VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA,

MARIBOR

DIPLOMSKO DELO

TEHNOLOGIJA IZDELAVE IN ENERGETSKA UČINKOVITOST IZOLACIJSKEGA STEKLA

(NA PRIMERU PODJETJA REFLEX)

Kandidat: Kocbek Ciril

Študent študija ob delu

Številka indeksa: 11190040010

Program: STROJNIŠTVO

Mentorica: dr. Marija Kisin

Maribor, junij 2011

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKE NALOGE

Podpisani Kocbek Ciril, št. indeksa 11190040010, izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom Tehnologija izdelave in energetska učinkovitost izolacijskega stekla (na primeru podjetja Reflex), ki sem jo izdelal pod mentorstvom dr. Marije Kisin.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo diplomsko delo izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot mojih lastnih – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah; UL št. 16/2007; (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom VSŠ Academia skladno z njenimi pravili;
- skladno z 32. členom ZASP dovoljujem VSŠ Academia objavo diplomske naloge na spletnem portalu šole.

Maribor, Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se dr. Mariji Kisin za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem podjetju Reflex, d. o. o., ki mi je omogočilo študij.

Zahvaljujem se tudi družini in prijateljem, ki so mi stali ob strani in me spodbujali pri študiju in pisanju diplomske naloge.

POVZETEK

Podjetje Reflex, d. o. o., (v nadaljevanju Reflex) je inovativno slovensko podjetje za oplemenitenje in obdelavo ploščatega stekla. Podjetje veliko vlaga v razvoj in izobraževanje za nenehno izboljševanje izdelkov. Zahteve njihovih naročnikov so iz dneva v dan večje ter bolj zahtevne, zato so primorani vlagati veliko tudi v boljše, zmogljivejše in kakovostnejše proizvodne zmogljivosti.

V diplomski nalogi sem predstavil celovito tehnologijo izdelave in energetsko učinkovitost izolacijskega stekla na primeru podjetja Reflex.

V prvem delu diplomske naloge obravnavam razvoj stekla, vrste, lastnosti in uporabo s poudarkom na tehnološkem zaporedju proizvodnje izolacijskega stekla. Pri tem sem opozoril na nekatere napake, ki se pojavljajo pri proizvodnji izolacijskega stekla in poudaril pomen sledljivosti ter kontrole v proizvodnji.

V drugem delu diplomske naloge sem podal energetsko učinkovitost glede na enoslojno in večslojno zasteklitev ter nekatere dejavnike, ki imajo pri tem zelo pomembno vlogo.

Diplomsko nalogo zaključujem s pregledom razvojnih prizadevanj glede novih tehnologij zastekljevanja in z zakoni, pravilniki ter standardi, ki obravnavajo steklo kot konstrukcijski material.

Ključne besede: steklo, izolacijsko steklo, proizvodnja izolacijskega stekla, energetsko učinkovite zasteklitve, toplotna prehodnost zasteklitve, nove tehnologije zastekljevanja

ABSTRACT

Company Reflex, d. o. o., is an innovative Slovenian company that specializes in finishing and processing of flat glass. The company invests heavily in the development and continuing education for improvement of products. The requirements of our clients are becoming more and more demanding, so we are forced to invest a lot in better, more powerful and higher quality production capabilities.

In this thesis I presented a comprehensive manufacturing technology and energy efficiency of insulating glass in the case of company Reflex.

The first part of the paper deals with the development of glass, types, characteristics and uses with emphasis on technological sequence in production of insulating glass. In doing so, I pointed out some errors that occur in the production of insulating glass and stressed the importance of traceability and control in production .

In the second part of my thisis I presented the energy efficiency of a singlelayer and multilayer glazing and some factors that play a very important role in the process.

Thesis concludes with a review of development efforts regarding new glazing technologies and the laws, regulations and standards dealing with glass as a construction material.

Keywords: glass, insulated glass, production of insulating glass, energy efficient glazing, thermal glazing, new glazing technology

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 11

1.1 Opredelitev obravnavane zadeve 11

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve diplomskega dela 11

1.3 Predpostavke in omejitve 12

1.4 Predvidene metode raziskovanja 12

1.5 Predstavitev podjetja Reflex, d. o. o. 13

2 TEHNOLOGIJA IZDELAVE IZOLACIJSKEGA STEKLA 16

2.1 Steklo 16

2.2 Proizvodnja float stekla 19

2.3 Izolacijsko steklo 20

2.3.1 Toplotno zaščitna stekla 21

2.3.2 Sončno zaščitna stekla 22

2.3.3 Zvočno zaščitna stekla 22

2.3.4 Varnostno steklo 23

2.4 Proizvodnja izolacijskega stekla 24

2.4.1 Rezalnica 24

2.4.2 Rezanje distančnika 25

2.4.3 Potek dela na liniji za izdelavo izolacijskega stekla 26

2.4.4 Pranje stekla 27

2.4.5 Butiliranje distančnika 28

2.4.6 Prva kontrola stekla 28

2.4.7 Sestava stekla 29

2.4.8 Druga kontrola stekla 29

2.4.9 Kitanje stekla 30

2.5 Problemi, ki se pojavljajo pri izdelavi izolacijskega stekla 34
2.5.1 Lom stekla 34
2.5.2 Poševni lom 35
2.5.3 Sledljivost izolacijskega stekla v proizvodnji 36
2.5.4 Napake v float steklih 36
3 ENERGETSKA UČINKOVITOST ZASTEKLITVE 38
3.1 Žlahtni plini 39
3.2 Zasteklitveni distančnik 39
3.3 Okenski okvir 40
4 TOPLOTNA PREHODNOST GLEDE NA ENOJNO IN VEČSLOJNO ZASTEKLITEV 42
4.1 Uvod 42
4.2 Toplotna prehodnost 42
4.3 Sevalna energija (g-vrednost) 43
4.4 Ekvivalentna vrednost toplotne prehodnosti U_{eq} 43
4.5 Zasteklitev 44
4.5.1 Enojna zasteklitev 44
4.5.2 Večslojna zasteklitev 45
4.5.2.1 Troslojna zasteklitev 45
5 NOVE TEHNOLOGIJE ZASTEKLJEVANJA 46
5.1 Kromatska stekla 46
5.1.1 Fotokromna stekla 46
5.1.2 Termokromna stekla 47
5.1.3 Elektrokromna stekla 47
5.2 Vakuumska zasteklitev 47
5.3 Aerogeli 48

5.4 Razvojna prizadevanja zasteklitvenih sistemov 48
6 ZAKONI, PRAVILNIKI IN STANDARDI O STEKLU 50
6.1 Zakoni in pravilniki: 50
6.2 Standardi 50
7 ZAKLJUČEK 51
8 LITERATURA IN VIRI 52

KAZALO SLIK

Slika 1: Logotip podjetja Reflex, d. o. o. 13
Slika 2: Slogan podjetja Reflex, d. o. o. 13
Slika 3: Organizacijska shema podjetja Reflex, d. o. o. 15
Slika 4: Proizvodnja stekla po float postopku 19
Slika 5: Sestava stekla 20
Slika 6: Večplastno varnostno steklo 23
Slika 7: Avtomatska miza za rezanje stekla 25
Slika 8: Linija LISEC 26
Slika 9: Pranje stekla 27
Slika 10: Nanos butila na distančnik 28
Slika 11: Vstavljanje distančnika na steklo 29
Slika 12: Kontrola stekla pred kitanjem 30
Slika 13: Stroj za kitanje stekla 31
Slika 14: Prikaz kitanja stekla 32
Slika 15: Poravnavanje robov 32
Slika 16: Vakuumska prijemalka za steklo 33
Slika 17: Stekla, zložena na stojalu 33
Slika 18: Poševni lom 35
Slika 19: Dovoljena odstopanja v vizualni kakovosti izdelave izolacijskega stekla 37
Slika 20: Low-e nanos 38

KAZALO TABEL

Tabela 1: Mehanske lastnosti 18

Table 2: Vrednosti poševnega loma 35

Table 3: Toplotna prevodnost materialov..... 40

1 UVOD

1.1 Opredelitev obravnavane zadeve

Izolacijsko steklo je sodoben material in nepogrešljiv sestavni del fasad. Osnovne naloge izolacijskega stekla so vse bolj številne in zahtevne, zato je potrebno nenehno izpopolnjevanje izdelovalne tehnologije.

Osnovne funkcije izolacijskega stekla so npr.:

- zaščita pred zunanjimi dejavniki, kot so dež, veter, mraz,
- prosojnost ...

Sekundarne funkcije:

- toplotna zaščita,
- zvočna zaščita,
- energetska varčnost,
- požarna zaščita ...

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve diplomskega dela

Moj namen diplomske naloge je obrazložiti pomen izolacijskega stekla ter pomen kvalitetne zasteklitve v današnjem času. Ker so današnji standardi in pričakovanja vse večja, se tehnologija zastekljevanja vsak dan izboljšuje, s tem pa so tudi naši prihranki večji, saj s kvalitetno zasteklitvijo lahko prihranimo kar precej denarja.

V mojem diplomskem delu analiziram tehnološko pot stekla od same izdelave do zasteklitve in proučujem težave, ki nastopajo v samem procesu, s poudarkom na zasteklitvi okenskih sistemov.

V diplomskem delu najprej opisujem materiale, ki so uporabljeni pri izdelavi izolacijskega stekla. Nato sledim samemu postopku izdelave. Zanimajo me vrste zasteklitve okenskih sistemov ter toplotna učinkovitost pri različnih metodah.

Cilji diplomske naloge:

- predstavitev podjetja,
- predstavitev tehnologije izdelave izolacijskega stekla,
- izpostaviti probleme, ki se pojavljajo med samo izdelavo izolacijskega stekla,
- predstaviti energetsko učinkovito zasteklitev,
- preučiti toplotno učinkovitost steklenega dela okenskih sistemov.

1.3 Predpostavke in omejitve

Predpostavke:

Predpostavke so predvsem razpoložljivost tuje in domače strokovne literature, razpoložljivost in točnost podatkov v podjetju.

Omejitve:

V diplomskem delu se bom omejil na izdelavo ter vrste izolacijskega stekla. Na omejitve sem naletel tudi pri omejenosti razpoložljive literature in spletnega vira podjetja.

