

Revolucija na področju oken



PETER LEGIŠA



Odboj na steklu

Svetloba v prozornih snoveh potuje počasneje kot v vakuumu. Če je c hitrost svetlobe v vakuumu in c' hitrost svetlobe v snovi, je $n = c/c'$ lomni količnik snovi. Za zrak je lomni količnik praktično 1, za navadno steklo okrog 1,5, za vodo 1,33. Ko svetloba zadene mejo dveh prozornih snovi z lomnima količnikoma n in n' , se del svetlobe odbije. Pri pravokotnem vpadu na mejo dveh prozornih snovi je delež odbite svetlobe enak [1, str. 472]

$$\left(\frac{n - n'}{n + n'} \right)^2.$$

Na meji zrak-steklo je tako delež odbite svetlobe enak $(1,5 - 1)^2 / (1,5 + 1)^2 = (\frac{1}{5})^2 = 0,04$. Tako se pri pravokotnem vpadu na vsaki meji zrak-steklo odbije kake 4 % svetlobe. Na meji zrak-voda pa se odbije približno $((1/3)/(7/3))^2 = 1/49$ vpadle svetlobe, torej približno 2 %.

Bolj ko svetloba na tako mejo vpada poševno, večji je delež odbitega valovanja. To opazimo na vodni gladini, ko je sonce nizko nad obzorjem.

Šipa ima dve meji steklo-zrak, tako da se na eni šipi odbije približno osem odstotkov pravokotno vpadle svetlobe. Narcis v starogrški pripovedki se je torej v vodni gladini precej teže občudoval kot nekdo, ki uporabi štirikrat močnejši odsev na šipi. Nekaj svetlobe se v šipi tudi absorbira. Koliko, je odvisno od debeline šipe in kakovosti stekla.

Na skladovnici oken na sliki 1 opazimo, kako se svetloba izgublja ob prehodu skozi plasti stekel in kako se zmeraj bolj zeleno obarva. Vzrok za ze-



SLIKA 1.

Zelenkasta barva stekla in naraščajoče izgube svetlobe pri prehodu skozi več šip

leno barvo so primesi železa v steklu. Če privzamemo, da običajna štiri milimetrska šipa absorbira dva odstotka pravokotno vpadle svetlobe, potem ta šipa prepušča približno 90 odstotkov pravokotno vpadle svetlobe. Čim več je šip, skozi katere potuje svetloba, tem manj je pride skozi.

Dobijo pa se tudi šipe iz zelo čistega in zelo prozornega stekla, tako da se v njih absorbira le zelo malo svetlobe. Skozi dve taki tanjši šipi pride pri pravokotnem vpadu približno 0,92² vpadle svetlobe, torej, če zaokrožimo navzdol, kakih 84 odstotkov. Delež svetlobe, ki pride skozi tri take šipe, je približno 0,92³, kar je, zaokroženo navzdol, 77 odstotkov.

www.dmfa-zaloznistvo.si



→ Zasteklitve

V Sloveniji že dolgo uporabljamo dvojno zasteklitev. Okna lahko imajo dvojna krila, vsako krilo pa enojno steklo. To so tako imenovana *škatlasta okna*. Razmik med šipama je od decimetra do več decimetrov. Pozimi so med krili pogosto polagali po meri narejene blazinice, da bi omejili vdor hladnega zraka skozi reže med krili in okvirjem. Druga možnost je krilo z dvema stekloma v razmiku nekaj centimetrov. Krilo je z izvijačem ali kako drugače mogoče razstaviti. To so tako imenovana *vezana okna*. V obeh primerih je menjava razbite šipe enostavna in poceni. Steklar odreže potrebno velikost, nato pa je potrebno imeti le še nekaj kita in zatičev. Steklo je bilo pred pol stoletja in več rahlo valovito, tako da pogled skozenj prinese nekoliko deformirano sliko. V hudi zimi se na notranji strani zunanje šipe pojavijo ledene rože, ko vodna para iz stanovanja skozi reže pride v vmesni prostor in zamrzne na zunanjem steklu.

