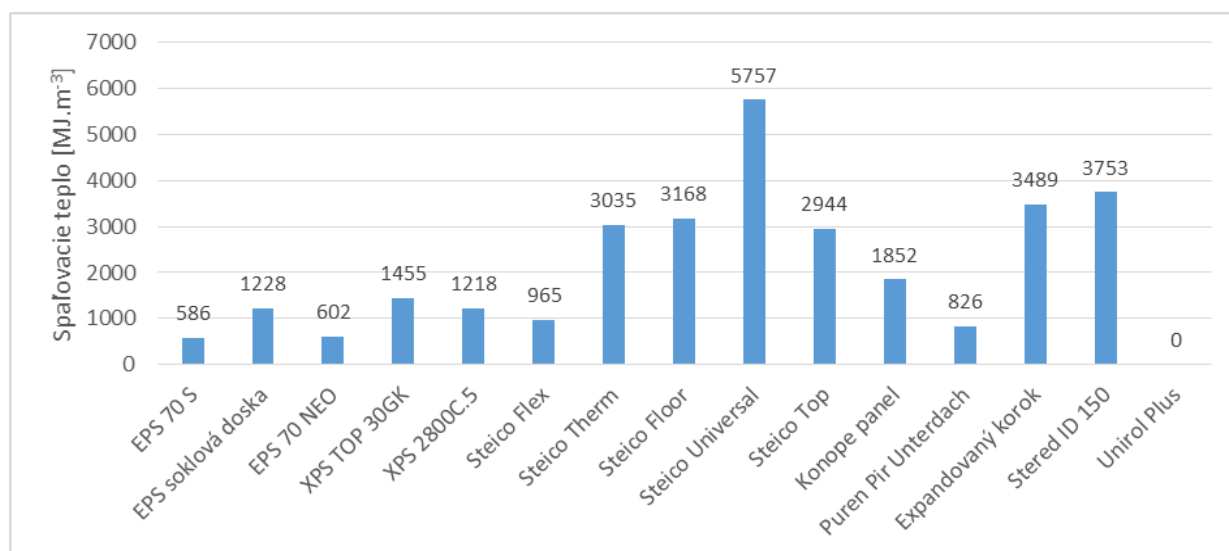
Už na prvý pohľad je viditeľný výrazný pokles pomeru spaľovacieho tepla materiálov na báze polystyrénu k iným materiálom. Z hľadiska týchto výsledkov je na podobnej úrovni taktiež drevovláknitá izolácia Steico Flex a polyuretán Puren Pir Undertach. Jedná sa o materiály, ktoré dosahujú pomerne nízku hustotu. Výrazné zvýšenie nastáva predovšetkým pri drevovláknitých materiáloch s vyššou odolnosťou proti tlaku. Spaľovacie teplo konope je mierne vyššie ako v prípade polystyrénov. Expandovaný korok je podobne ako v prípade spaľovacieho tepla na jednotku hmotnosti porovnateľný so Steredom ID 150, avšak tentoraz je ich poradie opačné. Oproti ostatným izoláciám je výrazný predovšetkým nárast hodnoty pre Steico Universal.

Celkový tepelný obsah izolácie

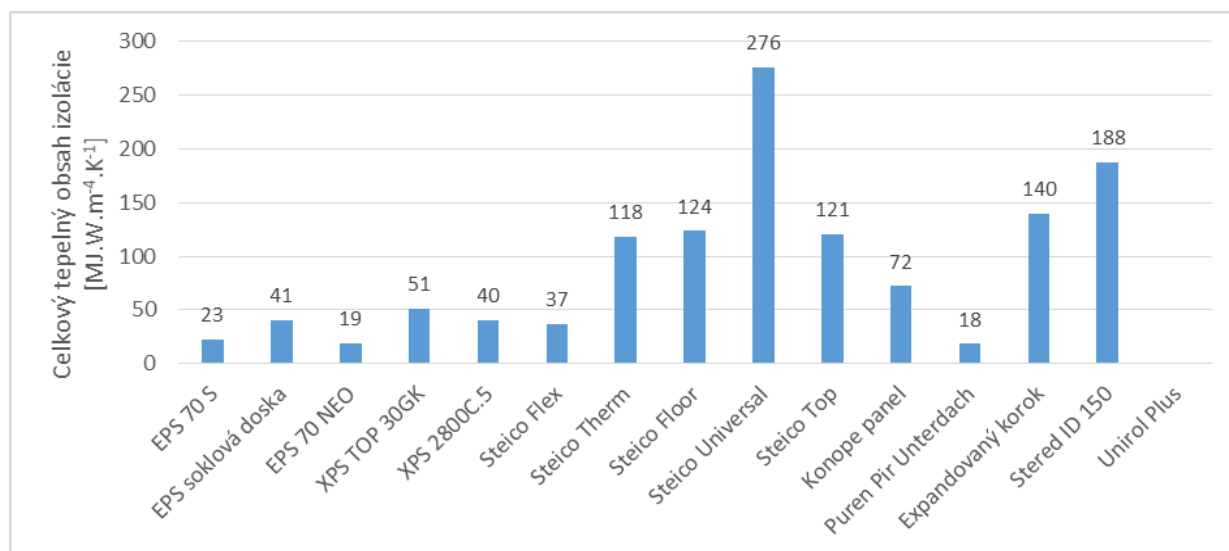
Hoci spaľovacie teplo na objem zahŕňa rozdiely v mernom objeme, nezohľadňuje tepelný odpor materiálu, od ktorého závisí hrúbka v akej je tepelná izolácia na konštrukciu inštalovaná. Tento nedostatok by bolo možné zavedením celkového tepelného obsahu izolácie, ktorý by vyjadroval množstvo tepla uvoľneného dokonalým spálením tepelnej izolácie na jednotkovej ploche s jednotkovým tepelným odporom za vzniku vody v kvapalnom skupenstve. Matematicky by bol definovaný vzťahom (3):