1.4 Predvidene metode raziskovanja

V diplomski nalogi bom uporabljal naslednje metode raziskovanja:

- metodo opisovanja,
- pridobivanje spoznanj in stališč iz strokovne literature različnih avtorjev,
- metoda zbiranja podatkov z uporabo spletnega vira podjetja,
- metoda spraševanja.

1.5 Predstavitev podjetja Reflex, d. o. o.

Reflex, d. o. o., je inovativno slovensko podjetje za oplemenitenje in predelavo ploščatega stekla, ki že skoraj tri desetletja razvija in izpopolnjuje ponudbo svojih izdelkov in storitev. Z razvnovrstno ponudbo izolacijskega stekla, varnostnega stekla, fasadne konstrukcije, tuš kabin, notranjih suhomontažnih vrat, hladilniških vrat … lahko uresničijo skoraj vsako zamisel, ki obogati bivanjske in delovne prostore.



Slika 1: Logotip podjetja Reflex, d. o. o.

Vir: Interni vir podjetja

V podjetju je nekaj več kot 300 zaposlenih. Po svoji dejavnosti se uvršča med gradbena podjetja. Sedež podjetja se nahaja v Gornji Radgoni, poslovne enote pa so še v Poljčanah, Murski Soboti in na Meleh. Podjetje ima tudi hčerinsko podjetje, in sicer Reflex Zagreb na Hrvaškem. Reflex posluje tudi izven države Slovenije, in sicer s sosednjo Avstrijo, Madžarsko, Italijo, Nemčijo ter drugimi državami.



Slika 2: Slogan podjetja Reflex, d. o. o.

Vir: Interni vir podjetja

Pri uresničevanju novih izzivov, ki jih prinaša uporaba stekla v arhitekturi in gradbeništvu, so dosledno zavezani odličnosti. Razvojna naravnanost temelji na inovativnosti, izkušenosti ter odgovornem ravnanju z energijo in okoljem. Naročniki njihovih izdelkov in storitev so deležni vrhunske kakovosti, odgovornosti ter odličnega sodelovanja. Ključna usmeritev vseh

zaposlenih v podjetju je usvajanje novih znanj, zato z vključevanjem zunanjih strokovnjakov in usposabljanjem zaposlenih zagotavljajo visoko kvaliteto in pripravljenost pri izvajanju najzahtevnejših projektov.

Sestava podjetja REFLEX (http://www.reflex.si/?id=3&lang=sl, dne 1. 5. 2011)

Proizvodni program PE Mele in Podgrad zajema:

- toplotno-zaščitno steklo,
- sončno-zaščitno steklo,
- zvočno-zaščitno steklo,
- požarno-odporno steklo,
- varnostno steklo,
- kaljeno steklo različnih debelin in vrst,
- emaijlirana kaljena ter kaljena s sitotiskom,
- lepljena stekla, izdelana po VSG tehnologiji.

Proizvodni program PE Poljčane:

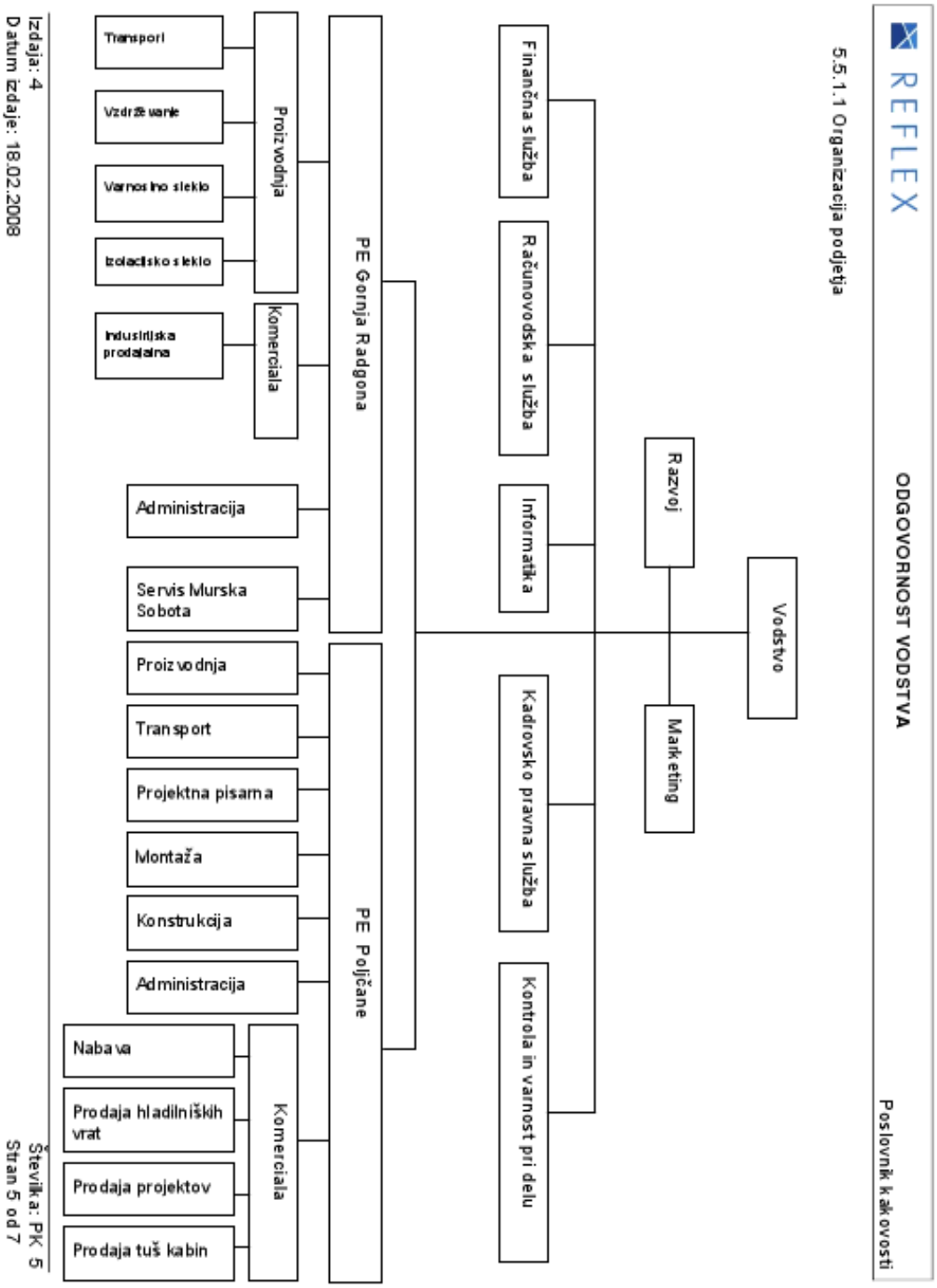
- alu steklene konstrukcije,
- tuš kabine,
- hladilniška vrata,
- alu okna, vrata,
- zimski vrtovi.

Proizvodna enota PE Murska Sobota in Maribor:

- servis in montaža,
- industrijska prodaja,
- uokvirjanje slik.

PE Reflex Zagreb:

- prodaja in zastopstvo.



Slika 3: Organizacijska shema podjetja Reflex, d. o. o.

Vir: Interni vir podjetja

2 TEHNOLOGIJA IZDELAVE IZOLACIJSKEGA STEKLA

2.1 Steklo

Najstarejši najdeni predmeti iz steklu podobnega materiala izvirajo iz mlajše kamene dobe, torej so stari približno 9.000 let. Vse tja do 18. stoletja so ploščato steklo izdelovali izključno s tehniko ustnega napihovanja. Stekleno maso so s pihanjem skozi steklarsko pipo najprej raztegnili v cilinder, ki so mu odrezali obe kapi, potem pa so ga vzdolžno prerezali in na leseni mizi razvaljali ter zgladili v ploščo.

Po dolgotrajnih poskusih so na začetku 20. stoletja razvili postopek kontinuiranega vlečenja steklenega traku iz kadi s stekleno talino. To je bil prvi postopek strojne izdelave stekla, ki ga je razvil Belgijec Emile Fourcault.

Od 60. let 20. stoletja pa izdelujemo ploščato steklo po »plavajočem« postopku. Tako pridobljeno steklo, ki ga imenujemo zrcalno ali float steklo, ima odlične optične lastnosti. To tehnologijo plavajočega stekla je razvilo angleško podjetje Pilkington Brothers, ki je leta 1958 začela z redno avomatozirano proizvodnjo stekla po float postopku. Ta postopek je omogočal proizvodnjo velikih količin ploščatega stekla v zelo velikih formatih, z zelo kakovostnimi površinami in po relativno nizki ceni (Hajdinjak, 2009, 23).

Steklo je produkt taljenega silicijevega dioksida z drugimi oksidnimi primesmi. Steklo je sicer trdna snov, vendar bi ga zaradi njegove strukture morali uvrščati med tekočine. Torej je steklo podhlajena tekočina ali talina. V ožjem pomenu razumemo pod steklo samo strjeno talino nekaterih silikatov. Pri teh trdnih telesih ni moč govoriti o nobeni določeni kristalni strukturi, saj jih sestavljajo silikatni ioni zgrajeni iz SiO4, ki se držijo skupaj s kovinskimi ioni in so popolnoma neenakomerno razporejeni. Glavna sestavina stekla je kremen, tj. silicijev dioksid (SiO2). Kremen se nahaja v pesku, ki pa deluje kot osnova stekla, ki ustvari stekleno mrežo s pomočjo barvnih oksidov. Ker pa ti steklo obarvajo (npr. železov oksid), sme pesek vsebovati le 0,01–0,03 % železovega oksida. Kremen je glavna sestavina skoraj vseh stekel in od njega so odvisne tudi osnovne lasnosti in struktura stekla.

Ker ima kremen zelo visoko tališče, to je 1700 °C, in je zato proizvodnja draga, se pesku primešajo še nekatere druge snovi, večinoma soda (Na2CO3), saj le-ta zniža visoko tališče kremenu. Da bi steklu povečali trdnost in kemijsko odpornost proti številnim kemijskim snovem, pesku in sodi dodajo še zmleti apnenec (CaCO3) (http://www.kemija.org/index.php/kemija-mainmenu-38/24-kemijacat/58-kaj-je-steklo-in-kako-ga-pridobivamo, 1. 5. 2011).