Delež svetlobe, ki pride skozi tako dvojno zasteklitev pri pravokotnem vpadu, ocenimo z $0,9^2$, torej približno 81 %.

Že leta 1930 so v ZDA izumili »termopan« steklo. Dve šipi sta ob robu prilepljeni na aluminijasto letvico – distančnik – širine kakih 10 mm (v ZDA sta po mojih izkušnjah šipi pogosto bili še bliže skupaj), med njima pa je suh plin. Nekateri so verjeli, da je med šipama vakuum, a je to seveda nemogoče, razen če so med stekloma precej na gosto nameščene prozorne opore, ki kljubujejo brutalni sili zunanjega tlaka. Okna so dobila tudi gumijasto tesnilo. Konstrukcija je enostavnejša in imamo pol manj dela s čiščenjem v primerjavi s škatlastimi okni. Ledene rože so praktično izginile. Toplotna izolacija pa se ni izboljšala – zaradi premajhnega razmika med šipama in aluminijaste letvice. Aluminij je namreč zelo dober prevodnik toplote. V mrzlem vremenu se na steklih in tenkih okvirjih še zmeraj pojavlja kondenz in z njim povezane težave – plesni, gnitje lesenih okvirjev.

Okna nam dajejo dnevno svetlobo. Pozimi je prijetno in koristno, ko nas sonce skozi južna okna greje. Poleti je tega gretja pogosto preveč, še posebno pri strešnih oknih; zunanja senčila so nujna. Notranja senčila so bolj ali manj neučinkovita pri zaustavljanju toplote, še posebno, če so temna. Dobra rešitev je nadstrešek: visoko poletno sonce ne more v sta-

novanje, nizko zimsko sonce pa nas greje. Ob oblačnem in mrzlem vremenu tudi skozi južna okna lahko izgubljam toploto. Te izgube ni lahko oceniti.

Toplotni tok skozi homogeno ploščo debeline d in s površino S lahko izračunamo po formuli

$$\Phi = \lambda S \frac{T - T'}{d} = \lambda S \frac{\Delta T}{d}, \quad (1)$$

kjer je λ *koeficient toplotne prevodnosti*, T in T' pa sta temperaturi na obeh straneh plošče. Za staro stavbo s pol metra debelimi stenami iz polne opeke ($\lambda \approx 0,7$ W/mK, enako kot za steklo) dobimo tok $\Phi = (1,4$ W/m²K) $S\Delta T$. Če je znotraj 22 stopinj in zunaj -8 stopinj Celzija, je $\Delta T = 30$ K in je toplotni tok 42 W/m². Skozi 100 kvadratnih metrov take stene izgubljam ravno toliko energije, kot jo dajeta dve pečici z močjo 2,1 kW.

Beton ima $\lambda \approx 1,3$ W/mK; železobeton približno 1,5 W/mK. Oba materiala prevajata bistveno bolje kot opeka.

Toplotni tok skozi 20 cm debelo toplotno izolacijo z $\lambda = 0,04$ W/mK je $(0,2$ W/m²K) $S\Delta T$. Pravimo, da je *koeficient toplotne prevodnosti* take izolacije 0,2 W/m²K. Pri $\Delta T = 30$ K skozi vsak kvadratni meter stene s tako izolacijo izgubljam manj kot 6 W, torej neprimerno manj kot skozi debelo neizolirano steno iz prejšnjega primera.

Denimo, da imamo dvoslojno okno z razmikom $d = 16$ mm med šipama. Toplotna prevodnost zraka je približno 26 mW/mK (milivatov na meter Kelvin). Po formuli (1) bi za toplotni tok dobili približno $(1,6$ W/m²K) $S\Delta T$. V resnici je skoraj dvakratnik te vrednosti.

