

S PLINOM POLNJENI PANELI ZA VISOKOIZOLACIJSKE STAVBNE OVOJE 21. STOLETJA

GAS FILLED PANELS AS A HIGH INSULATION FOR BUILDING ENVELOPES OF 21ST CENTURY

dr. Mojca Japelj Fir, prof. kem.
mag. Aleš Kralj, univ. dipl. inž. stroj.
dr. Matjaž Žnidaršič, univ. dipl. inž. stroj.
mag. Črtomir Remec, univ. dipl. inž. grad.

CBS Inštitut, d. o. o., Prijateljeva cesta 12, 8210 Trebnje

Znanstveni članek
UDK 699.86

Povzetek | Rast cene nafte in omejeni, lahko dostopni naravni viri energije so v zadnjih letih izredno pospešili razvoj novih energijsko varčnih materialov in sistemov. Tudi v gradbeništvu se je v gospodarsko razviti Evropi veliko storilo v smeri varčne rabe energije. Sprejeti so bili ostrejši predpisi in standardi, ki so vplivali tudi na razvoj novih stavbnih ovojev. V prispevku je najprej predstavljen pregled stanja tehnike pri naprednih toplotnih izolacijah. V nadaljevanju pa je podrobno predstavljen Trimov novi s plinom polnjeni toplotnoizolacijski panel Qbiss Air. Obravnavani so vidiki toplotne prehodnosti, zvočne izolacije, vodotesnosti, požarne odpornosti in mejnih stanj uporabnosti.

Ključne besede: s plinom polnjeni panel, fasadni element, obešena fasada, toplotna izolacija

Summary | Oil price growth and otherwise limited natural resources have in recent year accelerated the development of novel energy saving materials and systems. The field of construction was no exception. Economically developed Europe has done a lot in the direction of the energy conservation. New mandatory guidelines and regulation were adopted that resulted in novel developments in the field of the building envelopes. In the paper, first a review of the state of the art in the field of the advanced thermal insulation is presented. In the following sections there is detailed description of the Trimo novel gas filled insulation panel Qbiss Air. The aspects of thermal, sound and fire performance are considered as well as tightness and serviceability limit states.

Key words: gas filled panel, façade element, curtain wall, thermal insulation

1 • UVOD

Rast cene nafte in omejeni, lahko dostopni naravni viri energije so v zadnjih letih izredno pospešili razvoj novih energijsko varčnih materialov in sistemov. Tudi v gradbeništvu se je v gospodarsko razviti Evropi veliko storilo v smeri varčne rabe energije. Državni predpisi (PURES) in zahteve po dodatni izolaciji stavb so pospešili razvoj izolacijskih materialov z

bistveno boljšimi toplotnoizolacijskimi lastnostmi. Z uporabo klasičnih izolacijskih materialov, kot so steklena in mineralna volna, ekspanzirani (EPS) in ekstrudirani polistiren (XPS) ter različne poliuretanske (PUR, PIR) in fenolne pene (PF), se povečuje debelina izolacijskega sloja na zunanjih stenah stavb, da bi se dosegla zadostna toplotna izolativnost

($U < 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$). Povečana debelina izolacijskega sloja predstavlja dodatno težo in hkrati obremenitev za konstrukcijo ter je pogosto moteča z arhitekturnega stališča, še posebno za primere obnove stavb. Prav zaradi slednjega se v gradbeništvu povečuje uporaba materialov z bistveno boljšimi toplotnoizolacijskimi lastnostmi, ki so bili do sedaj zaradi višje cene le redko uporabljeni (nanopene – aerogeli, vakuumski paneli, s plinom polnjeni paneli). Poleg že omenjene težnje po čim varčnejši rabi energije v gradbeništvu je treba pri gradnji

novih objektov in obnovi stavb upoštevati še temeljna načela trajnostne gradnje. To so medsebojno vplivni vidiki graditve objektov: okoljski, ekonomski in družbeni. Za vse materiale, tudi izolacijske, je treba ovrednotiti njihov vpliv na okolje, kar je neposredno povezano z ekonomskim vplivom in družbeno sprejemljivostjo. Še posebno to velja za nove materiale, za katere nimamo bogatih preteklih izkušenj uporabe in realne ocene življenjske dobe, ki ni podana na osnovi pospešenih trajnostnih testov. Kljub temu se čedalje več novih materialov uveljavlja pri gradnji stavb, čeprav je splošno znano, da

se gradbeništvo kot stroka pri velikih novostih pogosto počasi odziva.

Novi državni predpisi o varčni rabi energije in načela trajnostne gradnje so spodbudili tudi slovensko podjetje Trimo, d. d., da je leta 2008 pričelo razvoj novega, tankega, visokoizolativnega gradbenega elementa Qbiss Air v okviru projekta Modularni aktivni sistemi za javne zgradbe (MAKSI, RIP 08). Pri projektu so poleg Trimovih razvojnikov in raziskovalcev CBS Inštituta sodelovali še raziskovalci različnih slovenskih institucij znanja (FS-LNMS, FGG, ZAG) ter slovenski in tuji poslovni part-

nerji podjetja Trimo, d. d. Izdelek Qbiss Air, ki je nastal, je izkazal visoko stopnjo inovativnosti in je zaščiteno s tremi mednarodnimi patenti, kjer vsak od njih pokriva specifično delno tehnično rešitev.

V nadaljevanju prispevka je podrobneje predstavljen razvoj novega visokoizolacijskega gradbenega elementa Qbiss Air, in sicer v raziskovalnem, razvojnem in tržnem pogledu. Opravljena je primerjalna analiza lastnosti in cen sodobnih izolacijskih materialov in elementov v gradbeništvo ter predstavljeni stanje tehnike in trendi razvoja novih izolacijskih materialov.

2 • STANJE TEHNIKE TOPLOTNOIZOLACIJSKIH GRADBENIH MATERIALOV

Na trgu in posledično tudi v stanju tehnike obstaja potreba po izolacijskih materialih s toplotno prevodnostjo, nižjo od zraka ($\lambda_{\text{zrak}} = 0,024 \text{ W/mK}$). Toplotna prevodnost zraka je pravzaprav mejnik za merilo učinkovitosti toplotnoizolacijskega materiala.

2.1 Trdni izolacijski materiali – odprtočelični

Najpogostejše uporabljena in prepoznana izolacijska materiala sta mineralna ali steklena volna, ki ima toplotno prevodnost med $0,036$ in $0,044 \text{ W/mK}$, in polistiren s toplotno prevodnostjo od $0,032$ do $0,040 \text{ W/mK}$. V obeh materialih so ujeti zračni mehurčki, ki preprečujejo neposreden toplotni tok skozi material. Kljub temu se njuni toplotni prevodnosti ne moreta približati toplotni prevodnosti zraka. Steklена vlakna v mineralni volni in polimerna osnova polistirena, ki služijo kot podpora posameznemu izolacijskemu materialu, so namreč preveliki toplotni prevodniki. Ne glede na njuno slabšo toplotno prevodnost v primerjavi z zrakom sta tako mineralna volna kot polistiren prepoznana kot poceni, enostavno vgradljiva in trajna izolacijska materiala.