Steklo je mogoče obdelovati s pihanjem, valjanjem, vlečenjem in ulivanjem. Pri njegovi izdelavi zelo vplivamo na to, kakšne lastnosti bo imelo steklo. Glavne lastnosti stekla so (Hajdinjak, 2009, 27):

- steklo ne gori, niti ni vnetljivo;
- ima homogene in gladke površine;
- zlahka ga čistimi in je zelo higienično;
- je zelo odporno na kemijske vplive;
- ob majhnih obremenitvah reagira elastično, pri velikih pa je drobljiv;
- slabo prevaja toploto;
- ne absorbira in ne oddaja vlage;
- ko pridobi določeno obliko, je ne spremeni;
- ni občutljivo na mraz in temperaturne spremembe;
- ne spreminja barve in ne postane motno;
- ne navzame se vonja niti ga ne oddaja.

Lastnosti	**Simbol**	**Vrednosti in enota**
Gostota	ρ	2 500 kg/m^3
Trdota		6. stopnja po Mohsu
Elastični modul	E	7x10^{10} Pa
Poisonovo število	μ	0,23
Koeficient toplotnega prehoda	U	5,8 W/m^2K
Specifična toplotna konstanta	c	0,72 x 10^3 J/(kgK)
Linearni toplotni razteznostni koeficient (med 20 in 300 °C)	α	9 x 10 K^{-1}
Toplotna prevodnost	λ	1W/(mK)
Srednji lomni količnik za vidno svetlobo (380 do 780 nm)	c	1,5

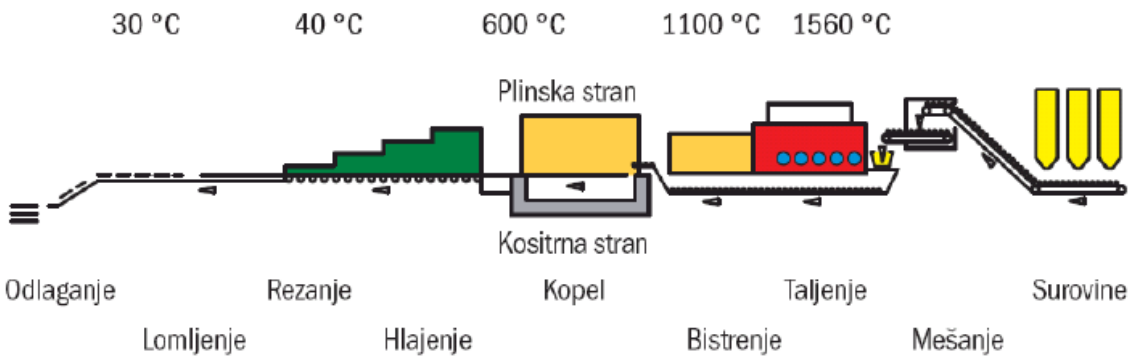
Tabela 1: Mehanske lastnosti

Vir: Hajdinjak, 2009, 26

Steklo je material, ki ima veliko prednosti pred drugimi snovmi, saj ga lahko v celoti predelamo, pridobiva se na okolju prijazen način, okolju ne škoduje, ima izjemne kemijske odpornosti in raznolike optične lastnosti.

2.2 Proizvodnja float stekla

Plosko steklo oz. »float« steklo se danes proizvaja po kontinuiranem postopku za pridobivanje stekla, ki so ga razvili leta 1959 v tovarni Pilkington v Veliki Britaniji. Potrebne surovine se zmešajo v natančno določenih razmerjih ter se vsipajo v peč. V prvem delu talilne peči, kjer znaša temperatura 1560 °C, se surovine stalijo. V drugem delu, kjer je 1100 °C, se talina bistri. V naslednjem, najpomembnejšem delu izdelave se talina izteka v lebdečo kopel s tekočim kositrom. Talina se razlije po tekočem kositru ter tako dobi obliko enakomerno debele plošče. Hkrati se s plamenskim poliranjem toplotno obdela tudi zgornja stran steklenega traku. V zadnji fazi stekleni trak zapusti kad s tekočim kositrom in nadaljuje pot v hladilne kanale. Hitrost ohlajanja je potrebno skrbno nadzorovati, če hočemo dobiti ven steklo brez notranjih napetosti. Na koncu linije, ko je temperatura steklenega traku enaka temperaturi okolice, se avtomatsko razreže na standardne pravokotnike, ki merijo 600 x 321 cm, ter se zložijo na posebna stojala (Hajdinjak, 2009, 25).



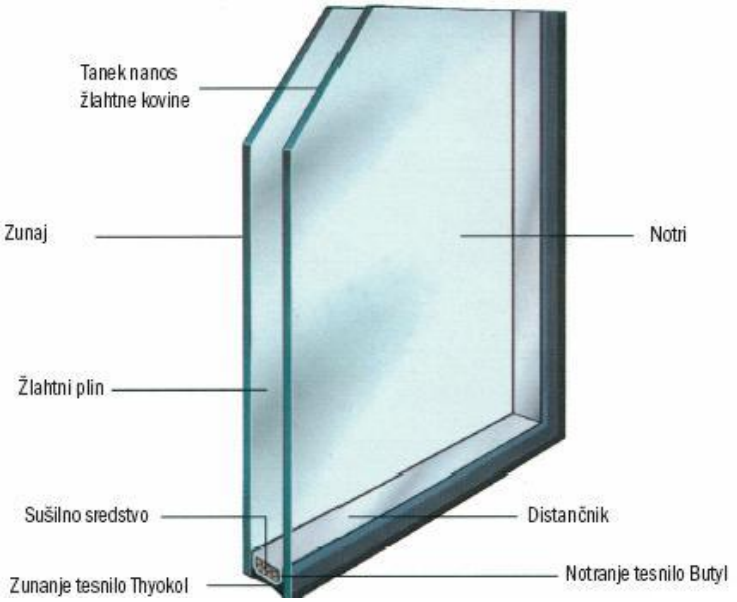
Slika 4: Proizvodnja stekla po float postopku

Vir: Hajdinjak, 2009, 25

2.3 Izolacijsko steklo

Glavne naloge izolacijskega stekla:

- osvetlitev notranjih prostorov z dnevno svetlobo,
- zagotavljanje pravilnega prezračevanja,
- zaščita pred mrazom, vročino, hrupom.



Slika 5: Sestava stekla

Vir: Interni vir podjetja

Izolacijska stekla se najpogosteje uporabljajo za zasteklitev oken in vrat, zimske vrtove in steklene fasade. Sestavljena so iz dveh zrcalnih stekel, med katerima je vstavljen s sušilnim sredstvom napolnjen distančnik. Medstekelni prostor je hermetično zaprt, v njem pa je plin (argon ali kripton) ali zrak. Hermetično zaprt prostor se doseže s sistemom dvojnega robnega tesnjenja. Primarno tesnilo, ki je naneseno na robove distančnika, se imenuje butyl.

Sekundarno tesnilo, ki pa se nanese na hrbet distančnika in med steklena roba, se imenuje kit Polysulfid. Fuga mora biti povsem zapolnjena vsaj 3 mm in poravnana z robovi obeh stekel. Obe tesnili imata nalogi, da preprečujeta vstop vodni pari in uhajanje plina. Sekundarno

tesnilo ima še nalogo, da kemijsko poveže oba steklena robova in tako ustvari trajen fizični spoj obeh stekel. Tako izdelano izolacijsko steklo ima življenjsko doba vsaj 25 let (http://www.reflex.si/?id=2&lang=sl, dne 1. 5. 2011).

Izolacijska stekla delimo v štiri skupine:

- toplotno zaščitna stekla,
- sončno zaščitna stekla,
- zvočno zaščitna stekla,
- varnostna stekla.

2.3.1 Toplotno zaščitna stekla

Toplotno zaščitna stekla, ki ustrezajo zahtevam po racionalni rabi energije in varovanju okolja, imajo naslednje lastnosti (Hajdinjak, 2009, 90):

- prepustnost svetlobe (LT) več kot 70 %,
- prepustnost energije (g) več kot 50 %,
- indeks R_a (pogled skozi okno več kot 97 %),
- U-vrednost 1,1 do 1,4 W/m^2K.

Z uporabo dvojno ali trojno zastekljenih oken, napolnjenih s plini, in stekel z nizko toplotno emisivnostjo (low-e) najenostavneje zmanjšamo toplotne izgube. Trojna zastekljena okna z dvojnim nanosom imajo lahko toplotno prehodnost le še 0,4 do 0,6 W/m^2K, vendar prepuščajo samo 50 % sončnega sevanja, medtem ko dvojna zasteklitev brez nanosa prepušča približno 80, enojna pa 87 % sončnega sevanja.

Danes je najbolj razširjeno toplotno zaščitno steklo s toplotno prehodnostjo 1,1 W/m^2K. t

Toplotna prehodnost je najbolj odvisna od širine medstekelnega prostora in vrste plina, s katerim je napolnjeno. Če zrak v medstekelnem prostoru zamenjamo z žlahtnim plinom (npr.: argonom), dosežemo znižanje toplotne prehodnosti z 1,4 na 1,1 W/m^2K. Poleg argona se še

uporabljajo plini, kot so kripton, ksenon in fluorid, ki pa so precej dražji in na voljo v manjših količinah kot argon. Debelina stekla zelo malo vpliva na toplotno prehodnost. Če znaša skupna debelina stekla 25 mm, se toplotna prehodnost poveča le za 0,1 W/m^2K (Šijanec, 1999, 8). Tako morajo okna omogočati veliko prepustnost za sončno sevanje, zagotavljati čim nižjo toplotno prehodnost ter pravilno osvetljevati prostor.

2.3.2 Sončno zaščitna stekla

Sončno zaščitna stekla nudijo nadzor nad neželenimi vplivi sončne energije in sončne svetlobe, ki prodirata skozi steklene površine. Če želimo dobiti sončno zaščitno steklo, moramo enemu na obeh stekel v izolacijskem steklu nanesti taki nanos kovinskih oksidov (hc-hard coating, pirolitičen nanos). S tem nanosom se poveča odbojnost energije (http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT155.htm, dne 1. 5. 2011).

Lastnosti sončno zaščitnega stekla:

- prepustnost vidnega sončnega sevanja (LT > 40 %),
- nizka toplotna prehodnost,
- majhna prepustnost sončne energije.

Sončno zaščitna stekla se največkrat uporabljajo za zasteklitev poslovnih objektov, saj zaradi majhne prepustnosti sončne energije in majhne prepustnosti vidne svetlobe niso primerne za stanovanjske zgradbe.