Zdi se, da je potrebno samo povečati razmik med šipama, pa bo toplotni tok manjši in izolativnost še večja. Ampak brž ko povečamo razmik, se poveča tudi *konvekcija*. S tem pojmom opišemo dogajanje, pri katerem se zrak spušča ob notranosti mrzle šipe in vzdiguje ob notranosti tople šipe. Ta krožni tok v zračnem sloju med šipama poveča transport toplote s toplejše šipe na hladno. Skrivnost izolacijskih materialov, kot so kamena volna, ekspanzirani polistiren (stiropor), je ravno v tem, da so sicer skoraj sam »zrak«, ampak konvekcija je praktično eliminirana.

Ker je zasteklitev prozorna, moramo upoštevati še sevalne izgube, ki so zelo pomembne. V mrzlem vremenu brez sonca dolgovalovno infrardeče sevanje tople notranosti prenaša energijo v mrzlo zunanost. Tudi radiatorji vsaj tretjino svoje toplote

oddajajo s sevanjem, zato je napačno, če jih prekrivamo. Črno ali sivo telo pri sobni temperaturi relativno največ sevanja oddaja pri valovni dolžini okrog 10 mikrometrov, praktično ves izsev pa je na območju od 5 do 50 mikrometrov.

V vročem vremenu prav tako ne želimo, da zunanost seva toploto v ohlajeno notranost.

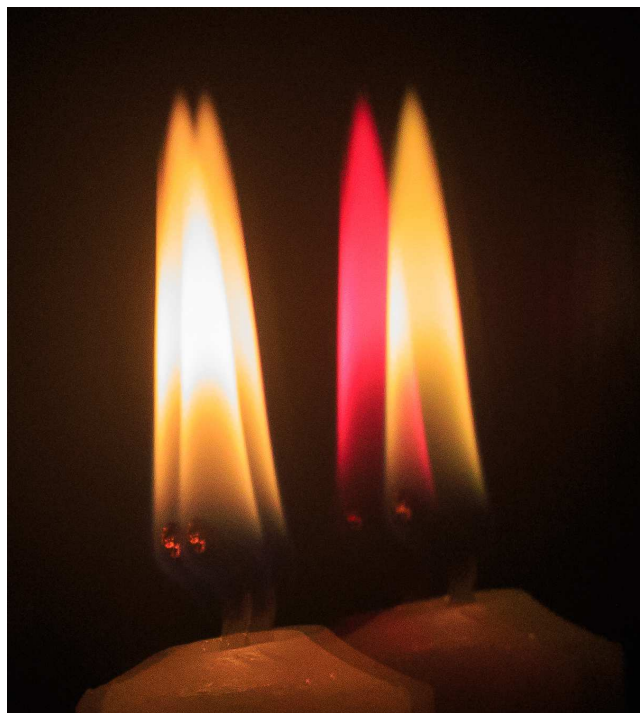
Za dvoslojno zasteklitev, polnjeno z zrakom, naj bi optimalna debelina zračnega sloja znašala dva do tri centimetra in koeficient U_g celotne toplotne prevodnosti take zasteklitve naj bi bil okrog $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Črka g pomeni *glass*, torej zasteklitev.

To vrednost lahko znižamo, če namesto zraka uporabimo žlahtna plina **argon** (toplotna prevodnost je precej nižja kot pri zraku in znaša približno 18 mW/mK) ali **kripton** (10 mW/mK). Argon sestavlja približno en odstotek Zemljine atmosfere in ga je torej več kot dovolj. Zdaj je tudi poceni. Kripton je dražji in bolje izolira. Optimalni razmik med šipama za argon naj bi bil približno 16–18 mm, za kripton pa je 10–12 mm. Po evropskih normah naj bi iz zasteklitve letno uhajalo manj kot en odstotek polnitve. Nevarnost, da bo večji del plina ušel, je zaradi boljših materialov še manj verjetna, kot da »spusti« klasični termopan. V tem primeru v zasteklitvi pride okoliški zrak, ki ni nikoli povsem suh; zato med šipama pride do kondenzacije vodne pare. Med šipama je včasih sicer snov, ki absorbira vlago – silikagel, a ta ima omejeno kapaciteto.

Nizkoemisijski nanosi

Pred trinajstimi leti je avtor tega članka dal zamenjati okna. Na sliki 2 imamo odsev sveče v enem od teh oken. Sveča je na zunanji strani zasteklitve.