2.2 Penjeni izolacijski materiali – zaprtocelični

Najbolj znani penjeni izolacijski gradbeni materiali so poliuretanske pene s toplotno prevodnostjo med $0,028$ in $0,036 \text{ W/mK}$ in fenolne pene s toplotno prevodnostjo od $0,018$ do $0,028 \text{ W/mK}$. Nizka toplotna prevodnost pen je posledica ujetega penilnega plina v njihovi strukturi, najpogostejša penilna plina pa sta pentan in ogljikov dioksid (CO_2). Kljub relativno nizki toplotni prevodnosti pen je vprašljiva trajnost toplotne izolativnosti. Raziskave ((Muhlenkamp, 1983), (Mukhopadhyaya, 2008)) kažejo, da je penilne pline težko zadržati v strukturi polimerne pene ne glede na to, da so tovrstni materiali prevlečeni s kovinskimi folijami. Tako ima na primer požarno obstojnejša poliizocianouratna (PIR) pena na začetku toplotno prevodnost pod $0,020 \text{ W/mK}$. Že po nekaj mesecih pa ima lahko pena zaradi uhajanja penilnega plina za več kot polovico višjo toplotno prevodnost, in sicer $0,035 \text{ W/mK}$.

Manj znani penjeni izolacijski materiali so polimerne nanopene. V stanju tehnike ((Bayer, 2010), (Strey, 2002)) so že poročali o trdnih nanopenah, ki imajo trajno toplotno prevodnost pod $0,020 \text{ W/mK}$. Vendar pa je proizvod-

nja takšnih pen zelo zahtevna in je trenutno še vedno na laboratorijski ravni.

Tudi aerogeli (slika 1) sodijo med nanopene. Laboratorijsko pripravljeni aerogeli lahko dosežejo toplotno prevodnost $0,004 \text{ W/mK}$. Komercialno dostopni aerogeli pa imajo toplotno prevodnost med $0,014$ in $0,020 \text{ W/mK}$ (Aspen, 2009). V primerjavi s prej omenjenimi penami aerogeli niso konstrukcijski materiali, zato zahtevajo dodatno mehansko podporo, ki je lahko okvir panela ali ojačitev z vlakni. Prav ta mehanska podpora aerogelom onemogoča, da bi bili tudi dobri zvočni izolatorji. Njihova največja prednost pa je prosojnost, zato jih lahko uporabimo za prosojne stene (Baetens, 2011). Prve aerogele je že leta 1931 izdelal Samuel Stephens Kistler (Kistler, 1931). Čeprav so aerogeli že zelo dolgo prisotni na trgu, so še vedno zelo drag material, saj je njihova proizvodnja zelo zahtevna, časovno in energijsko potratna ter nevarna zaradi ekspanzije pod superkritičnimi pogoji.



Slika 1 • Silicijev aerogel

3 • STANJE TEHNIKE TOPLOTNOIZOLACIJSKIH GRADBENIH ELEMENTOV

Toplotnoizolacijski gradbeni elementi so paneli, sestavljeni iz izolacijskega materiala, ki največkrat zaradi lastne nenosilnosti potrebuje še konstrukcijo oziroma nosilni

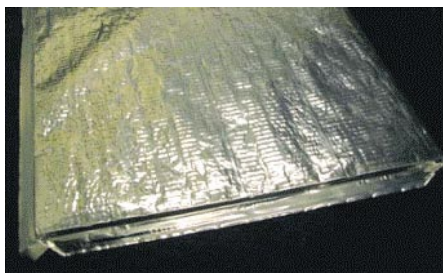
okvir. Prav to pri izolacijskih gradbenih elementih predstavlja največje toplotne izgube, zato opravljajo intenzivne raziskave, da se izdelata toplotno čim manj prevoden okvir ob

čim nižji toplotni prevodnosti izolacijskega jedra.

Prej omenjene aerogele bi lahko prištevali tudi k toplotnoizolacijskim gradbenim elementom, vendar pa smo se v prispevku osredotočili predvsem na tiste, ki jih po izdelavi ne moremo več preoblikovati ali rezati.

3.1 Vakuumski izolativni panel (VIP)

Velik preboj z vidika izjemnih toplotnih izolacijskih lastnosti je bil poleg aerogelov narejen tudi na področju vakuumskih izolativnih panelov (VIP), saj ti dosežejo toplotno prevodnost tudi $0,005 \text{ W/mK}$ (Erb, 2005). VIP, ki so primerni za gradbeništvo, so srednje trdni pravokotni paneli, zaščiteni z aluminijasto folijo in s sredico iz silicijevega prahu, iz katere je izsesan zrak (slika 2). Takšni paneli so po prostornini cenovno primerljivi z aerogeli, vendar pa je toplotna prevodnost trikrat manjša, zato so v gradbeništvu bolj zastopani. Slabosti vakuumskih izolacijskih panelov so, da jih ne smemo upogibati, rezati in slabo izolirajo zvok (Cauberg, 2007). Poleg omenjenega je vprašljiva tudi njihova trajnost, predvsem kako dolgo lahko zadržijo vakuum. Tanka zaščitna aluminijasta folija je namreč občutljiva na kemijske in mehanske poškodbe, najbolj pa na vlago, ki spodbudi korozijo predvsem na mestih stikov aluminijaste folije.



Slika 2 • Primer vakuumskega izolacijskega panela (VIP)

3.2 S plinom polnjeni panel (GFP)

Najbolj znani s plinom polnjeni paneli so izolacijska stekla, največ pa k izolativnosti prispeva uporaba izolacijskih plinov, kot so argon, ksenon, kripton. V literaturi je bilo enokomorno izolacijsko steklo prvič omenjeno leta 1920 (Heller, 1920), medtem ko je ideja o netransparentnem, večkomornem s plinom polnjenim izolacijskem panelu prvi predstavil švedski izumitelj Karel Munters leta 1931 (Munters, 1931). Več kot 50 let kasneje je trg pokazal zanimanje za dvokomorna izolacijska stekla, ki so danes vedno pogostejše vgrajena, še posebno na javnih novogradnjah in obnovah stavb. V povprečju je toplotna prehodnost dvokomornega izolacijskega stekla skozi sredico (U_g) $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, z okvirjem (U_w) pa $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ali več. Za tako tanke elemente, kot so izolacijska stekla (v povprečju 36 mm), je dobljena toplotna prehodnost zelo dober rezultat. Z nadaljnjim večanjem števila komor pri izolacijskih steklih kot tudi pri netransparentnih s plinom polnjenih panelih bi toplot-

no prehodnost elementov še izboljšali, toda največjo oviro predstavljata teža elementov in obvladovanje ekspanzije izolacijskega plina pri povišani temperaturi. Pri transparentnih s plinom polnjenih elementih je poleg toplotne prehodnosti elementa pomemben še faktor solarnih dobitkov (g).