2.3.3 Zvočno zaščitna stekla

Hrup iz okolja sodi med velike probleme sodobnega načina življenja. Z ustreznimi protihrupnimi zaščitami, med katere uvrščamo tudi sodobna stekla z zvočno izolacijsko zasteklitvijo, lahko zelo omejimo zvoke iz okolja.

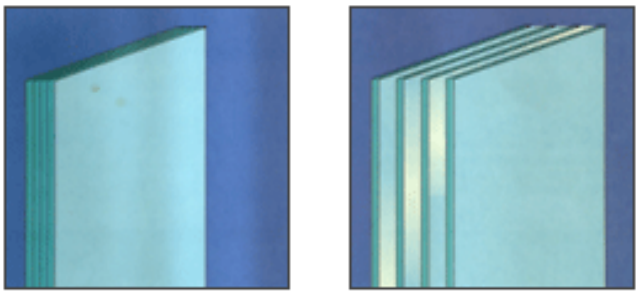
Sodobno zvočno izolirano steklo mora imeti dobre zvočne lastnosti (R_w=56 dB) in tudi dobro toplotno zaščito. Vrednost zvočne izolativnosti in toplotne zaščite določata predvsem širina medstekelnega prostora in vrste plina v njem. Čim širši je medstekelni prostor, tem boljša je zvočna izolativnost.

Dejavniki, od katerih je odvisna zvočna izolirnost (Hajdinjak, 2009, 108):

- masa stekla,
- elastičnost stekla,
- sestava stekla,
- širina medstekelnega prostora,
- polnjenje s plinom.

2.3.4 Varnostno steklo

Varnostna stekla delimo v dve skupini. Ena skrbijo za aktivno varnost (pred požarom, vandalizmom, pohodna stekla), druga pa za pasivno varnost (zasteklitev tistih delov stavb, pri katerih bi zaradi nastalih delcev pri lomu stekla lahko prišlo do poškodb ljudi). Uporabljajo se pri zasteklitvah različnih ograj, stenske zasteklitve, telovadnic …



Slika 6: Večplastno varnostno steklo

Vir: Interni vir podjetja

Varnostno steklo je sestavljeno iz dveh ali več slojev stekla, z vmesno folijo iz elastične umetne mase. Skupna debelina se giblje tam med 6 in 36 mm.

2.4 Proizvodnja izolacijskega stekla

Sektor komerciale na osnovi naročila kupca obdela nalog in ga z vsemi potrebnimi podatki vnese v računalnik. Delovni nalog dobi avtomatsko zaporedno številko in ga nato prevzame »priprava dela«. »Priprava dela« izdela listo za rezalnico, proizvodno listo in izpis nalepk. Tako izdelane dokumente »priprava dela« preda vodjem oddelkov in vodjem skupin.

Delovni nalog vsebuje naslednje podatke:

- ime ter naslov stranke – kupca,
- številko delovnega naloga,
- številko oz. oznako kupčevega naročila,
- datum dobave,
- kraj dobave,
- oznako materiala z vsemi zahtevami naročnika,
- zaporedno številko,
- število kosov,
- kvadraturo (m^2),
- opozorilo, kako ravnati z materialom in kakšne karakteristike ima.

2.4.1 Rezalnica

Začetek proizvodnega procesa se prične v oddelku, imenovanem rezalnica. Tukaj v rezalno mizo, ki je avtomatsko vodena, vnesemo dimenzije in količino, rezalna miza pa nato avtomatsko razreže ploščo na želene dimenzije. Po potrebi se nato rezano steklo posreduje v brusilnico ali kalilnico, če tako zahteva delovni nalog. Drugače pa se pošlje rezano steklo naravnost na linijo za izolacijsko steklo.



Slika 7: Avtomatska miza za rezanje stekla

Vir: http://www.lisec.com, dne 1.5.2011

2.4.2 Rezanje distančnika

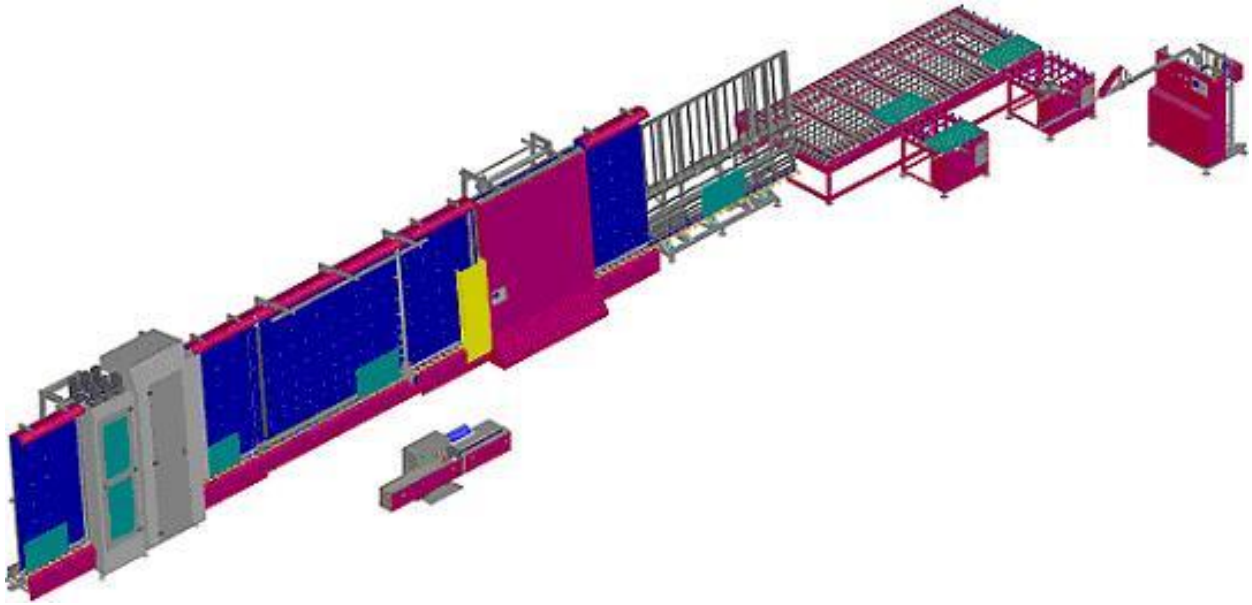
Rezanje in upogibanje distančnika poteka istočasno kot rezanje stekla. Distančnik se nareže na zahtevane dimenzije in upogne kot zahteva delovni nalog. Na njega se tudi nanesejo naslednje informacije:

- šifra – sledljivost,
- tip izolacijskega stekla,
- Ug – vrednost,
- datum proizvodnje.

Distančni profili so lahko iz aluminija, plastike ali jekla. Notranjost votlega distančnika se napolni s sušilnim sredstvom (molekularno sito v granulatu). Velikost granulata je 0,5 do 1,4 mm. Naloga molekularnega sita je, da veže vlago, ki smo jo v medprostor zaprli med proizvodnjo izolacijskega stekla, ter vlago, ki med življenjsko dobo prodre skozi tesnila. Polni se vsaj ena dolga in ena kratka stranica. Distančni okvir zagotavlja trajni razmik med stekli, mora biti obstojen na staranje, vpliv temperature in UV žarkov ter mora imeti ustrezen izgled, saj je viden skozi vso življenjsko dobo. Tako pripravljen distančnik se pošlje na linijo za izdelavo izolacijskega stekla.

2.4.3 Potek dela na liniji za izdelavo izolacijskega stekla

Proces poteka na liniji za izdelavo izolacijskega stekla znamke LISEC. Proizvodnja se mora ravnati po določilih, ki so sestavni del opisa sistema, ki ga redno preverja naša notranja kontrola, dvakrat letno pa tudi Inštitut za okensko tehniko Rosenheim.



Slika 8: Linija LISEC

Vir: http://www.lisec.com, dne 1.5.2011

2.4.4 Pranje stekla

Pranje stekla je prvi postopek izdelave izolacijskega stekla na liniji za izdelavo izolacijskega stekla. V tem postopku operemo steklo v stroju za čiščenje stekla.

Od vodje skupine dobimo proizvodno listo, na kateri je napisano, kakšno steklo in v kakšnem vrstnem redu ga bomo dajali na stroj za čiščenje stekla. Steklo naložimo na tekoči trak, kjer jih tekom delovanja stroja istočasno operemo z obeh strani, na koncu strojne linije pa je tudi sušilni tunel, ki steklo osuši. Ko je steklo čisto in suho, se opravi prva kontrola stekla.



Slika 9: Pranje stekla

Vir: Lasten vir

2.4.5 Butiliranje distančnika

Ta postopek poteka istočasno kot prvi. Na obe bočni strani distančnika nanesemo primarno tesnilo Butyl in ga nato odložimo na posebno stojalo. Notranje tesnilo Butyl je sestavljen iz termoplastičnega kavčuka Polyisobutylen. Širina nanosa na distančnik mora biti minimalno 3 mm ter poraba na eno stran minimalno 2,5 g/tm. Glavna zahteva Butyla je takojšnja oprijemljivost na steklo in distančnik ter enostavno nanašanje. Njegove funkcije v izolacijskem steklu pa so preprečevati uhajanje plina iz medstekelnega prostora ter vdor vodne pare v medstekelni prostor.



Slika 10: Nanos butila na distančnik

Vir: Lasten vir

2.4.6 Prva kontrola stekla

Kontrola stekla je drugi postopek, kjer preverjamo in kontroliramo ustreznost ter kakovost stekla. Steklo ne sme biti umazano, popraskano, okrušeno ali kakor koli drugače poškodovano. V primeru ugotovitve nepravilnosti se steklo izloči. Če steklo ustreza standardom, gre naprej po tekočem traku do postopka »sestava stekla«.

2.4.7 Sestava stekla

Tretji postopek izdelave izolacijskega stekla se imenuje »sestava stekla«. Za sestavo standardnega izolacijskega stekla potrebujemo:

- dve enako veliki plošči stekla,
- distančnik z že nanesenim kitom butyl.

Med dve plošči stekla vstavimo distančnik z že nanesenim kitom butyl. Plošči potujeta po tekočem traku v stiskalnico, kjer se sestavita, napolnita z ustreznim plinom in stisneta. Sledi druga kontrola stekla.