Kot pričakujemo, dobimo pri dvojni zasteklitvi štiri odseve. Eden od odsevov pa je bistveno drugačen. To je zato, ker je na notranji strani ene od šip (tiste, ki je bližje notranjosti) *nizkoemisijski nanos*, angleško *low emissivity coating*, kratko *low-E*. Gre za izredno tanek sloj, ki je skoraj prozoren za vidno svetlobo in za večino sončnega sevanja, odbija pa zelo velik delež dolgovalovne infrardeče svetlobe. Očitno po fotografiji ta nanos odbija tudi mnogo večji delež rdeče svetlobe kot navadna steklena površina. Kot smo že rekli, je sevanje notranjosti v glavnem na območju od 5 do 50 mikrometrov. Nizkoemisijski nanos de-



SLIKA 2.

Odsevi sveče na dvoslojni zasteklitvi z nizkoemisijским nanosom

luje kot zrcalo za tako dolgovalovno infrardeče sevanje in izredno zmanjša izgube zaradi sevanja.

Nizkoemisijski nanos je danes skladovnica večjega števila (tudi 12) slojev. Posamezni sloji vsebujejo cink, kositer, titan in okside teh kovin, navadno tudi srebro. Nekateri od teh slojev (npr. srebro) so občutljivi, tako da jih imamo zmeraj v zaprtem prostoru med stekloma. Sloji so tudi izredno tanki, tako da bi jih s čiščenjem hitro poškodovali in odstranili. Nizkoemisijski nanosi so produkt zapletene znanosti ter visoke tehnologije in imajo lahko precej različne karakteristike. Skupna debelina teh nanosov je precej manjša kot valovna dolžina vidne svetlobe, ki znaša nekako od 0,4 mikrometra za vijolično svetlobo do 0,7 mikrometra za rdečo svetlobo.

Nizkoemisijski nanosi so povzročili pravo revolucijo. Vse take zasteklitve imajo tudi polnitev z argonom ali celo kriptonom. Standardna dvoslojna zasteklitev z argonom ima pri nas $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, s kriptonom pa se ta vrednost zniža na $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Taka zasteklitev je torej neprimerno boljša

→ kot termopan. Nekatera podjetja vrednost za U_g in morda še kake druge podatke o zasteklitvi odtisnejo na distančnik med šipama.

Po evropski normi mora biti že kako desetletje za vse nove izdelke na tržišču $U_g \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Torej imajo čisto vse zasteklitve na tržišču nizkoemisijski nanos in polnjenje z žlahtnim plinom. Celo v ZDA, kjer je energija poceni, ima več kot 90 odstotkov novih zasteklitev nizkoemisijski nanos. Zanimivo je, da so šipe v ZDA večinoma tanjše – trimilimetrske, kljub ekstremnim vremenskim pojavom v nekaterih delih te države.

Faktor g prehoda celotnega sončnega sevanja je za dvojno zasteklitev z nizkoemisijским nanosom navadno okrog 63 %. Tolikšen delež sončne energije torej pride skozi zasteklitev. Sončno sevanje na nizkih nadmorskih višinah je v glavnem na območju od 0,28 mikrometra (UVB svetloba) do 2,5 mikrometra.

Prepustnost vidne svetlobe merimo s faktorjem $LT = T_V = \tau_v$, kjer LT pomeni *Light Transmission*. Za zgoraj omenjeno standardno dvoslojno okno z nizkoemisijским nanosom je LT približno 78 %. Kot prej, ta podatek velja za pravokotni vpad svetlobe. Ta okna imajo tudi dvojna ali trojna tesnila in zato dobro dušijo hrup.

Toplotne izgube skozi okna lahko dodatno zmanjšamo s **trisoljno zasteklitvijo**. Trisoljna okna še bolje dušijo hrup. Tipične vrednosti so $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 50 \%$, $LT = 72 \%$. Taka zasteklitev torej prepušča nekaj manj svetlobe in občutno manj sončne toplote kot dvoslojna. Na sliki 3 vidimo odsev sveče na taki zasteklitvi. Sveča je spet na zunanji strani.