3.3 Visokoizolativni gradbeni element Qbiss Air

Visokoizolativni gradbeni element Qbiss Air je sestavljen iz večkomornega s plinom polnjenega izolacijskega jedra, ki ga omejujejo zunanja in notranja plošča, plošči pa sta med seboj povezani z nosilno polimerno letvijo oziroma cevjo (slika 3). Izolacijsko jedro ima okvir iz hibridnih distančnikov (podobno kot sodobna visokoizolativna izolacijska stekla), med katerimi so napete aluminijaste folije, ki omejujejo stene plinskih komor. Zunanja plošča je plinotesna, kot so steklo, visokotlačni laminat s kovinsko folijo in kamen na aluminijastem satovju, notranja plošča pa je mavčno-vlaknena plošča. Nosilna polimerna letev je iz poliamida, ki je ojačen s steklenimi vlakni. Po potrebi lahko polimerno letev še dodatno ojačimo z jekleno cevjo. Element Qbiss Air je dobavljiv v dimenzijah od $300 \times 500 \text{ mm}$ do $4000 \times 1250 \text{ mm}$.

Idejna rešitev elementa Qbiss Air je bila zasnovana s temeljitim pregledom stanja znanosti in tehnike na področju izolacijskih materialov in elementov. Poleg toplotne izolativnosti smo pri načrtovanju omenjenega izdelka sledili še zahtevam sodobne gradnje po zvočni izolativnosti, plino- in vodotesnosti, požarni obstoj-

nosti, mehanskih obremenitvah ter trajnosti in življenjski dobi.

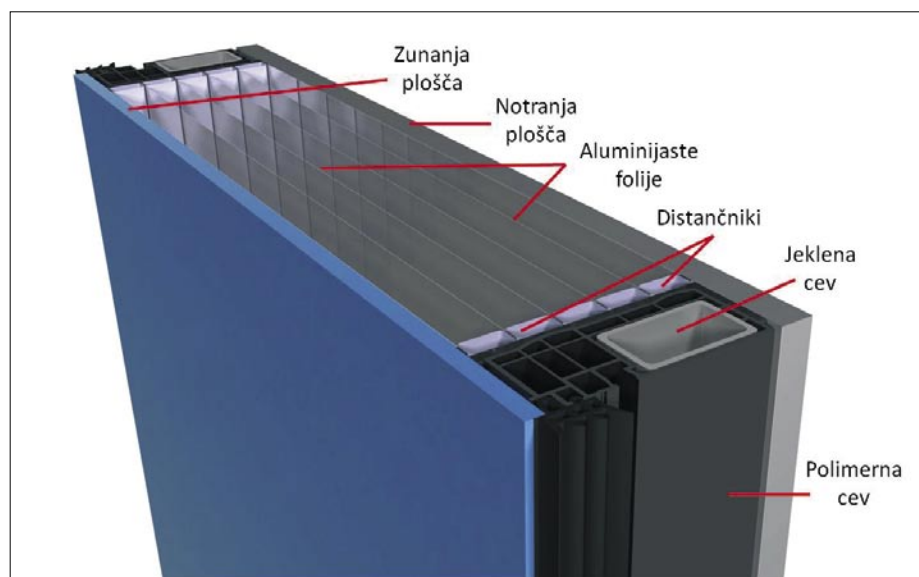
3.3.1 Toplotna izolativnost elementa Qbiss Air

Največji prispevek k visoki toplotni izolativnosti elementa Qbiss Air ima njegovo večkomorno s plinom polnjeno izolacijsko jedro.

Toplotna prehodnost celotnega panela je odvisna od prehoda toplote skozi plin v panelu in prehoda toplote skozi nosilno strukturo panela. Najbolje izolirajo tisti elementi, ki imajo zelo velike celice in zelo malo nosilne strukture. Najbližje temu so izolacijska stekla, ki so lahko velika tudi do $6 \times 3,2 \text{ m}^2$. To je bilo prvo izhodišče za izolacijsko jedro Qbiss Air, ki je običajno sestavljeno iz petih s plinom polnjenih komor.

K toplotni prehodnosti prispeva tudi sevanje toplote med komponentami izolacije. Toplotno sevanje v veliki meri omejimo s kovinskimi folijami z nizko emisivnostjo. Zaradi plinotesnosti in nizke emisivnosti smo za pregrado med posameznimi komorami izolacijskega jedra elementa Qbiss Air uporabili tanke aluminijaste folije.

Pri panelih, polnjenih s plinom (GFP), moramo upoštevati tudi prenos toplote s kroženjem oziroma konvekcijo plinov. Konvekcijo omejimo z debelino komore in izbiro izolacijskega plina. Na primer pri enokomornih izolacijskih steklih, kjer je uporabljen izolacijski plin argon, in jih najpogostejše uporabljamo v srednji Evropi (minimalna zunanja temperatura do -20°C), je tipična debelina komore 16 mm. Pri večkomornih sistemih lahko debelino komor



Slika 3 • Struktura plinsko polnjenega panela Qbiss Air

povečamo, saj je zaradi manjše temperaturne razlike med posameznimi komorami konvektivna sila manjša. V primeru elementa Qbiss Air, ki ima pet s plinom polnjenih komor, smo za izolacijski plin uporabili ogljikov dioksid (CO_2), optimalna debelina komore pa je 20 mm.

Pri načrtovanju izolacijskega jedra Qbiss Air je bil velik izziv, kateri izolacijski plin izbrati in kako izdelati večkomorni s plinom polnjeni panel, da bo mogoče obvladovati ekspanzijo plina in da bo toplotna prehodnost končnega elementa z nosilno konstrukcijo in tesnili 0,25 W/m²K ali nižja.

Izum večkomornega GFP, ki ga je leta 1931 predlagal Munters (Munters, 1931), ni bil funkcionalen. Njegova rešitev je temeljila na majhnih in zelo ozkih kovinskih komorah (debeline 5 mm ali manj), v katerih so izolacijski plini z visoko molekulsko maso, kot so SF_6 , CH_3Cl , CCl_2F_2 , CH_3Br , $\text{C}_2\text{H}_6\text{l}$. Skozi sredico je panel dosegal nizke toplotne prehodnosti, velike izgube pa so bile na robu oziroma okvirju panela.

Tudi rešitev Krucka in Cura (Kruck, 1988) iz leta 1988 je bila podobna Muntersovi, le da so uporabili za izolacijske pline hladilne pline, na primer freone, za pregrado med 3 in 5 mm debelimi komorami pa kovinske folije. Te so se na sredini lahko dotikale in tako pokvarile izolacijsko sposobnost večkomornega GFP.

Nekaj let kasneje je skupina Brenta Griffitha (Griffith, 1995) predlagala GFP z izolacijskim plinom ksenon, z možnostjo uporabe tudi cenejših, kot sta argon in zrak. Preizkusili so različne konfiguracije GFP, kot ekonomsko

najboljšo rešitev pa so predlagali satovju podobno GFP, komore v njem pa so vrečam podobno polnile. Ocenili so, da bi 1 m² debeline 100 mm z argonom polnjeni GFP stal 8 US dolarjev (leta 1995) in je danes tudi komercialno dobavljiv (GFP Insulation, 2007).