Slika 11: Vstavljanje distančnika na steklo

Vir: Lasten vir

2.4.8 Druga kontrola stekla

Vsako steklo, ki pride iz stiskalnice, se preveri, ali ustreza vsem standardom in vsem zahtevam, ki so navedene na delovnem nalogu. Vsako neustrezno steklo izločimo iz procesa in naredimo zapisnik ter vrnemo delovni nalog na začetek proizvodnega procesa. Vsako steklo, ki ustreza vsem zahtevam, pošljemo naprej po tekočem traku na stroj za kitanje izolacijskega stekla.

Za ocenjevanje stekla moramo upoštevati vizualne kvalitete ter lastnosti, ki so potrebne za izpolnjevanje njegove funkcionalnosti. Za ocenjevanje veljajo naslednji dokumenti:

- SIST EN 1279,
- Smernica za ocenjevanje vizualne kakovosti stekla za gradbeništvo,
- Navodila za zastekljevanje.

Steklo se opazuje iz razdalje najmanj 1 metra, pri difuzni svetlobi (kot pri oblačnem vremenu) brez direktne sončne ali umetne svetlobe, in to pod kotom, ki bi bil običajen pri uporabi tega prostora. Kontrolor gleda pravokotno na površino stekla.



Slika 12: Kontrola stekla pred kitanjem

Vir: Lasten vir

2.4.9 Kitanje stekla

Zadnji postopek na liniji za izolacijsko steklo se imenuje kitanje stekla oz. nanašanje zunanjega (sekundarnega) tesnila Polysulfid. Stroj nanese na hrbet distančnika in med obe stekli sekundarno tesnilo (tesnilo Polysulfid). Za stekla, polnjena s plinoma, mora biti prekrivanje distančnika minimalno 3 mm. Njegove zahteve za proizvodnjo so enostavno

nanašanje in oprijemljivost na steklo ter distančnik. Glavne funkcije Polysulfida v izolacijskem steklu pa so:

- zapora za vodno paro in pline,
- zagotavlja trajno mehansko vez med stekli,
- ščiti notranje tesnilo pred prevelikimi deformacijami in pred makro vlago,
- skozi vso življenjsko dobo mora dobro prenašati obremenitve, ki nastajajo zaradi vetra in klimatskih sprememb.

Na koncu proizvodnje linije, ko se nanese Polysulfid, še poravnamo površino tesnila in odložimo na transportna stojala.



Slika 13: Stroj za kitanje stekla

Vir: Lasten vir



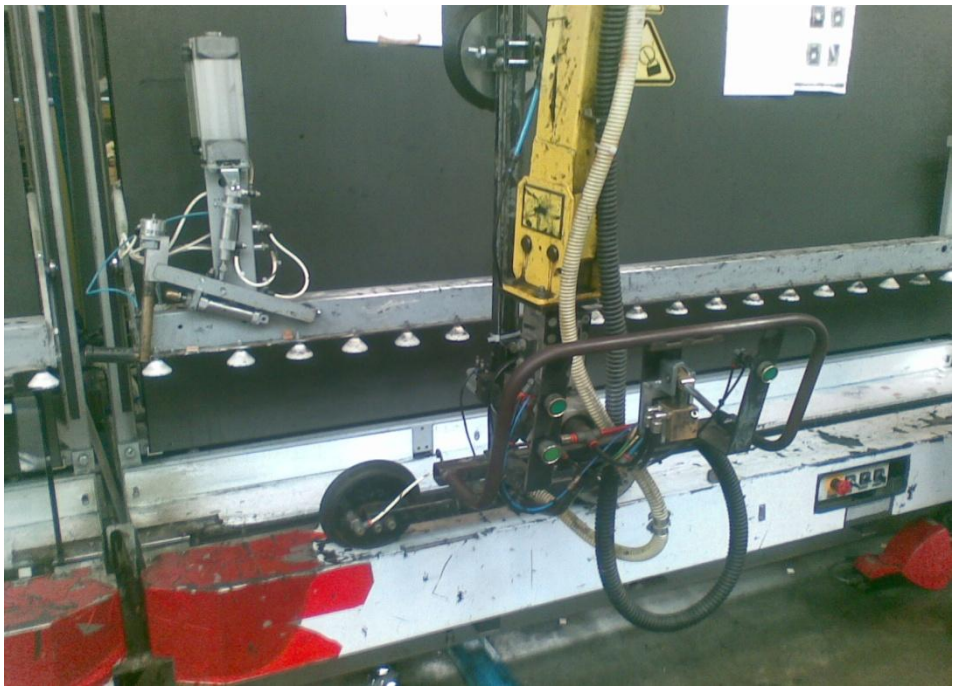
Slika 14: Prikaz kitanja stekla

Vir: Lasten vir



Slika 15: Poravnavanje robov

Vir: Lasten vir



Slika 16: Vakuumska prijemalka za steklo

Vir: Lasten vir



Slika 17: Stekla, zložena na stojalu

Vir: Lasten vir

Vsako izolacijsko steklo ima svojo nalepko, ki je nalepljena na prednjem steklu (kot je prikazano na sliki 17). Iz te nalepke odčitamo:

- ime stranke,
- dimenzijo stekla,
- številko delovnega naloga,
- pozicijo.

Vsaka nalepka ima svojo črtno kodo, tako da je vsako izolacijsko steklo odčitano in tako posredovano v bazo podatkov.

2.5 Problemi, ki se pojavljajo pri izdelavi izolacijskega stekla

2.5.1 Lom stekla

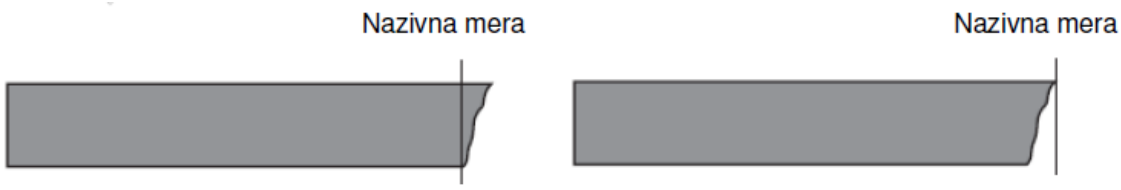
Steklo je anorganski produkt taljenja, ki se pri ohlajevanju pod točko transformacije spremeni v trdno snov, ne da bi pri tem nastala kristalna mreža. Ker je steklo amorfna snov, torej je brez kristalne strukture, ima izredno trdoto, a je hkrati zelo krhek material.

Lomi pri samem procesu izdelave izolacijskega stekla se lahko zgodijo:

- pri lomljenju stekla v rezalnici,
- pri sami izdelavi izolacijskega stekla na liniji za izdelavo,
- zaradi notranjih napetosti v steklu,
- zaradi nepravilnega ravnanja s steklom,
- pri nepravilnem skladiščenju in transportu stekla.

2.5.2 Poševni lom

Pri rezanem steklu se na robu steklene plošče pojavi poševni lom. Ta je odvisen od debeline stekla ter kakovosti osnovnega stekla.



Slika 18: Poševni lom

Vir: Interni vir podjejta

Debelina stekla (mm)	Maksimalna vrednost (mm)
4,5,6	± 1
8, 10	± 2
12	± 3
15	+ 5 / - 3
19	+ 6 / - 3

Table 2: Vrednosti poševnega loma

Vir: Interni vir podjetja

Dimenzije stekla se lahko pri rezanem steklu spremenijo za dvojno vrednost poševnega loma.

Pri sestavi izolacijskega stekla, katerega stekla imajo poševni lom, pride do zamika med posameznimi stekli. Izolacijsko steklo pa je zmeraj poravnano na dveh robovih zaradi samega načina izdelave. V preteklosti je bilo veliko lomov vgrajenega izolacijskega stekla, ker zaradi poševnega loma in posledično zamikov steklo pri zasteklitvi ni preneslo obremenitev, saj je izolacijsko steklo slonelo na samo enem steklu, namesto na dveh oz. treh. Zato smo na nalepke uvedli napis »poravnani rob«, tako da tisti, ki vgrajuje izolacijsko steklo, natanko ve, kako mora zastekliti oz. kako mora obrniti steklo.

2.5.3 Sledljivost izolacijskega stekla v proizvodnji

Zaradi velike količine izdelkov se je v proizvodnji pojavil problem sledljivosti izdelkov in polizdelkov. Zato smo v podjetju uvedli čitalce črtnih kod. Čitalci se nahajajo na koncu izolacijske linije, saj ko je izdelek končan, se iz njega odčita koda, podatki se tako avtomatsko prenesejo v sistem podatkov o končanih izdelkih.

V črtni kodi so vneseni vsi podatki, ki so navedeni na delovnem nalogu. Tako se na čitalcu črtne kode, potem ko prebere določeno črtno kodo, vidi:

- številka delovnega naloga,
- zaporedna pozicija in skupno število vseh pozicij na delovnem nalogu,
- naročnik,
- vrsta stekla in dimenzija,
- sestava stekla .

Pri vsakem odčitavanju črtne kode se bo zabeležil tudi datum in ura, kdaj je bilo odčitavanje izvedeno, tako da dobimo natančne podatke o prostorskem in časovnem dogajanju v proizvodnem procesu.

2.5.4 Napake v float steklih

Že pri sami izdelavi float stekel se pojavljajo v steklih številne napake, mehurčki, madeži in praske. Tista stekla, ki ne ustrezajo oz. so izven meja dovoljenih napak, se morajo odstraniti na liniji za izolacijsko steklo in se nadomestiti z novimi stekli. Zato smo na liniji uvedli kontrolno mesto, na katerem kontrolor v skladu s smernicami kontrolira steklo. Ta dovoljena odstopanja v vizualni kakovosti stekla za gradbeništvo se ocenjujejo skladno s Smernicami za ocenjevanje vizualne kakovosti stekla v gradbeništvu.