Odsev na notranji šipi je enak kot pri dvoslojni zasteklitvi. Sklepamo, da gre za enak nanos. Odsev na zunanji šipi pa je drugačne barve in je torej tudi nanos drugačen. Iz podatkov o prepustnosti sončnega sevanja sklepamo, da ta nanos odbija ne samo dolgovalovno, ampak tudi nekaj kratkovalovnega infrardečega sevanja, in tako prepušča manj sončne toplote. Eden od možnih razlogov za to je, da proizvajalec ni želel, da se srednja šipa na soncu preveč segreje in posledično raztegne. Srednja šipa je namreč toplotno zelo dobro izolirana od okolice.

Danes lahko kupimo več tipov troslojne zasteklitve z $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, torej z zelo dobrimi izolativnimi lastnostmi. Posebna izvedba, ki jo lahko na-



SLIKA 3. Odsevi sveče na trisoljni zasteklitvi z dvema nizkoemisijским nanosoma

ročimo tudi pri nas, ima pri $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ celo $g = 60 \%$ in $LT = 77 \%$. Tak izdelek prepušča veliko sončne toplote in zelo velik delež svetlobe – povsem primerljivo s standardno dvoslojno zasteklitvijo. Narejen je iz zelo čistega stekla, tako da je absorpcija svetlobe in drugega sončnega sevanja v steklu minimalna.

Morda se sprašujete, zakaj ne bi uporabili štirislojne zasteklitve? V tem primeru lahko sonce močno segreje plin med osrednjima stekloma, saj ni veliko možnosti za odvajanje toplote. To lahko povzroči netesnost ali celo lom stekel. Potrebne so posebne tehnične rešitve z ekspanzijsko komoro, lunknjicami za izenačevanja tlaka vmesnih prostorov. Slovenski podjetji Reflex in Trimo [2-3] sta za fasadne elemente obnovljene poslovne stavbe v Oslu na Norveškem izdelali in montirali celo šeststojno zasteklitev z $U_g = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 24 \%$ in $LT = 38 \%$. Ta zasteklitev odlično izolira. Je pa očitno precej temna: prepušča pol manj svetlobe kot standardna dvoslojna zasteklitev in je podobna sončnim očalom. Prepušča le slabo četrtnino sončnega sevanja, tako da

senčila niso potrebna. Pri razvoju so sodelovali naš *Zavod za gradbeništvo* in dve norveški ustanovi.

Že trislojna zasteklitev je bolj problematična za spremembe temperature in zunanega zračnega tlaka. Vsebuje namreč približno dvakrat toliko plina kot dvoslojna, tlačna razlika pa obremeni le zunanji šipi, ki se bolj ali manj vbočita ali izbočita. Zgodilo se je že, da je vbočeno steklo koncentriralo odbito sončno svetlobo in stopilo plastiko na sosedovi hiši ali avtomobilu. Razlike v nadmorski višini nad 300 m med krajema izdelave in montaže oken je menda že potrebno upoštevati. Če živimo na nadmorski višini 800 metrov in naročimo okna pri podjetju, ki je na višini 200 metrov, bo skrbno podjetje taka okna napolnilo z manjšim tlakom; takim, kot je v povprečju na 800 m.

Kvadratni meter štiri milimetrskega stekla ima prostornino štiri kubične decimetre. Pri gostoti 2,5 kg/l to tehta 10 kg. Dvoslojna zasteklitev tehta tako 20 kg na m², troslojna pa 30 kg/m², kar je veliko. V ZDA znani laboratorij Lawrence Berkeley poskuša v partnerstvu z industrijo spraviti v množično proizvodnjo lahko trislojno zasteklitev 3 /10 Kr /1/10 Kr/3. Stranski šipi sta trimilimetrski in imata nizkoemisijski nanos. Srednja šipa je iz kaljenega stekla in debela le en mm, polnitev je s kriptonom. Tudi okvirji teh oken naj bi zelo dobro izolirali. V Evropi poskušajo s formulo 3/2/4, ki je le malce težja od standardne dvoslojne rešitve s šipama debeline štiri mm.