Z našo raziskavo smo odpravili dve pomanjklivosti obstoječih tehničnih rešitev: izolacijsko vrečo se lahko uporablja le kot polnilo, pri čemer se z naraščajočo temperaturo plini raztezajo, s tem pa se večja tudi prostornina vreče. Za sodobne izolacijske materiale se pričakuje, da se jih uporablja v debelini 100 do 150 mm in da prenesejo temperaturni režim od -40 °C do 80 °C. V primeru GFP bi se plin v poletnih mesecih razširil minimalno za 10 %, pozimi pa za prav toliko skrčil. Če v GFP uporabimo plinsko polnilo v vreči, pozimi ne bi opazili nikakršnih težav, medtem ko bi se poleti lahko dogajale poškodbe.

Satovju podoben GFP ima še eno slabost. Zaradi satovja izkazuje večjo toplotno prevodnost skozi polimerne folije, iz katerih so narejene plinsko polnjene vrečke. To bi lahko popolnoma izničilo, če bi plinsko bariero namestili na okvir GFP.

V okviru naše raziskave smo potrdili, da je za uporabo plinsko polnjenih panelov najprimernejše kontinentalno podnebje in zato najbolj optimalna debelina komore 20 mm. Pregrade med komorami so lahko iz kovinskih folij ali PET-folij z nizkoemisijskim nanosom. Pomembno je, da folije niso popolnoma napete, temveč so konkavne, da lahko kompenzirajo raztezanje in krčenje plinov. Ker so komore dovolj debele, se folije kljub nenapeto-

sti na sredini ne dotikajo in ohranjajo odlično toplotno izolativnost posamezne komore.

Preverili smo tudi danes najpogostejše uporabljenе izolacijske pline in med njimi potrdili pet potencialnih izolacijskih plinov, ki so predvsem okoljsko pa tudi ekonomsko sprejemljivi (preglednica 1).

V preglednici 1 so navedeni bistveni ekološki podatki in aplikacijske kalkulacije za posamezne pline. Vključena je tudi ocena CO_2 odtisa za produkcijo plina. Ti podatki ponazarjajo, koliko energije je potrebne za pridobitev posameznega plina v primerjavi s CO_2 . Za slednjega je proizvodna energija najnižja, zato smo ocenili, da je najbolj optimalna rešitev. Naša ocena temelji neposredno iz cene plinov, pri čemer smo se oprli na teorijo termoeconomije (Ayres, 2002), ki pravi, da cena predstavlja direktne in indirektne energijske vložke, da izdelamo produkt.

Glede na podatke izkazuje plin CO_2 velik potencial kot izolacijski plin, saj je boljši izolator kot argon, ki se ga danes najpogostejše uporablja kot izolacijski plin v oknih. CO_2 je odporen proti UV-obsevanju (filtrirano skozi atmosfero in zaščiteno s kaljenim steklom) in celo absorbira nekaj IR-sevanja, kar pomaga preprečevati izmenjavo toplote med komorami. Tudi glede na stroške in ekološki vidik je CO_2 najboljša izbira. Ima najmanjši vpliv na toplogredni učinek v atmosferi, ker je stranski produkt pri proizvodnji drugih plinov, materialov in ne zahteva dodatne energije, da ga pripravimo.

Izolacijska plina CHF_3 in CH_2F_2 sta najboljša izbira za zamenjavo dragega kriptona, ki se

Izolacijski plin (kemijska oznaka in generično ime)	Molekulska masa	Toplotna prevodnost (W/mK)	Kondenzacijska temperatura	Specifična toplotna kapaciteta (Cp) (J/kgK)	Potencial toplogrednega učinka (GWP), stabilnost	Ocena CO_2 odtisa	Cena (€/l plina)
Ar (argon)	40	0,0172	-186 °C	520	0 stabilen	4,5	0,01
Kr (kripton)	83,8	0,0094	-153 °C	247	0 stabilen	410	0,9
CO₂ (ogljikov dioksid)	44	0,0149	-55,6 °C	824	1 stabilen	1	0,0022
CHF₃ (fluoroform, R23)	70	0,014	-82,0 °C	736	12.000 fotokatalitska razgradnja	27	*0,06
CH₂F₂ (difluorometan, R32)	52	0,012	-51,7 °C	826	550 fotokatalitska razgradnja	23	*0,05

* Cena je bila pridobljena za vzorec (majhna količina).

Preglednica 1 • Pregled lastnosti izbranih izolacijskih plinov pri 10 °C ter njihovi ekološki in proizvodnji podatki

	*PIR-/PF-pena	Nanopena	Aerogel	Vakuumski izolacijski panel (VIP)	Qbiss Air
Toplotna prevodnost (W/mK)	0,034 (starana)	0,020 (pričakovana)	0,014–0,020	0,005 (povprečna)	0,010–0,020
Cena izolacijskega jedra (€/m ³)	100	>>100	2000	1500	100 (CO ₂ + okvir + dodatni elementi)
Cena na dobljeni Ug** = 0,2 W/m ² K (€)	12	>12	160	30	8 (za s CO ₂ polnjeni GFP)
Zvočna izolirnost (Rw) pri Ug = 0,2 W/m ² K (dB)	25	25 (stisnjena pena)	>40	27	>46

* Samo za primerjavo.

** Ug se nanaša na toplotno prehodnost materiala ali elementa skozi sredico.

Preglednica 2 • Primerjava naprednih izolacijskih sistemov

ga na svetovni ravni ne proizvede dovolj, da bi ga lahko množično uporabili v gradbeništvu. Slabost plinov CHF₃ in CH₂F₂ je njun dokaj visoki potencial toplogrednega učinka. Čeprav sta oba fluorirana ogljikovodika in se razgradata pod vplivom UV-svetlobe, ne predstavljata negativnega učinka na klimatske razmere.

V primeru Qbiss Air je bil kot najbolj optimalen izolacijski plin izbran CO₂. S strukturo petih komor debeline 20 mm, kjer so pregrade med komorami iz aluminijastih folij, smo izmerili toplotno prehodnost jedra 0,17 W/m²K.

V preglednici 2 je primerjava naprednih izolacijskih sistemov glede na Qbiss Air.

3.3.2 Zvočna izolativnost elementa Qbiss Air

Zvočna izolirnost (Rw) gradbenih materialov postaja vse bolj pomembna, še posebno za graditelje v mestnih jedrih in pri gradnji industrijskih kompleksov, kjer je treba zavarovati okolico pred hrupom. Vpliv zvočne izolirnosti materiala se kaže v znižanju jakosti zvoka/hrupa, ki se prebije skozi material. Jakost zvoka, ki ga ustvarimo s pogovorom, je 65 dB, hrup prometa in motornih orodij pa je minimalno 80 dB (Tratnik, 2005).

Zvočna izolirnost do 55 dB se enostavno doseže s težko betonsko gradnjo, saj je masa eden ključnih dejavnikov, ki učinkovito zaduši zvok. V primeru elementov Qbiss Air, ki jih prištevamo med lahke gradbene elemente, v osnovni varianti dosežemo zvočno izolirnost 46 dB, kar je zelo dobro v primerjavi z drugimi vrstami lahke gradnje, kjer je zvočna izolirnost običajno pod 40 dB (Medved, 2010).

Pri zasnovi zvočne izolirnosti elementov Qbiss Air smo izkoristili izkušnje s področja izolacijskih stekel, ki pri debelini 24 mm (4 mm steklo–16 mm plinska komora–4 mm steklo)

zadušijo že 32 dB hrupa, medtem ko kombinacija z masivnejšim ali lepljenim steklom že poveča zvočno izolirnost na 40 dB.