$$Q_{si} = Q_{SV} \cdot \lambda = Q_{sm} \cdot \rho \cdot \lambda \quad (3)$$

, kde Q_{si} je celkový tepelný obsah izolácie v MJ.W.m⁻⁴. K⁻¹ a λ je súčiniteľ tepelnej vodivosti vo W.m⁻¹.K⁻¹.



Obr. 3.: Spaľovacie teplá testovaných izolácií prepočítané na objem



Obr. 4.: Celkový tepelný obsah testovaných izolácií

Získané výsledky sú podobné ako pri prepočte spaľovacieho tepla na hmotnosť (obr. 4). Najvýznamnejšou zmenou je výrazné zníženie v prípade polyuretánovej izolácie, ktorej hodnota sa stala po izolácii z minerálnej vlny druhou najnižšou spomedzi všetkých testovaných materiálov. Opačný vplyv sa prejavil pri izoláciách Steico Universal a Stered ID 150, ktorých hodnoty v porovnaní s ostatnými materiálmi vzrástli.

Je dôležité si uvedomiť, že uvádzané hodnoty vypovedajú výlučne o tepelnom obsahu testovaných materiálov. Z hľadiska ochrany pred požiarmi je táto vlastnosť len jednou z mnohých a nie je možné ju používať ako jedinú smerodajnú. Nevypovedá o efektívnosti spaľovania a ani o rýchlosti uvoľňovania energie. Taktiež nezohľadňuje hustotu, či toxicitu dymu a iné parametre sledované pri termicky zaťažených materiáloch.

ZÁVER

Problematika horľavosti zateplovacích materiálov je neustále široko diskutovaná. Z hľadiska spaľovacieho tepla sa ako najbezpečnejší materiál javí minerálna vlna, ktorá ani po viacnásobnom opakovaní nebola iniciovaná. V prípade ostatných tepelných izolácií výrazne závisí na spôsobe prepočtu tepla uvoľneného ich dokonalým spálením. Zatiaľ čo pri vyjadrení na jednotku hmotnosti sa polystyrén javí ako najnegatívnejší (v priemere 40,6 MJ.kg⁻¹), po prepočítaní na objem už patrí medzi menej nebezpečné materiály.

Z dôvodu maximalizácie objektivity posúdenia spaľovacieho tepla izolácií bol navrhnutý parameter „Celkový tepelný obsah izolácie“, ktorý zodpovedá spaľovaciemu teplu jednotkovej plochy izolácie majúcej jednotkový izolačný odpor. Zaujímavý výsledok