Stekla z zaščito pred soncem

Poslovne stavbe iz težko razumljivih razlogov še zmeraj projektirajo z ogromnimi zasteklenimi površinami. Zunanja senčila (močne žaluzije, rolete, polkna, nadstreške) mnogi arhitekti zaradi videza odklanjajo, čeprav so pravi blagoslov za zaposlene, ki bi brez njih živeli v »topli gredi«. Tako obstaja tržišče za zasteklitve, ki odbijajo več kot polovico sončne toplote. Taki nanosi navadno vsebujejo srebro in odbijajo tudi precej vidne svetlobe; torej zatemnijo notranjost. Dobimo lahko, recimo, rahlo temno dvojno zasteklitev z $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 27\%$ in $LT = 52\%$. Sprejemljivejši novejši različici sta dvoslojno $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 36\%$ in $LT = 65\%$ in troslojno $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 32\%$ in $LT = 58\%$.

V vsakem primeru je tudi v poslovnih prostorih cenejše, za bivanje neprimerno ugodnejše in energetsko bolj varčno, če zasteklene površine zmanjšamo in uporabljamo navadno trislojno (v toplejših delih Primorja pa dvoslojno) zasteklitev ter robustna zunanja senčila, ki jih veter ne bo polomil ali raztrgal. Za osvetlitev delovnih površin zasteklitev pod tem nivojem ne prinaša skoraj nič, poveča pa nihanja temperature v prostoru.

Okna do tal in obenem sive stene in/ali črni stropi, ki »požirajo« svetlobo, so primeri zmage mode nad interesi uporabnikov in zdravim razumom. Po ugotovitvah znanega psihologa Antona Trstenjaka temni stropi delujejo depresivno. Kako bomo ob takih nepremišljenih rešitvah zmanjšali ogljični odtis?

Distančniki, okvirji, vgraditev

Mnoga steklarska podjetja žal še zmeraj uporabljajo aluminjske distančnike med šipami. Pri naročilu moramo izrecno zahtevati boljše distančnike. Nerjaveče jeklo neprimerno slabše prevaja toploto kot aluminij in je tako inoks distančnik mnogo boljša rešitev. Danes večinoma uporabljajo plastične distančnike (reklamirajo jih pod vzdevkom *warm edge*, topli rob), ki še bolj izolirajo. Aluminjski distančniki v mrazu povzročajo zarositev okrog roba stekla, tudi pri trislojnih oknih, kot je izkusil avtor tega članka (ki mu v trislojno zasteklitev kljub zahtevi niso hoteli ali znali vgraditi boljših distančnikov). Posledica so lahko alge in plesni. Tudi sicer aluminijaste letvice opazno poslabšujejo izolativnost oken.

Izgube zaradi distančnika lahko ocenimo tako, da dolžino distančnika pomnožimo z linearnim koeficientom ψ_g toplotne prevodnosti distančnika in razliko ΔT temperatur. Koeficient ψ_g znaša za aluminij okrog 0,08 W/mK, za nerjaveče jeklo okrog 0,04 W/mK, za plastiko od 0,02 do 0,035 W/mK.

Okenski okvirji so tudi danes šibka točka oken, čeprav so širši in debelejši kot včasih. Njihov koeficient toplotne prevodnosti U_f (tu f pomeni angleško besedo *frame*, torej okvir) je pri plastičnih in lesenih izvedbah navadno od 1,1 do 1,5 W/m²K, pri specialnih izvedbah še manj. Prerez plastičnega okvirja ima obliko nekakšnega satovja. Votle, bolj ali manj pravokotne celice tega satovja imenujemo komore. Več komor navadno pomeni večjo debelino in boljše





izolacijo. Pogosto ena od komor vsebuje jekleno ojačitev, ki nekoliko poslabša izolativnost, a poveča trdnost okvirja.