Zvok, ki ga človeško uho zazna, je mehansko valovanje v območju med 20 in 20.000 Hz. Ko zvok naleti na oviro, kot je stena, jo skuša udarna energija zvočnega vala premakniti oziroma ji vsiliti svoje nihanje. Če je stena v neposrednem stiku z naslednjo oviro, se bo valovanje zvoka preneslo naprej. Zato je zelo pomembno, da je med zunanjo in notranjo steno lahkega gradbenega elementa material z bistveno drugačno gostoto/togostjo, saj se zvok najbolj oslabi pri prehodu skozi plasti z nizko gostoto, posledično tudi nizko togostjo. Plast plina v izolacijskem steklu na ta način uspešno zaduši valovanje steklene plošče. Enako velja tudi za lepljena stekla, kjer je med dvema steklenima ploščama mehko lepilo polivinil butiral (PVB), ki zaradi manjše togosti še dodatno prispeva k dušenju zvoka.

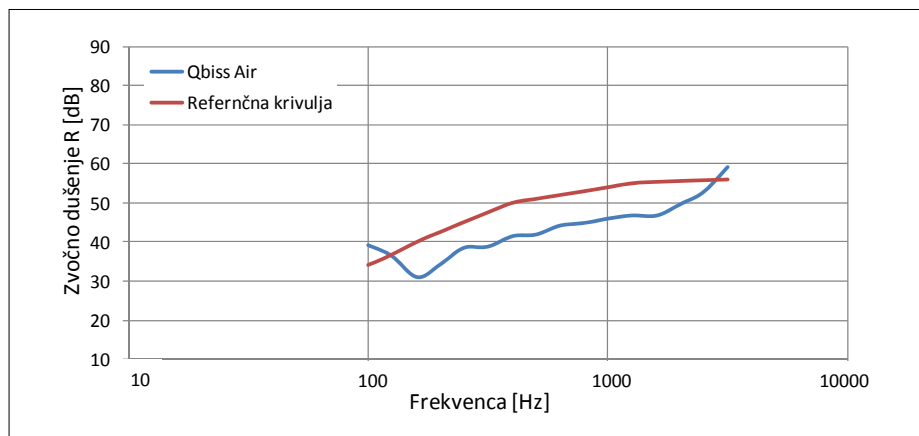
K dušenju zvoka prispeva tudi razdalja med notranjo in zunanjo ploščo: večja ko je, bolj učinkovito je dušenje.

Enak princip dušenja zvoka smo uporabili pri načrtovanju zvočne izolirnosti elementa Qbiss Air. Osnovna zunanja plošča je 8 mm kaljeno steklo ali 12 mm visokotlačni laminat (HPL), ki imata površinsko gostoto 19 kg/m². Na notranji strani je 15 mm mavčno-vlaknena plošča, ki ima površinsko gostoto 18 kg/m². Razdalja med notranjo in zunanjo ploščo je 100 mm, med ploščama pa je plin CO₂. Povezava med ploščama je samo preko okvirja, ki je na plošči pritrjen z mehkim lepilom. Z osnovno strukturo elementa Qbiss Air, ki tehta z že vgrajeno podkonstrukcijo 44 kg/m² elementa, smo dosegli zvočno izolirnost 46 dB (sliki 4, 5).

Zvočna izolirnost elementa Qbiss Air lahko še izboljšamo, če zunanje kaljeno steklo nadomestimo z debelejšim lepljenim steklom, na notranji strani pa dodamo mavčno-kartonske plošče. Če te z dodatno podkonstrukcijo odmaknemo od osnovne mavčno-vlaknene plošče za minimalno 5 cm, še dodatno izboljšamo zvočno izolirnost kot tudi toplotno izolativnost.



Slika 4 • Postavitev testne stene za preizkus zvočne izolirnosti elementov Qbiss Air na notranji strani (leva slika) in zunanji strani (desna slika)



Slika 5 • Diagram meritve zvočne izolirnosti elementov Qbiss Air

3.3.3 Vodotesnost in zrakotesnost fasadnega sistema Qbiss Air

Vodotesnost in zrakotesnost sta zelo pomembna parametra za obešene fasadne sisteme, med katere spada tudi fasadni sistem Qbiss Air. Od vodotesnosti in zrakotesnosti je namreč odvisna uporabnost in trajnost fasadnega sistema ter še zlasti udobje bivanja v tako zgrajenih stavbah. Vsak element Qbiss Air je popolnoma vodotesen, saj je sestavljen iz zunanje plošče (steklo, HPL) in notranje plošče (impregnirana ojačana mavčna plošča), med katerima je plinotesno toplotno izolacijsko jedro, polnjeno z izolacijskim plinom. Vodotesnost in zrakotesnost sistema Qbiss Air zagotavljajo tesnilke iz EPDM-gume na zunanji strani in protipožarna poliuretanska pena na notranji strani v regii med posameznimi elementi. EPDM-tesnilke v 20 mm regii med posameznimi elementi so dvodelne: vertikalne so prefabricirane na elementu, horizontalne pa se vgrajujejo na gradbišču. Po montaži in pozicioniranju elementov na končno lego se z notranje strani stavbe v rege med elementi vbrizga elastično protipožarno peno in nato še parozaporno folijo. Sledi zaključna obloga iz mavčno-kartonskih plošč.

Vodotesnost in zrakotesnost smo testirali po standardih SIST EN 12865 in SIST EN 14509, tako kot se testira večino sten in fasadnih sistemov. Rezultati so v primerjavi z drugimi obešenimi fasadnimi sistemi na trgu zelo ugodni, saj z osnovno izvedbo dosežemo razred A -1200 Pa (preglednica 3). Večina konkurenčnih sistemov dosega le 600 Pa (razred B).

3.3.4 Požarna obstojnost fasadnega sistema Qbiss Air

Za bivalne zgradbe, še posebno tiste, ki so javnega značaja (vrtci, šole, bolnišnice, zdravstveni domovi, domovi starejših občanov ...), je pomembna njihova požarna varnost, saj je treba ljudi pravočasno evakuirati v primeru požara. Pri gradnji takšnih stavb moramo upoštevati naslednje dejavnike:

- koliko časa je stena sposobna zadrževati napredovanje ognja od znotraj navzven in napredovanje požara po fasadi v druga nadstropja;
- koliko energije se sprosti pri gorenju (entalpija gorenja);
- kakšna je škodljivost nastalih dimnih plinov pri gorenju in drugih produktov gorenja;

- kako vpliva požar na konstrukcijske lastnosti fasadnega ovoja in stavbe.

Prefabricirani fasadni elementi in montažne stene, ki so izdelane iz mineralne volne in/ali mavčnih plošč, so s stališča požarne varnosti najbolj zaželeni. Mineralna volna je negorljiva in zaradi dobre toplotne izolativnosti zelo dobro ovira napredovanje požara. Mavčne plošče pa so s stališča zaviranja požara izjemne. V svoji strukturi imajo približno 20 % kristalno vezane vode, ki se pri povišani temperaturi in med požarom sprošča na površini plošče in jo s tem tudi hladi. Poleg tega nudi mavčna plošča visoko bivalno ugodje, saj izravnava vlago v prostoru.