v tomto prípade dosiahol izolačný polyuretán, ktorý s hodnotou $18 \text{ MJ.W.m}^{-4}.\text{K}^{-1}$ predčil všetky ostatné testované horľavé materiály.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] European Commision, EU energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, Reference Scenario, 2013.
- [2] Mazor M. H., Mutton J. D., Russell D. A. M., Keoleian G. A., Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Reduction From Rigid Thermal Insulation Use in Buildings, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 15, Iss. 2, 2011, 284-299.
- [3] Dylewski R., Adamczyk J., The environmental impacts of thermal insulation of buildings including the categories of damage: A Polish case study, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 137, 2016, 878-887.
- [4] Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S., A review of unconventional sustainable building insulation materials, *Sustainable Materials and Technologies*, Vol. 4, 2015, 1-17.
- [5] Channiwala S. A., Parikh P. P., A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels, *Fuel*, Vol. 81, Iss. 8, 2002, 1051-1063.
- [6] Parikh J., Channiwala S. A., Ghosal G. K., A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels, *Fuel*, Vol. 84, Iss. 5, 2005, 487-494.
- [7] Mason D. M., Gandhi K. N., Formulas for calculating the calorific value of coal and coal chars: Development, tests, and uses, *Fuel Processing Technology*, Vol. 7, Iss. 1, 1983, 11-22.
- [8] *Energeticky úsporná tepelná izolácia od pivnice až po strechu* [on line]. Austrotherm, [cit. 2016-10-10]. Dostupné na: <http://www.austrotherm.sk>.
- [9] *Isover Saint-Gobian* [on line]. Isover s.r.o., 2012. [cit. 2016-10-11]. Dostupné na: <http://www.isover.sk>.
- [10] *Slovenský výrobca EPS* [on line]. Polyform, 2016. [cit. 2016-10-08]. Dostupné na: <http://polyform.sk>.
- [11] *Steico special* [on line]. Tepore s.r.o. [cit. 2016-10-11]. Dostupné na: <http://tepore.sk>.
- [12] *Escolha 100% natural* [on line]. Amorim Isolamentos, 2014 [cit. 2016-10-10]. Dostupné na: <http://amorimisolamentos.com>.
- [13] *Objav svet STEREDu...* [on line]. PR Kajné, s.r.o., 2016 [cit. 2016-10-09]. Dostupné na: <http://www.stered.sk>.
- [14] STN ISO 1928: Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti, 2003.
- [15] Filipi B., Plasty. Ostrava: Združenie požiarného a bezpečnostného inžinierstva, 2003.
- [16] Kumm M., Soderstrom J., Lonnermark A., EPS insulated facade fires from a fire and a rescue perspective. *Matec web of conferences*, Vol. 9, 2013, 1-9.
- [17] EPSSR, Správanie sa EPS pri požiari. 2010.
- [18] Prager F. H., Rosteck H., Polyurethane and fire. Darmstad: Betz - Druck GmbH. 2006.
- [19] Yamane K., Kawasaki K., A Study of Polystyrene Solubility in Biodiesel, Biofuels - Status and Perspective, Ph.D. Krzysztof Biernat (Ed.), InTech, 2015.
- [20] Dzurenda L. Spaľovanie dreva a kôry. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 2005.
- [21] Than, B., Serkov, B., Sivenkov, B., Aseeva, R., Heat and smoke release at the combustion of the different wood varieties, In: 6th Asia-Ocean Symposium of Fire Science and technology, 2004.
- [22] Telmo C., Lousada J., Heating values of wood pellets from different species, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, Iss. 7, 2011, 2634-2639.
- [23] Krajnc N., Wood fuels handbook, FAO: Pristina, 2015.
- [24] Diamant R., Thermal and acoustic insulation, Cambridge: University press, 1986.
- [25] Mankowski J., Kolodziej J., Baraniecki P., Industrial hemp grown in remediated land used for energy, *Chemik*, 68(10), 2014, 901-904.
- [26] Poisa L., Adamovics A., Evaluate of hemp quality parameters for bioenergy productions. *Engineering for rural development*, Jelgava 2011, 358-362.
- [27] Prade T., Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.)—a high-yielding energy crop, Alnarp: SLU service, 2011.
- [28] Satya P., Maiti R., Bast and leaf fibre crops: Kenaf, Hemp, Jute, Agave, etc. In: *Biofuel crops*. Boston: CAB, 2013.
- [29] Harper C. A., Handbook of building materials for fire protection, US: Lutherville, 2004.

- [30] Falatová B., Kačíková D., Orémusová E., Hodnotenie horľavosti PUR pien metódou spaľovacieho tepla, In: Teplo – oheň – materiály, Zvolen: Technická univerzita, 2015, 40–47.
- [31] Nunes L. J. R., Matias J. C. O., Catalao J. P. S., Energy recovery from cork industrial waste: Production and characterisation of cork pellets, Fuel, Vol. 113, 2013, 24-30.
- [32] Gil L., Cork powder waste: An overview. Biomass and bioenergy, Vol. 13, ISS. 1-2, 1997.59-61.
- [33] Al-Kassir A., Gañán-Gómez J., Mohamad A. A., Cuerda-Correa E. M., A study of energy production from cork residues: Sawdust, sandpaper dust and triturated wood, Energy, Vol. 35, Iss. 1, 2010, 382-386.
- [34] Murillo J.M., Escalada R., Fernandez M., Carasco J., Feeding systems influence on the fluidized bed combustion of cork wastes, In: 1st conference on biomass for energy and industry, Sevilla: James&James, 2001, 2072-2075.
- [35] Lyon R., Hackett S., Walters R., Heats of combustions of high-temperature polymers, US Department of Transportation, 1998.
- [36] Visakh P. M., Mong L., Poly(ethyleneterephthalate) based blends, composites and nanocomposites, US: Elsevier, 2015.
- [37] Geffertová J., Spaľovacie teplo hydrolyzovaného brezového dreva, Acta Facultatis, Vol. 51, Iss. 2, 2009,63-69.
- [38] Bonatti P. M. , Ferrari C. , Focher B. , Grippo C. , Torri G. , Cosentino C. , Histochemical and supramolecular studies in determining quality of hemp fibres for textile applications, Euphytica, Vol 140, Iss.1, 2004, 55-64.
- [39] Pereira H., Ferreira E., Scanning electron microscopy observations of insulation cork agglomerates, Materials Science and Engineering: A, Vol. 111, 1989, 217-225.