Aluminijasti okviri so najmočnejši, najdražji, a najbolj prepuščajo toploto. Primerni so kvečjemu za poslovne in industrijske stavbe in sprejemljivi le, če imajo *prekinjen toplotni most*. To pomeni, da je okvir sestavljen iz dveh kovinskih delov, zunanjega in notranjega. Spojena sta recimo tako, da sta pritrjena na plastični večkomorni profil, vendar je med njima vsaj centimeter oddaljenosti. Za take okvirje znaša U_f navadno od 1,7 do 2,2 W/m²K, pri specialnih izvedbah še manj.

Potem imamo pri okvirjih še kombinaciji aluminij-les in aluminij-plastika, kjer je aluminij seveda na zunanji strani.

Več slovenskih proizvajalcev izdeluje okna, ki so prestala zahteven postopek certifikacije za uporabo v *pasivnih hišah* [4], z $U_f < 0,8$. Tako vrednost dosežejo z debelimi lesenimi ali plastičnimi okvirji. Plastični okvirji imajo komore, zapolnjene z izolacijsko peno. Tudi leseni okvirji imajo velike utore ali votline, napolnjene z izolacijo.

Oznaka U_w je koeficient toplotne prevodnosti za celotno okno (angleško *window*). Pri pasivni hiši mora biti $U_w < 0,85$. Izgube skozi okno so tudi pri *pasivni hiši* nekajkrat večje od izgub skozi odlično izolirano steno, zato so okenske površine na severni strani take hiše minimalne ali pa jih sploh ni. Na južni strani pa ima taka hiša velika okna in zunanja senčila.

Primer.

V zidni odprtini velikosti 123 cm × 148 cm (kar je približno 1,82 m²) imamo trislojno okno. Okvir ima širino 12 cm. Steklena površina je 99 cm × 124 cm, torej približno 1,23 m². Izgube skozi steklo so pri trislojni izvedbi z $U_g = 0,7$ W/m² enake $1,23 \times 0,7 \approx 0,86$ W/K.

Skupna dolžina aluminijastega distančnika je 4,46 m, izgube skozenj pa $4,46 \times 0,08 \approx 0,36$ W/K. (Z uporabo boljšega distančnika bi to vrednost zmanjšali za 50 do 75 odstotkov.)

Površina plastičnega petkomornega okvirja z jekleno ojačitvijo je približno 0,59 m². Pri $U_f = 1,3$ W/m²K so izgube skozi okvir približno 0,77 W/K,

kar je primerljivo z izgubami skozi steklo! Skupne izgube so 1,99 W/K. Če to delimo s površino zidne odprtine, dobimo $U_w \approx 1,1$ W/m²K. Z boljšim distančnikom bi to vrednost znižali za deset do petnajst odstotkov na 1,0 ali celo 0,95. Čim manjše je okno, tem večji je vpliv okvirja in distančnika.

Kamnite okenske police dobro prevajajo toploto, torej so toplotni mostovi, in zato niso priporočljive. Okna morajo biti vgrajena tako, da je zunanja stran poravnana z zidom in vsaj nekaj centimetrov okvirja prekritih z izolacijo fasade. Tako zmanjšamo toplotni tok skozi zid okrog roba okvirja. Teoretično še bolje je, če je okno v izolaciji, a je to težje izvesti. Danes reže med oknom in zidom lahko povsem zatesnijo s trajnoelastičnimi trakovi (temu se reče *RAL montaža*).

Če je ena od šip debelejša, se izboljša zvočna zaščita. Eden od vzrokov za to je, da ima debelejša šipa drugačne lastne frekvence. Sestav debele in tanke šipe tako mnogo težje pride v resonanco s kakim zunanjim zvokom. Tudi sicer debela šipa bolje duši zvok.

Kaljeno steklo je odpornejše na udarce. Še močnejše so težke in debele lepljene šipe s sestavo steklo-plastika-steklo v raznih variantah (enojna, dvojna ... plastična folija, razne debeline stekla). Lepljena zasteklitev lahko ščiti pred vandalizmom in vlomilci. Plastika v taki zasteklitvi tudi absorbira ultravijolično svetlobo, kar je pomembno za muzeje in galerije, saj UV svetloba povzroča bledenje barv. Vse to je na razpolago v kombinaciji z nizkoemisijskimi nanosi, ki jih je mnogo lažje nanesti na steklo kot na plastiko.