To smo upoštevali tudi pri zasnovi elementa Qbiss Air, zato je na njegovi notranji strani 15 mm mavčno-vlaknena plošča, ki jo odlikujejo bistveno boljše mehanske lastnosti v primerjavi z običajno mavčno-kartonsko ploščo. Ko je Qbiss Air že vgrajen, se notranjo steno še dodatno obloži z vsaj 10 mm debelo mavčno-kartonsko ploščo, s čimer zaščitimo stik med dvema elementoma Qbiss Air in izboljšamo požarno varnost stene. Takšno postavitve smo preizkusili tudi pri požaru. Rezultat testa je pokazal, da je stena sposobna zadrževati požar minimalno 60 minut. V našem konkretnem primeru je ogenj prebil steno v 78. minuti (sliki 6 in 7).

Požarna obstojnost je pri elementih Qbiss Air nastavljaliva, kar pomeni, da vgrajene elemente, če je treba, dodatno obložimo z mavčnimi ploščami. Tako z dodatno najmanj 10 mm debelo mavčno ploščo zagotovimo minimalno 60 minut požarne varnosti, z debelejšimi mavčno-kartonskimi ploščami pa tudi 120 minut požarne varnosti in po potrebi še več.

3.3.5 Mejna stanja uporabnosti elementov Qbiss Air

Ključno za uporabnost vsakega obešenega sistema je mejno stanje uporabnosti (MSU), ki temelji na mnogih karakteristikah posameznih elementov in njihovega odziva na vplive okolja. Pri razvoju mehanskih lastnosti elementov Qbiss Air smo upoštevali osnovne ideje in priporočila, podana v standardih Evrokod.

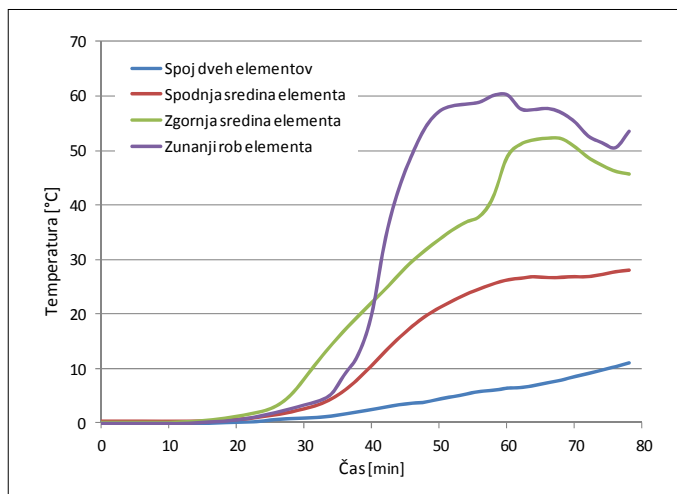
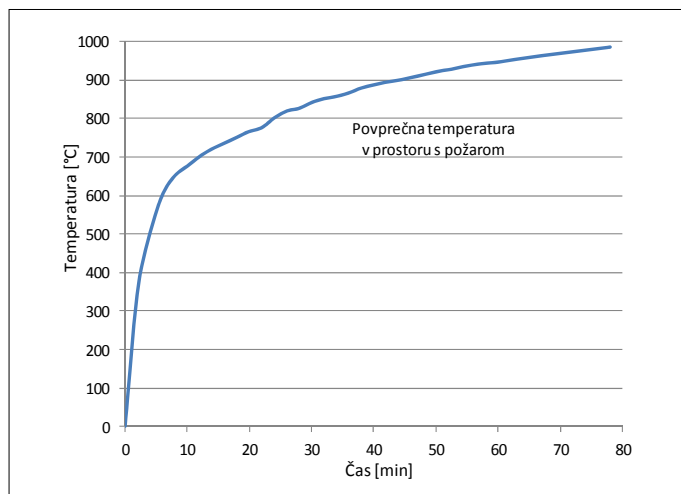
Nosilna konstrukcija (slika 3) je zasnovana na toplotno manj prevodnih distančnikih, ki so med seboj strukturno povezani. Togost in dolgotrajno ravnost panela (neodvisno od viskoelastičnih učinkov) zagotavlja polimerna letev, ki je dodatno ojačana z jekleno cevjo in povezuje zunanjo in notranjo ploščo. Polimerna letev je iz ekstrudiranega poliamida, ki vsebuje 40 % steklenih vlaken, pocinkana jeklena cev pa je standardna pravokotna cev

Pogoji preizkusa:

1. Obremenitev na ± 1200 Pa – suho, preverjanje tesnosti – zrakotesnost.
2. Obremenitev od 450 Pa v korakih po 150 Pa (40 ciklov) – sunki vetra (5 s) s pršenjem vode do 3050 Pa – vodotesnost.
3. Obremenitev 4 h sunki vetra 1200 Pa s pršenjem vode.
4. Obremenitev 14 h samo pršenje vode.
5. Obremenitev 4 h sunki vetra 1200 Pa s pršenjem vode.

Rezultat: Na vzorcu ni preboja vlage po preizkusu.

Preglednica 3 • Primer testiranja vodotesnosti



Slika 6 • Diagram povprečne temperature v prostoru s požarom (levo) in na zunanji steni elementa Qbiss Air na mestih spoja dveh elementov, v spodnji in zgornji sredini ter na zunanjem robu elementa (desno)