Tabela je izdelana za stekla Float, kaljena in delno kaljena, lepljena in varnostna lepljena stekla; z ali brez nanosov	
Cone	Dovoljena napake v enem kosu stekla
F	Poškodbe ali školjkasti lom na zunanjih stekleni robovih, ki pa ne smejo vplivati na trdnost stekla
	Školjkasti lom na notranjih steklenih robovih, ki pa je izpolnjen s tesnilno maso
	Število točkastih in ploskovnih napak in risov je neomejeno
R	**Vključki, mehurčki, pike, madeži ipd.** Velikost stekla ≤ 1 m² max. 4 kosi z Ø ≤ 3 mm Velikost stekla > 1 m² max. 1 kos z Ø ≤ 3 mm na 1 tekoči meter steklenega roba
	Točkasti ostanki v medstekelnem prostoru Velikost stekla ≤ 1 m² max. 4 kosi z Ø ≤ 3 mm Velikost stekla > 1 m² max 1 kos z Ø ≤ 3 mm na 1 tekoči meter steklenega roba
	Madeži večjih površin v medstekelnem prostoru Bledo sivi ali transparentni: max. 1 kos ≤ 3 cm²
	Praske – dolžina posamezne: max. 30 mm; seštevek vseh skupaj: max. 90 mm
	Lasne praske - večja grupiranja niso dovoljena
H	**Vključki, mehurčki, pike, madeži ipd.** Velikost stekla ≤ 1 m² max. 2 kosa z Ø ≤ 2 mm 1 m² < velikost stekla ≤ 2 m² max. 3 kosi z Ø ≤ 2 mm Velikost stekla > 2 m² max. 5 kosov z Ø ≤ 2 mm
	Praske – posamezna: max. 15 mm; seštevek vseh skupaj: max. 45 mm
	Lasne praske - večja grupiranja niso dovoljena
R + H	Maksimalno število dovoljenih napak je enako kot v coni R Vključki, mehurčki, pike, madeži ipd., v velikosti od 0,5 do < 1 mm so, razen pri grupiranju, dovoljeni brez omejitev. Kot grupiranje napak ocenimo, če se v polju s premerom ≤ 20 cm najde več kot štiri izmed takšnih napak.

Navodila:

Reklamirane napake, ki so ≤ 0,5 mm, ni treba upoštevati. Polja napak (svetlobni kolobarji) ne smejo biti večji od 3 mm.

Lepljeno in varnostno lepljeno steklo:

1. Za vsako dodatno steklo v sendviču se v coni R in H število dovoljenih napak poveča za 50%.
2. GH-lepljena stekla lahko imajo proizvodnjo pogojeno valovitost

Kaljeno in delno kaljeno steklo kot tudi lepljena in varnostna lepljena stekla iz kaljenega ali delno kaljenega stekla:

1. Lokalna valovitost na stekleni površini (razen pri ornamentnem steklu), merjena na razdalji 300 mm, ne sme biti večja od 0,3 mm.
2. Pri steklih z debelino ≥ 6 mm (razen pri ornamentnem steklu), lahko vzdolž steklenega roba izmerjena ukrivljenost znaša 3 mm na 1000 mm dolžine. Ostale, npr. manjše dovoljene valovitosti morajo biti dogovorjene. Pri steklih kvadratne ali skoraj kvadratne oblike (do 1:1,5) in pri steklih z debelino < 6 mm, lahko nastopijo tudi večja odstopanja v planimetriji.

Neobvezna kopija

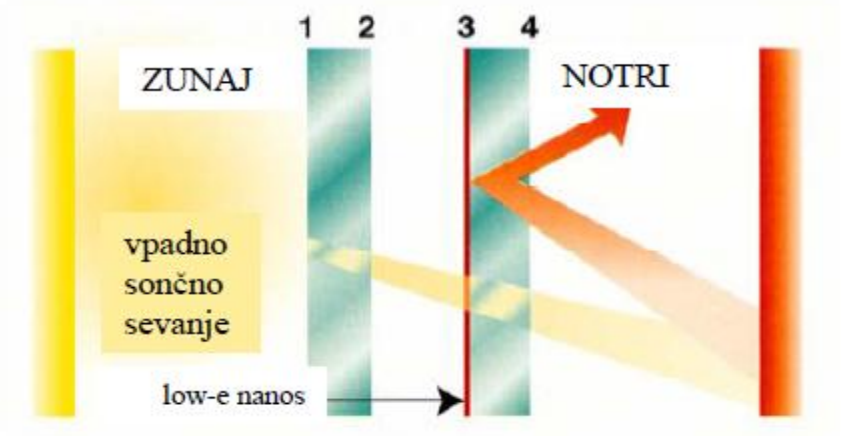
Slika 19: Dovoljena odstopanja v vizualni kakovosti izdelave izolacijskega stekla

Vir: Interni vir podjetja

3 ENERGETSKA UČINKOVITOST ZASTEKLITVE

V minulem desetletju prejšnjega stoletja je tehnologija na področju zastekljevanja in s tem povezane energetske učinkovitosti močno napredovala. Tehnološki razvoj je šel v smeri zmanjševanja sevalnih toplotnih izgub z uporabo nizko emisijskih nanosov. Nizko emisijski nanos omogoča neoviran prehod kratkovalovnega sončnega sevanja v prostor, navzven pa ne prepušča dolgovalovnega toplotnega sevanja predmetov, segretih na sobno temperaturo. Kratkovalovno sončno sevanje je najbolj zaželjeno v zimskem času. V toplem obdobju pa ta nanos delno odbija toploto iz zunanjega okolja in tako nekoliko preprečuje pregrevanje prostorov.

Nizkoemisijski nanos je izjemno tanek nanos kovinskih oksidov ali polprevodniških filmov, ki zmanjšajo emisivnost površine. Tak nanos deluje kot toplotna past in deluje na učinku tople grede. Nanos se nahaja na notranji strani stekla, v medstekelnem prostoru, saj je zelo občutljiv na mehanske dražljaje. Najboljši rezultat pa se doseže z nanosom plasti iz srebra, in sicer debeline 1/100000 (10nm). Kovine lahko s sevanjem oddajo le 2 do 10 % prejete energije in ker imajo majhno emisijsko sposobnost, jih kombiniramo s steklom, ki pa ima enkratno transparentnost. Na ta način steklo ohrani visoko prepustnost na svetlobo in energijo sončnega sevanja, hkrati pa močno zmanjšamo toplotne izgube zaradi njegove nizke energijske sposobnosti. Poudarjamo pa, da toplota skozi zasteklitev ne prehaja le s sevanjem, ampak tudi s kondukcijo in konvekcijo.



Slika 20: Low-e nanos

Vir: Interni vir podjetja

3.1 Žlahtni plini

Žlahtni plini, ki se najpogosteje uporabljajo, so argon, ksenon in kripton. V medstekelnem prostoru se zaradi uporabe teh plinov upočasni prenos toplote, s tem pa zmanjšamo toplotne izgube. Uporaba žlahtnega plina je smiselna v kombinaciji z uporabo nizkoemisijskega nanosa, saj le tako zmanjšamo konvekcijske in kondukcijske toplotne izgube.

V sodobnih zasteklitvenih sistemih je vsebnost žlahtnega plina preko 90 %. Najpogosteje se uporablja plin argon, saj je ekonomsko in učinkovno najugodnejša rešitev. Na drugi strani pa se veliko uporablja tudi plin kripton, ki pa je precej drag in na voljo v precej manjših količinah kot argon. Prav tako je njegova kinetična viskoznost nekoliko prenizka, zato se mu velikokrat primeša plin argon. Pri izbiri plina je prav tako pomembna njegova viskoznost, ki je v tesni korelaciji s širino medstekelnega prostora. V splošnem velja, da za vsako širino medstekelnega prostora obstaja minimalna vrednost viskoznosti, pri kateri še ne pride do negativnega vpliva povečanega konvekcijskega prenosa toplote (Šijanec, 1999, 10).

Dvojna zasteklitev z eno plastjo nizkoemisijskega nanosa in argonskim polnjenjem v medstekelnem prostoru dosegajo *k* zasteklitve 1,1 W/m^{2}K. Če namesto argona uporabimo zrak, se toplotna prevodnost poveča na 1,4 W/m^{2}K. Zaradi difuzije in številnih mikro poškodb stekla se količina žlahtnega plina v medstekelnem prostoru počasi znižuje. Žlahtni plin naj bi ostal v medstekelnem prostoru med 10 in 30 leti. Ob izgubi tega plina in povečanju zraka v medstekelnem prostoru, se toplotna prehodnost poveča na 1,4 W/m^{2}K. Če namesto argona uporabimo kripon, pa zmanjšamo vrednost na 0,9 W/m^{2}K. Tehnološko je mogoče izdelati tudi zasteklitev pod 0,5 W/m^{2}K, če namesto žlahtnega plina uporabimo mnogo dražjo vakuumsko zasteklitev.

3.2 Zasteklitveni distančnik

Zasteklitveni distančnik je najšibkejši element okenskega sistema v toplotnem smislu. Njegov vpliv sega v območje 15 cm od oboda zasteklitve proti sredini. Vpliv distančnika se veča glede na manjšanje njegove površine zasteklitve. Pri manjših zasteklitvah z aluminijastim distančnikom lahko toplotne izgube segajo tudi do 10 % in več toplotnih izgub skozi okno. V

območju distančnega okvirja so temperature stekla precej nižje od tistih na sredini. Med zasteklitvijo in okvirom tako prihaja do toplotnega mostu in celo do površinske kondenzacije na notranji površini notranjega stekla. Da bi se izognili temu problemu, lahko namesto aluminijastega distančnika uporabimo distančnik iz nerjavnega jekla ali toplotno-izolacijski distančnik iz umetnih mas. Ti distančniki imajo toplotno prevodnost okoli 0,6 W/m^2K. Takšni so na primer distančniki iz trdega silikona ali votlih karbonatov (Šijanec, 1999, 12).

Material	Toplotna prevodnost (W/mK)
aluminij	200.00
jeklo	60.00
plemenito jeklo	15.00
PVC	0.19
butil	0.23
poliuretan	0.25
zračna plast 8 mm med stekli	0.057

Table 3: Toplotna prevodnost materialov

Vir: Interni vir podjetja

3.3 Okenski okvir

Uporabljajo se trije osnovni materiali za proizvodnjo okenskih okvirov: les, PVC in aluminij. Ti materiali morajo izpolnjevati primarne zahteve, kot so zadostna trdnost in stabilnost, trajnost, estetka vrednost in enostavno vzdrževanje. Okvir zavzema v povprečju med 15 in 35 % svetle okenske površine in je tako zelo pomemben faktor toplotne učinkovitosti. Okvirji morajo skozi svojo življenjsko dobo enakovredno prenašati posledice mehanskih in klimatskih vplivov.

Leseni okenski okvir je med vsemi okvirji najbolj zahteven za vzdrževanje. Zaščititi ga je potrebno z raznimi premazi, ki ga ščitijo pred UV sevanjem, vlago, temperaturnimi spremembami ter lesnimi škodljivci. Toplotni upor lesenega okvirja je odvisen od njegove debeline. Priporočljiva debelina se giblje od 70 mm naprej. Takšne okvirje štejemo med energetsko varčne okvirje, saj se njegova toplotna prehodnost giblje med 1,6 W/m^2K in 1,9 W/m^2K. Največkrat uporabljen material za leseni okenski okvir je les iglavca (Šijanec, 1999, 14).