Kljub temu, da je avtor članka pri zamenjavi oken naredil nekaj napak in pred trinajstimi leti nekaterih njegovih upravičenih želj niso mogli ali hoteli uresničiti, zamenjave ne obžaluje. Nova okna prinašajo večje udobje: neprimerno boljšo zvočno zaščito, zaradi trojnih kakovostnih tesnil ni več prodora vode ob nevihtah in v bližini okna je v mrzlem vremenu prijetneje, ker je notranja šipa sorazmerno topla. Južna stran se manj pregreva; pozimi je račun za kurjavo manjši. Ob gradbeni adaptaciji je staro termopan okno bilo povsem zaroseno, novo okno zraven pa suho. Zdaj so na voljo še boljše rešitve in izvajalci imajo več izkušenj.

Nekateri prisegajo na »naravno« ventilacijo starih netesnih oken skozi reže med oknom in okvirjem ter razpoke med okvirjem in zidom. Te ventilacije pa ni mogoče kontrolirati. V hudem mrazu, pri močnem vetru je take »naravne« ventilacije preveč in so izgube energije velike, da ne govorimo o mrazu in prepihu. Trgovine za domače mojstre že desetletja dobro prodajajo razna tesnila, s katerimi ljudje poskušajo zmanjšati to neobvladljivo »naravno« ventilacijo.

Tudi povsem tesna okna omogočajo zelo učinkovito zračenje: le nekajkrat na dan jih je potrebno za nekaj minut na stežaj odpreti, po možnosti več oken naenkrat, tako da imamo prepih. To je prava in zaželeno naravna ventilacija. Seveda pa moramo s kakim stolom ali s čim drugim fiksirati vsako od oken, da jih prepih ne zaloputne ali celo razbije. V vročinskih valovih lahko prostore ohladimo ponoči z zračenjem skozi odprta ali nagnjena okna, če seveda ne živimo v vročinskem otoku sredi mesta, kjer se zaradi pregrih stavb in asfalta zrak pogosto tudi ponoči ne ohladi kaj dosti.

Če hočemo zmanjšati vlago v stanovanju, moramo večkrat na kratko prezračiti takrat, ko je zunanja temperatura precej nižja od notranje. Mrzel zrak namreč ne more vsebovati dosti vodne pare. Odpiranje kletnih oken v toplem vremenu je pa velika napaka, ki bo za posledico imela mokre stene kleti.

Literatura

- [1] J. Strnad, *Fizika 2. del, Električna, Optika*, DMFA - založništvo, Ljubljana 2014.
- [2] A. Kralj, M. Drev, M. Žnidaršič, B. Černe, J. Hafner in B. P. Jellede, *Investigations of 6-pane glazing: Properties and possibilities*, Energy and Buildings 190, 2019, 61-68, dostopno na www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818331554, ogled 5. 12. 2019.
- [3] *Quadruple glazing*, dostopno na en.wikipedia.org/wiki/Quadruple_glazing, ogled 5. 12. 2019.
- [4] *Pasivna hiša*, dostopno na sl.wikipedia.org/wiki/Pasivna_hiša, ogled 5. 12. 2019.

Križne vsote



→ Naloga reševalca je, da izpolni bele kvadratke s števki od 1 do 9 tako, da bo vsota števk v zaporednih belih kvadratih po vrsticah in po stolpcih enaka številu, ki je zapisano v sivem kvadratu na začetku vrstice (stolpca) nad (pod) diagonalo. Pri tem morajo biti vse številke v posamezni vrstici (stolpcu) različne.

	4	17					
11						12	4
6			13		9	4	
	11			14			
		9					
			7				



REŠITEV KRIŽNE VSOTE

		9	1	7			
		1	2	9	6		
3	6	2	3	7	4	11	
1	3	4	6	13	5	1	9
4	12				8	3	11
				17	4		