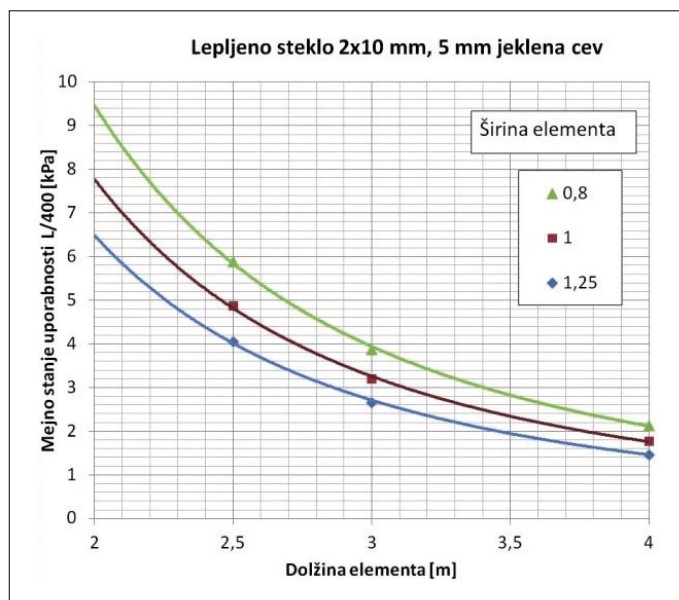
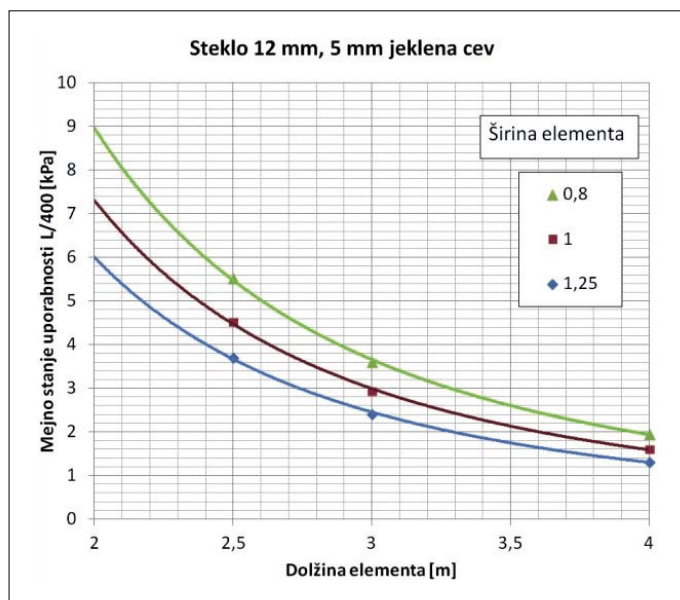
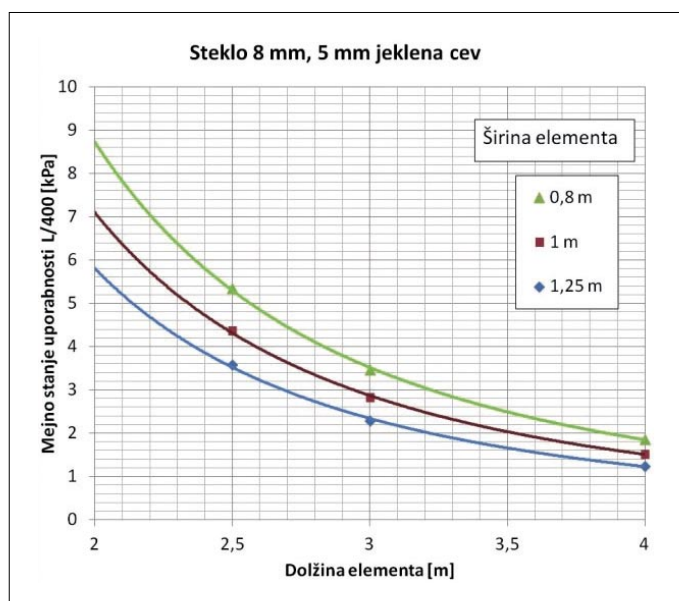
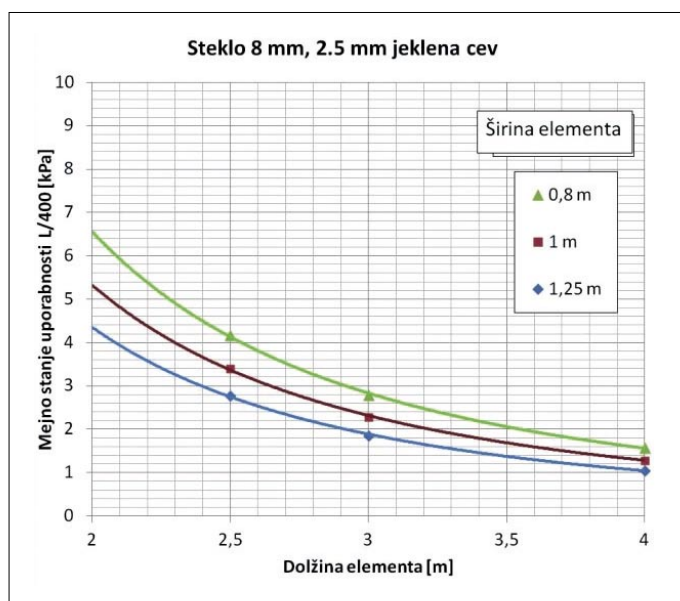
Slika 7 • Začetek požarnega testa (levo) in konec testa (desno). Ogenj je steno Qbiss Air prebil v 78. minuti

50 x 30 x 2,5 mm. Stik med zunanjo ploščo, polimerno letvijo in notranjo ploščo je zagotovljen s 3 mm debelim nanosom polisulfida, ki pa je rahlo modificiran glede na obstoječi polisulfid za izolacijska stekla, saj ima poleg tesnilnih lastnosti tudi lastnosti strukturnega lepila in 40 % nižjo toplotno prevodnost. Takšna struktura elementa Qbiss Air je bila izhodišče za določanje mejnega stanja uporabnosti (Beg, 2010a). Najprej smo v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo opravili numerično analizo (MKE) nosilnosti karakterističnega modulnega elementa Qbiss Air (4 x 1,25 m) z različnimi kombinacijami obtežb (različne debeline stekla in vrsta stekla – lepljeno steklo) ((Halilović, 2010), (Halilović 2011)). Rezultate numerične analize smo preveri-

li tudi z dejanskimi meritvami povесov na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (Beg, 2010b) ter dokazali ustreznost računskega modela za določanje MSU, ki od dejanskih meritev odstopa manj kot 5 %. Preverjeni računski model je bil potrjen in certificiran v Zavodu za gradbeništvo kot veljavno orodje za določevanje MSU za elemente Qbiss Air. Z računskim modelom in preizkusi smo dokazali, da struktura elementa Qbiss Air zagotavlja primerno togost za panele do dolžine 4 m in širine 1,25 m, ne da bi bilo pri tem treba dodati še dodatno zunanjo ojačitev. Za hitro določanje mejnih stanj uporabnosti smo izdelali tudi diagrame, ki popisujejo odvisnosti MSU od velikosti in sestave elementov Qbiss Air pri pomiku L/400 (slika 8).

3.3.5 Trajnost in življenjska doba elementa Qbiss Air

Vse močnejša ozaveščenost ljudi za okolje in obdobje recesije pritiska na ponudnike novih materialov, elementov in proizvodov, da bi bili ti cenovno ugodni, trajni in okolju prijazni. Pri načrtovanju elementa Qbiss Air smo uporabili materiale, ki okoljsko niso sporni in imajo že preverjeno dolgo življenjsko dobo. Vgrajeni materiali, ki jih lahko recikliramo, so steklo, mavčne plošče, aluminijaste folije, hibridni distančniki in polimeri. Manj primerna za ponovno uporabo so le lepila, ki predstavljajo manj kot 5 % teže elementa in jih je treba po razgradnji elementa primerno uničiti (sežgati). To pomeni, da so materiali, vgrajeni v element Qbiss Air, vsaj 95 % ponovno uporabljivi.



Slika 8 • Diagrami MSU za različne debeline in vrste stekla ter debeline jeklene cevi v odvisnosti od dolžine in širine elementov Qbiss Air

Materiali, ki so vgrajeni, imajo izredno dolgo življenjsko dobo. Kaljeno steklo ima minimalno 50 let življenjske dobe. Mavčna plošča je prav tako zelo vzdržljiv material, v kolikor ni izpostavljena pretirani vlagi. Aluminijaste folije so v izolacijskem jedru zavarovane pred vlago, ki povzroča belo korozijo. Pretežni del hibrid-

nega distančnika je narejen iz nerjavnega jekla, polimerna letev pa je iz vzdržljivega poliamida, ki vsebuje 40 % steklenih vlaken, ki prevzemajo notranje napetosti v materialu. Trajnost oziroma življenjsko dobo smo preverili tudi za lepila. Na izbranih lepilih za element Qbiss Air so bili opravljeni oziroma

še vedno potekajo pospešeni dolgotrajni trajnostni testi, ki nakazujejo na izredno dolgo življenjsko dobo materialov oziroma vsaj 25 let normalne uporabe. Nekaj realnih izkušenj lahko povzamemo le s področja izolacijskih stekel, ki imajo ob kvalitetni izdelavi tudi več kot 50-letno življenjsko dobo.