PVC okenski okvirji so manj zahtevni za vzdrževanje ter so zelo odporni na vlago. Odporni morajo biti tudi na UV sevanje ter ekstremna temperaturna nihanja. Prenos toplote v okvirju preprečujejo številne komore. Ti so lahko dvokomorni, trokomorni ali več. Z večanjem števila komor se povečuje toplotna izolativnost okvirja. Na primer petkomorni profili dosegajo *k* okoli 1,2 W/m^2K (Šijanec, 1999, 15).

Med kovinskimi okvirji prevladuje aluminij, ki združuje dobre mehanske lastnosti. Aluminij je lahek, ima majhne potrebe po vzdrževanju in visoko trajnost. Njegova slabost pa je visoka toplotna prevodnost. Zaradi tega se največkrat aluminijasti okvir uporablja v souporabi s PVC vmesniki. V nasprotnem primeru zaradi posledice nizke površinske temperature okvirja lahko pride do kondenzacije vodne pare na okvirju. Toplotna prehodnost okenskega okvira iz aluminija znaša med 3,4 W/m^2K in 2,2 W/m^2K.

Ob pogledu na različne materiale za okenske okvirje lahko iz karakteristik razberemo, da sta leseno in PVC okno glede na toplotno prevodnost v istem razredu, nekoliko pa zaostaja aluminijasto okno. Glede vzdrževanja materialov opazimo, da sta najboljša materiala aluminij in PVC. Zato pri novejših oknih kombiniramo uporabo vseh treh materialov. Na primer pri lesenih okenskih okvirih dajemo na zunanjo stran aluminij, ki les ščiti pred vremenskimi vplivi, les pa na notranji strani nudi veliko toplotno izolativnost.

4 TOPLOTNA PREHODNOST GLEDE NA ENOJNO IN VEČSLOJNO ZASTEKLITEV

4.1 Uvod

Najšibkejši člen vsakega stavbnega ovoja so okna. Največje toplotne izgube se opazijo v zimskem času, pregrevanje pa v letnem času. Okna omogočajo osvetlitev prostorov, zajem sončne energije in prezračevanje prostorov. Na toplotno bilanco stavbe vplivajo okna predvsem z nizko toplotno prehodnostjo in majhno zračno prepustnostjo. Sodobna okna ustrezajo vsem tem lastnostim. Rezultati raziskav kažejo, da za povprečno enodružinsko hišo ob zamenjavi navadne dvojne zasteklitve z energetsko učinkovito zasteklitvijo lahko zmanjšamo izgube tudi do 50 %.

4.2 Toplotna prehodnost

TOPLOTNA PREHODNOST je podatek, ki ga zapišemo kot »U« (z enoto W/m2K) in nam podaja količino energije, ki se izgublja skozi površino 1m² elementa stavbe (v našem primeru zasteklitvene površine) pri temperaturni razliki 1 stopinje med obema stranema elementa. Določamo jo po DIN 52 619 T2/EN 673. Upornost toplotnega prehoda se meri v sredini steklene plošče in določa po DIN 52612. Odvisna je od toplotne prevodnosti in prestopnosti materialov, ki je lastnost površine (Hajdinjak, 2009, 62).

Poznamo tri osnovne oblike prenosa toplotne energije: sevanje, kondukcija in konvekcija. Medtemi je daleč najpomembnejša sevalni prenos toplote. Absorbirani del sevanja segreje element, ki del shranjene energije odda nazaj v zunanjost z dolgovalnim sevanjem. S kondukcijo pa preko elementa prevaja do druge površine, kjer se ponovi oddaja energije s sevanjem in konvekcijo. Toplotna prehodnost zasteklitve je odvisna od števila slojev stekla, nanosov na šipah, vrste plina v medprostoru in distančnika. Slednji vpliva na toplotno prehodnost na stiku med zasteklitvijo in okvirjem. Po določilih Uredbe vlade RS mora imeti energetsko učinkovito okno toplotno prehodnost manjšo od 1,4 W/m^2K.

4.3 Sevalna energija (g-vrednost)

G-vrednost, določena po EN 410, predstavlja vrednost faktorja celotnega sončnega sevanja, ki podaja v odstotkih vrednost skupnega prehoda sončne enrgije skozi zasteklitev. Tukaj se upošteva sevanje celotnega sončnega spektra – sončni žarki z valovnimi dolžinami od 300–2500 nm. Absorbirana energija ogreje steklo, to pa pri ohlajanju omenjeno energijo odda deloma navzven, preostanek pa v notranjost. Faktor celotnega sončnega sevanja oziroga g-vrednost sestavljata dva deleža energije (Hajdinjak, 2009, 64):

- direktno prepuščena (ET),
- sekundarno oddana (q_n).

Enačba: $g = ET + q_n$ (%)

4.4 Ekvivalentna vrednost toplotne prehodnosti U_{eq}

Pri izračunu U_{eq} je potrebno upoštevati še dobitke sončne energije v odvisnosti od lege zasteklitve. Bazira na metodi izračuna po standardu SIST EN 832 v členu 4.2. Določa potek izračuna sončnih dobitkov skozi zastekljene površine. Izračuni kažejo, da ima lahko okno, ki je obrnjeno na jug, pozitivno energijsko bilanco (http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT155.htm, dne 1. 5. 2011).

Ueq = Uw- (g.S) (W/m2K)

V enačbi pomeni:
Uw – toplotna prehodnost okna (W/m2K)
g – skupni prehod sončne energije (faktor sončnega sevanja),
S – pridobljena sončna energija v odvisnosti od smeri, v katero je obrnjeno okno (Jug: 2,4 W/m2K; Vzhod/Zahod: 1,65 W/m2K; Sever: 0,95 W/m2K).

Pri izračunu toplote skozi celotno okno ob upoštevanju prehoda skozi steklo, okvir in distančni okvir uporabimo naslednjo enačbo (Bahč, 2005, 36):

$U_w = (U_g A_g + U_f A_f + \psi l) / (A_w)$

U_w – koeficient prehoda za okno z okvirjem [W/m^{2}K]

U_g – koeficient prehoda za stekleno površino [W/m^{2}K]

U_f – koeficient prehoda za okvir [W/m^{2}K]

A_w – površina okna z okvirjem [m^2]

A_f – površina okvirja [m^2]

A_g – steklena površina [m2]

ψ – koeficient prehoda za distančnike [W/mK]

l – dolžina distančnikov [m]

4.5 Zasteklitev

4.5.1 Enojna zasteklitev

Enojna zasteklitev so stara enojna okna, zastekljena z enojno šipo v škatlastih in vezanih oknih. V hladnem obdobju leta nastopajo problemi z obilno kondenzacijo vodne pare na notranji strani šipe in z navlaževanjem lesenega okvirja. Toplotna prehodnost take zasteklitve je velika (tudi do 5,9 W/m^{2}K), zato so toplotne izgube zelo velike. Enojna zasteklitev se pri nas že dolgo ne uporablja več, saj je tehnična regulativa ne dopušča. Danes so enojna okna zamenjala energetsko učinkovite zasteklitve (dvojna in troslojna z žlahtnimi plini in emisijskimi nanosi).

4.5.2 Večslojna zasteklitev

Večslojna zasteklitev je praviloma sestavljena iz večih zrcalnih float stekel, ki jih ločuje hermetično zaprt prostor. Bistvo uporabe večslojne zasteklitve je v izkoriščanju plasti zraka ali suhega plina med posameznimi stekli. Zrak ali suhi plin tako postane dodaten toplotni izolator, medtem ko debelina šipe pravzaprav ne pomeni nič. Slaba stran večjega števila stekel je v zmanjšanju neposredih sončnih pritokov in svetlobne prepustnosti zaradi večkratnih odbojov in absorbcije toplotnega in svetlobnega dela sevanja. Prav tako je izjemno pomembna tudi širina medstekelnega prostora. Če je medstekelni prostor preozek, je toplotni upor zraka premajhen. Če pa je prevelik, pa nastopijo intenzivnejši sevalni toplotni tokovi, ki zamanjšajo toplotni upor. Idealni razmak med stekli je od 12 do 16 mm s šipami debeline 4 mm. Najbolj energetsko učinkovita zasteklitev so torej stekla z emisijskimi nanosi in plinsko polnitvijo.

4.5.2.1 Troslojna zasteklitev

Je najbolj uporabna v nizkoenergijskih in pasivnih hišah. Prednost troslojne zasteklitve oken je v izboljšanju toplotnih karakteristik stekla in s tem tudi okna. Pri trojni zasteklitvi srednja šipa razdeli medstekelni na dva dela enake širine kot pri dvojni zasteklitvi. S tem so kondukcijski toplotni tokovi dodatno zmanjšani, konvekcijski toplotni tokovi pa ostanejo na približno enaki stopnji kot pri dvojni zasteklitvi. Najpogostejša debelina troslojne zasteklitve je 36 mm. Težave nastopijo, saj so cenovno mnogo dražja, težje se odpirajo zaradi lastne teže, zato pa zahtevajo masivnejši okvir.

5 NOVE TEHNOLOGIJE ZASTEKLJEVANJA

Tehnološki razvoj zastekljevanja je usmerjen v iskanje novih naprednih rešitev glede optičnih in toplotnih lastnosti zasteklitve. Navedene so nekatere sodobne rešitve, ki se za komercialne namene zaradi različnih nezadovoljivo rešenih tehničnih težav še ne uporabljajo pogosto. Nekatere rešitve tudi cenovno še niso dovolj ugodne in uporabe ne moremo upravičiti z neposrednimi prihranki energije.

5.1 Kromatska stekla

Poznamo tri vrste kromatskih stekel: fotokromna, termokromna in elektrokromna. Fotokromno se odziva na svetlobo, termokromno se odziva na temperaturo in pa elektrokromno se odziva na električni tok. Omogočajo dinamično kontrolo svetlobnih in toplotnih pretokov, kjer se v odvisnosti od robnih pogojev reverzibilno spreminjata njihova refleksnost in absorptivnost. Uporablja se predvsem v namene za kontrolo in uravnavanje svetlobnih in toplotnih razmer v poslovnih stavbah (Šijanec, 1999, 13).

5.1.1 Fotokromna stekla

So stekla, ki se samodejno spremenijo iz prozornega v tonirano steklo z žarki sonca. Tukaj ni potrebna nobenena električna energija ali lasten nadzor. Ko sonce zaide, se steklo povrne v prozorno lastno stanje. Ko se spremeni transmisivnost fotokromnega stekla, se absorptivnost poveča in steklo absorbira večjo količino toplote. Fotokromirana stekla absorbirajo UV žarke, pri tem pa zmanjšujejo prenos toplote v stavbo ter porabo energije za stroške klimatskih naprav.

5.1.2 Termokromna stekla

Spreminjajo svoje optične lastnosti glede na temperaturo v okolici. Sestavljena so iz dveh ali več slojev stekla, med katerim se nahaja tekočina ali gel. Ko se termokromni material segreje, preide iz prozornega stanja v prozorno. Ta zasteklitev je primernejša za strešna okna in svetlobnike, kot za vertikalna okna.

5.1.3 Elektrokromna stekla

Elektrokromna stekla so pametna stekla nove generacije, ki omogočajo visoko stopnjo nadzora nad spreminjanjem optičnih lastnosti. Njihovo transparentnost spreminjamo s pomočjo uporabe električnega toka (1–3 V), kjer pa se energija uporabi le za spremembo transparentosti, torej ima »spomin«, in ne potrebuje stalne napetosti za ohranitev niansiranja. Uporablja se predvsem za dnevni nadzor svetlobe, nadzor bleščanja ter sončne toplote. Z avtomatsko regulacijo količine svetlobe in sončne energije, ki gre skozi okno, lahko ta okna pomagajo varčevati z energijo v domovih. Prepustnost svetlobe med delovanjem se giblje med 5 do 80 %. Na njih je nanesen film tekočega kvarca. Ta film je naravnan tako, da blokira določene valovne dolžine, kot so infrardeče toplotne energije (Hajdinjak, 2009, 247).

5.2 Vakuumska zasteklitev

Pri vakuumski zasteklitvi se med stekli nahaja brezzračni prostor, s čimer preprečimo kakršne koli kondukcijske ali konvekcijske toplotne izgube. Težava pa je stabilnost sistema, saj je tesnenje zaradi raznih poškodb stekla in mikro razpok lahko prekinjeno in v medprostor vdre atmosferski zrak. V tem primeru je zelo izboljšana toplotna prehodnost med stekli, saj je mogoče doseči odlično izolacijsko vrednost Ug = 0,5 W/m^2K, s širino zasteklitve, tanjše od 10 mm (Šijanec, 1999, 14).

Vakuumska zasteklitev je sestavljena iz dveh po celotnem obodu lasersko zvarjenih šip. Glede na relativno nizko težo ta omogoča načrtovalcem in arhitektom nove možnosti za načrtovanje

vitkih in estetsko zastekljenih fasad, za katere so potrebna izolacijska stekla, ki so tanka, lahka in imajo visoko energetsko učinkovitost. Izdelava vakuumskih stekel je še trenutno neekonomična, po predvidevanjih pa se zaradi izboljšanja tehnike izdelave pričakuje, da bo cena teh stekel primerljiva s troslojnimi. Uporaba teh stekel je v glavnem primerna za okna, fasade in strešne kritine na poslovnih in zasebnih objektih. Druga področja uporabe vključujejo tudi mobilne naprave, kjer se zahteva nizka teža ter energetska učinkovitost.

5.3 Aerogeli

Aerogeli so različni geli, ki se uporabljajo namesto mešanice plinov za uporabo v medstekelnem prostoru. Sestavljeni so iz gela, pri čemer se v Kistlerjevem postopku tekoča komponenta gela nadomesti z zrakom, ki predstavlja več kot 90 % njegove sestavine. Za uporabo so zanimivi aerogeli, kjer so delci manjši od valovne dolžine vidne svetlobe. Imajo manjšo toplotno prevodnost kot mirujoči zrak. Toplotni upor aerogelov debeline 25 mm se v odvisnosti od materiala giblje med 0,88 in 1,23 W/m^2K. Aerogel skoraj izniči vse tri načine prenosa energije (konvekcijo, prevajanje in sevanje). Aerogeli imajo zelo majhno gostoto in težo, so zelo porozni ter imajo precej manjšo trdnost kot njihov osnovni material.

5.4 Razvojna prizadevanja zasteklitvenih sistemov

Razvojna prizadevanja potekajo v smeri uporabe kromatskega stekla, kot najprimernejšega za dinamično kontrolo svetlobnih in toplotnih pritokov. Slabost teh stekel je, da se odzivajo na okoljske vplive in se ne prilagajajo človeškim potrebam. Ta stekla so namenjena predvsem za uporabo v poslovnih stavbah, kjer ne moremo namestiti žaluzij ali zaradi modernega videza nočemo imeti zaves. Elektrokromna stekla se uporabljajo tudi za zatemnitev stekla v notranjosti poslopja, npr.: vidni prostor med pisarnami, v bolnišnicah ... Vendar pa še cene kromatskih stekel ne moremo upravičiti z neposrednimi prihranki energije.

Prav tako so zanimivi aerogeli, ki bodo zamenjali žlahtne pline v medstekelnem prostoru. Zaradi svojih lastnosti, kot so neprekosljiva toplotna zaščita ter zvočna izolativnost, se bo

vedno bolj uveljavljal kot zasteklitveni material. Zaradi svoje krhkosti ga moramo zavarovati z dvema plastema stekla. V primerjavi s troslojno nizkoemisijsko zasteklitvijo je letni prihranek energije 10–20 %, ki pa je zelo odvisna od objekta. Tehnologija aerogelov se še zmeraj razvija in še ni znano, kdaj bo takšno okno na voljo širši javnosti.

Če hočemo s troslojno zasteklitvijo doseči veliko izolativnost, moramo povečevati medstekelni prostor. Glede na dvoslojno zasteklitev ima troslojni sistem za 50 % večjo težo in velike debeline, tudi do 60 mm. Vakuumska zasteklitev pa doseže enake vrednosti, kot troslojna zasteklitev s sistemom, tanjšim od 10 mm. Vendar se cena proizvodnje še ne more primerjati s ceno izdelave običajne troslojne zasteklitve.

6 ZAKONI, PRAVILNIKI IN STANDARDI O STEKLU

6.1 Zakoni in pravilniki:

- Zakon o graditvi objektov,
- Zakon o gradbenih proizvodih,
- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah,
- Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb,
- Pravilnik o zvočni zaščiti stavb.

6.2 Standardi

EN 1096 – Steklo v gradbeništvu – Steklo z nanosi

EN 1279 – Steklo v gradbeništvu – Izolacijsko steklo

EN ISO 1288 – Steklo v gradbeništvu – določanje upogibne rdnosti stekla

EN 410 – Steklo v gradbeništvu – Določanje svetlobnih in sončnih karakteristik stekla

EN 572 – Steklo v gradbeništvu – Osnovni proizvodi iz natrij-kalcijevega silikatnega stekla

EN 673 – Steklo v gradbeništvu – Določanje toplotne prehodnosti (U-vrednost) – Računska metoda

EN 674 – Steklo v gradbeništvu – Določanje toplotne prehodnosti (U-vrednost) – Metoda z vročo ploščo

EN ISO 10 077 – Toplotne lastnosti oken, vrat in polken – Izračun toplotne prehodnosti

EN 12150 – Steklo v gradbeništvu – Kaljeno natrij-kalcijevo silikatno varnostno steklo

EN 12 207 – Okna in vrata – Prepustnost zraka na pripirah

EN 12 208 – Okna in vrata – Neprepustnost za vodo

EN 12 412 – Toplotne lastnosti oken, vrat in polken

DIN 18 361 – Zasteklitvena dela

EN 20 140 – Akustika – Merjenje zvočne izolirnosti v zgradbah in zvočne izolirnosti gradbenih elementov

DIN 67 507 – Prepustnost svetlobe, prepustnost sevanja in skupni prehod energije zasteklitev

7 ZAKLJUČEK

Učinkovita raba energije je danes področje, ki je začelo kreirati sodobno gradnjo objektov. Zaradi čim manjšega onesnaževanja ter podražitev in omejene rabe določenih energetskih virov so se v gradbeništvu pojavile velike spremembe. Steklo se je začelo uporabljati kot konstrukcijski material ter z razvojem in novimi tehnologijami postalo učinkoviti zasteklitveni material, ki izkorišča zunanje dejavnike.

Izkoriščanje naravne svetlobe in toplote bo postalo vedno bolj pomembno, saj smo ljudje že iz psihološkega vidika ob izpostavljanju naravni svetlobi in toploti bolje razpoloženi in produktivni. Steklo zaradi lastnosti, ki ga ponuja (transparentnost), človeka poveže z okoljem in tako dviga blagostanje, postajalo bo vedno bolj pomemben gradbeni material v prihodnosti.

8 LITERATURA IN VIRI

Literatura:

1. Bahč, B.: *Vpliv velikosti in kvalitete steklenih površin na toplotne izgube in dobitke.* Diplomsko delo, Maribor, 2005.
2. Hajdinjak, R.: *Gradimo s steklom*, Reflex, d. o. o., Podgrad, 2009.
3. Interni vir podjetja Reflex, d. o. o.: *Navodila za delo*.
4. Šijanec Zavrl, M., Tomšič, M.: *Energetsko učinkovita zasteklitev in okna*, Femopet, Ljubljana, 1999.

Spletni viri:

1. http://www.reflex.si/, dne 1. 5. 2011
2. http://sl.wikipedia.org/wiki/Steklo, dne 1. 5. 2011
3. http://www.lisec.com, dne 1. 5. 2011
4. http://www.kemija.org/index.php/kemija-mainmenu-38/24-kemijacat/58-kaj-je-steklo-in-kako-ga-pridobivamo, dne 1. 5. 2011
5. http://www.yourglass.com, dne 1. 5. 2011
6. http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT155.htm, dne 1. 5. 2011

Standardi:

1. EN 1279 – Steklo v gradbeništvu – Izolacijsko steklo
2. EN 1096 – Steklo v gradbeništvu – Steklo z nanosi
3. EN 13 022 – Steklo v gradbeništvu – Strukturna zasteklitev
4. DIN 18 361 – Zasteklitvena dela
5. EN 12 412 – Toplotne lastnosti oken, vrat in polken