4 • SKLEP

Da bi dosegli visoko koristnost izdelka, smo se pri snovanju, kolikor je bilo mogoče, izogibali uporabi plastičnih materialov in kovin,

ki obremenjujejo rabo naravnih virov. Izdelek je v bistvu votel in s tem optimalen z vidika rabe mineralnih konstrukcijskih gradiv za dosega-

nje zelenih toplotnih, zvočnih, mehanskih, požarnih lastnosti in ugodja bivanja. Predlagana rešitev predstavlja skoraj matematični optimum. Menimo, da s tem izdelkom ponujamo učinkovito rešitev lahkega fasadnega ovoja za visoke stavbe 21. stoletja.

5 • LITERATURA

- Aspen Aerogels, INC, povzeto po: http://www.aerogel.si/1_aspen_aerogels.htm, 2009.
- Ayres, U. R., Warr, B., Useful work and information as drivers of growth, INSEAD Working papers, Francija, 2002.
- Baefens, R., Jelle, B., Gustavsen, A., Grynning, S., Gas-filled panels for building applications: A state-of-the-art review, *Energy and Buildings* 42, str. 1969–1975, 2010.
- Baefens, R., Jelle, B. P., Gustavsen, A., Aerogel Insulation for Building Applications: A state-of-the-art review, *Energy and Buildings*, št. 43, str. 761–769, 2011.
- Bayer AG, Double the Insulating Performance, Reduced Energy Consumption, Polyurethane Nanofoams for Thermal Insulation, povzeto po: <http://www.press.bayer.com/>, oktober 2010.
- Beg, D., Poročilo o pregledu Poročila o numerični analizi fasadnih panelov Trimo (Faza 5 in Faza 8) laboratorija za numerično modeliranje in simulacije v mehaniki UL FS, FGG, Ljubljana, oktober, 2010.
- Beg, D., Pavlovčič, L., Gorenc, B., Sinur, F., Poročilo eksperimentalnih preiskav: VITP-paneli Trimo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, maj, 2010.
- Cauberg, H., Tenpierik, M., Sound Reduction of Vacuum Insulation Based Sandwich Panels, A. Beck et al. (eds.), *Proceedings of the 8th International Vacuum Insulation Symposium*, ZAE-Bayern/UniWue, Würzburg, 18.–19. september, str. 1–8, 2007.
- Erb, M., Symons, W., Vacuum Insulation Panel Properties and Building Applications, *Energy Conversation in Buildings & Community Systems Programme*, ECBCS Annex 39, 2005.
- GFP Insulation, povzeto po: <http://www.gfpinsulation.com/>, 2007.
- Griffith, B., Arasteh, D., Türler, D., Gas-Filled Panels: An Update on Applications in the Building Thermal Envelope, *Proceedings of the BETEC fall symposium »Superinsulations and the building envelope«*, 14. november, Washington DC, 1995.
- Halilović, M., Vrh, M., Štok, B., Določitev mejnih stanj uporabnosti in nosilnosti za VITP-panel, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, julij 2010.
- Halilović, M., Vrh, M., Štok, B., Numerical Model of the Qbiss Air panel, Laboratorij za numerično modeliranje in simulacije v mehaniki (LNMS), Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, december 2011.
- Heller, O., Improved Window Pane, Patent GB141678A, 1920.
- Kistler, S. S., Coherent Expanded Aerogels and Jellies, *Nature*, št. 127, str. 741, 1931.
- Kruck, R. W., Cur, O. N., Heavy Gas-filled Multilayer Insulation Panels and Method of Manufacture Thereof, Patent US4959111, 1988.
- Medved, S., Gradbena fizika, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2010.
- Muhlenkamp, S. P., Johnson, S. E., In-Place Thermal Aging of Polyurethane Foam Roof Insulations, *Proceedings of the 7th Conference on Roofing Technology*, NBS/NRCA, str. 49–55, 1983.
- Mukhopadhyaya, P., Kumaran, M. K., Long-Term Thermal Resistance of Closed-Cell Foam Insulation, 3rd Global Insulation Conference and Exhibition, 16.–17. oktober, Barcelona, Španija, NBS/NRCA, str. 1–12, 2008.
- Munters, K., Heat Insulation, Patent US1969621A1, 1931.
- Strey, R., Sottmann, T., Schwan, M., Foamed Material and Method for the Production of said Foamed Material, Patent EP1576038, 2002.
- Tratnik, E., Prenehajte s tem hrupom!, Priročnik z osnovnimi informacijami in navodili. Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, povzeto po: <http://osha.europa.eu/fop/slovenia/sl/et2005/PDF/ET2005-hrup.pdf>, 2005.

V TEM TUNELU ŠE NI VIDETI IZHODA

Nedvomno vsi ugotavljamo, da je gradbeništvo tisti del gospodarstva, ki ga je kriza najbolj prizadela, in da ima prav gradbeništvo visok učinek na druge segmente gospodarstva. Že od leta 2009 opazujemo ogromne indekse upada vrednosti gradbenih del, še bolj pa je skrb vzbujajoč upad čistega dobička oziroma se večina gradbenih podjetij v zadnjih letih bori z izgubami. Zaradi stečajev največjih gradbenih podjetij se je tudi število zaposlenih v gradbeništvu razpolovilo in je tako ogrožen socialni položaj v številnih družinah.

Zaradi odmevnih tajkunskih prevzemov in dolgotrajnih stečajnih postopkov je tudi javno mnenje pod vtisom, da vladajo v gradbenih podjetjih nezakonitosti do zaposlenih, neupoštevanje rokov izvedb, neplačila dobaviteljem ... Nesmiselno je, da se vsi državljani s tem ukvarjamo in nad tem zgražamo, saj je dolžnost države in pravosodnih organov, da s primerno zakonodajo in s pravočasnim ukrepanjem preprečijo ali vsaj ustavijo vse nezakonitosti.

Radi bi opozorili, da to ni pravilo in da se v marsikaterem gradbenem podjetju po vseh močeh

trudimo, da izpolnjujemo vse zakonske obveze pa tudi ohranimo moralna načela poslovanja. Kljub temu nam ni prihranjena nobena težava, s katero se v teh časih srečujemo v gradbeništvu.

Druga problematika se nanaša na postopke pri pridobivanju gradbenih dovoljenj. Že večkrat je bilo opozorjeno tudi ministrstvo in gradbinci pričakujemo, da bodo dane zaveze za poenostavitev postopkov čim prej realizirane.

Uspešnost gradbenih podjetij je odvisna tudi od prakse izbire izvajalcev na javnih razpisih v