

povzetek

Zasteklitvene sisteme je mogoče razdeliti v dve skupini: zasteklitev brez okvirja in zasteklitev z okvirjem.

Pri zasteklitvi brez okvirja nosilno funkcijo zasteklitvenega okvirja prevzame posebna podporna konstrukcija. Steklene plošče so lahko pritrjene v obodno konstrukcijo, točkovno sestavljene ali točkovno pritrjene na podporno konstrukcijo.

Pri zasteklitvi z okvirjem težo steklene plošče in druge obremenitve (veter, potres) prevzame okvir. Glede na izvedbo okvirja in videza so zasteklitve lahko enostavne, polstrukturne in strukturne.

Glede na nosilnost ločimo dodatni dve kategoriji: zasteklitev s povečanimi profili in zasteklitev s posebno podporno konstrukcijo.

V članku so zasteklitveni sistemi sistemizirani v pregledne sisteme. Podrobneje so obdelani posamezni tipi zasteklitev, njihove značilnosti ter prednosti in slabosti.

summary

Glazing systems can be divided into two groups: glazing with or without frames. Glazing without frames implies that the load-bearing function of the glazing frame is taken over by special supportive structures. Glass panes can be fixed onto a peripheral structure, nodal construction or nodal fixtures on the supportive structure.

Glazing with frames implies that the load of the glass pane and other burdens (wind, earthquakes) are taken over by the frame. Concerning construction or image of the frame, glazing can be simple, semi-structural or structural.

Two additional categories stem from load-bearing capacities: glazing with enlarged profiles and glazing with special supportive structures.

In the article, glazing systems are structured into a simple system. Particular types of glazing, their characteristics, as well as advantages and weaknesses, are dealt with in detail.

ključne besede:

zasteklitev, enostavna zasteklitev, polstrukturna zasteklitev, strukturna zasteklitev

key words:

glazing, simple glazing, pressure cap glazing, structural glazing

RAZVOJ ZASTEKLITVENIH SISTEMOV

Razvoj zasteklitvenih sistemov se začne takrat, ko so začeli steklo uporabljati za zasteklitev odprtih, pred tem so ga uporabljali predvsem za izdelavo posodja. Kolikor vemo, je bilo to prvič v rimskem graditeljstvu. Poznana je zasteklitev stropne odprtine v termah in pa zasteklitev odprtine z notranjo svetilko, ki je razsvetljevala cesto. V srednjem veku se je izoblikoval prvi kompleksni sistem za zastekljevanje oken v katedralah. Raznobarvno mozaično steklo je bilo vstavljeno v svinčene okvirje in podprto z mrežasto železno nosilno konstrukcijo. Burnejši razvoj je sledil, ko je steklo v 19. stol. postalo običajno sredstvo za zapiranje okenskih odprtih. Pred tem so bila okna zastrta s papirjem, kožami, tekstilom, tankimi kamnitimi ploščami. Na začetku tega obdobja je veličastna zasteklitev Kristalne palače v Londonu (1851), ki vnaša duha moderne arhitekture, vendar še s starimi obrtniški tehnologijami. Ob koncu tega stoletja so velika okna poslovnih nebotičnikov v Chicagu že oznanjala zmago steklene arhitekture. V začetku 20. stol. (1919) je Mies van der Rohe narisal nebotičnik, ki je bil obdan samo s steklom. Današnja tehnologija je že pred desetletji rešila vse probleme, ki so povezani s tem.

Vzporedno s tem razvojem so se pojavili še danes poznani zasteklitveni sistemi: navadno leseno okno, škatlasto okno, vezano okno. Tedaj, pa tudi kasneje, so bila okna najšibkejši člen v toplotni zaščiti zgradbe. Sledila je veriga inovacij, ki je na koncu prinesla kvalitetna toplotno-izolacijska stekla in varnostna stekla. Lesenim okvirnim konstrukcijam so sledile kovinske (jeklo, aluminij), ki so prinesle vitkeje profile pri vedno bolj širokopotezno zastekljenih fasadah. Tudi kovinski okvirji so zelo neugodni toplotni mostovi, saj se rosijo, poledenijo in prinašajo velike toplotne izgube. Zato se je uveljavil okvir s prekinjenim

toplotnim mostom, ki ga je mogoče oblikovati le v aluminiju. Jekleni okvirji so lahko le vlečeni ali valjani, aluminijasti profili pa so iztisnjeni skozi matrico, zato so lahko tako komplicirani, da sprejmejo lamele, ki prekinejo toplotni most. Steklena plošče lahko danes pritrjujemo na podporno konstrukcijo tudi točkovno ali tako, da na fasadi razen stekla ni videti nikakršnih okvirjev.

Razvoj zasteklitvenih sistemov se burno nadaljuje. Sodobni arhitekt ga komaj lahko kompetentno spremlja, še zlasti, če nima preglednega znanja, ki podčrtuje bistvo vsakega zasteklitvenega sistema, njegove prednosti in omejitve. Članek želi predstaviti aktualne zasteklitvene sisteme in vse tiste, ki so prisotni v zgodovini arhitekture, oziroma v našem grajenem okolju. Želimo tudi utrditi ustrezne izraze za posamezne termine, ki so danes rabljeni še zelo ohlapno.

Aktualni zasteklitveni sistemi so v članku predstavljeni s produkcijo, ki je danes v Sloveniji najbolj razširjena, dostopna in tudi visokokvalitetna (Schüco). S predstavniki te produkcije smo tudi usklajevali terminologijo, saj želimo, da bi bili vsi strokovni izrazi precizni, trajni in da bi prešli v splošno rabo.

ZASTEKLITVENI SISTEMI

"ZASTEKLITEV" je širok pojem, ki označuje vsakršne odprtine, zaprte s steklom. Gre za odprtine v fasadah, v stenah, na stropu, strehi ali na tleh, na ograjah, na vratih, pohištvu in podobno. "ZASTEKLITVENI SISTEM" je podobno širok pojem, ki pa opozarja na to, da gre za sistemske rešitve, torej take, ki so se uveljavile v zgodovini ali pa prevladujejo danes. Te so predmet našega proučevanja.

Tehnološki razvoj stekla za uporabo v arhitekturi je skozi zgodovino nudil številne zasteklitvene sisteme. Nekateri med njimi so pozabljeni (enojno okno, škatlasto okno, vezano okno, katedralna zasteklitev), predstavljajo pa predhodnike sodobnih zasteklitvenih sistemov, ki temeljijo na dveh tehnoloških principih: zasteklitev brez okvirja in zasteklitev z okvirjem. Zasteklitvene sisteme, ki so se pojavili skozi zgodovino vse do danes, je mogoče razvrstiti v tehnološke sisteme, ki so podlaga za razumevanje in s tem uspešno uporabo stekla v arhitekturi.

ZASTEKLITEV BREZ OKVIRJA
katedralna zasteklitev profilno steklo steklaki steklene plošče, pritrjene v obodno konstrukcijo steklene plošče, točkovno sestavljene, pritrjene v obodno konstrukcijo steklene plošče, točkovno pritrjene na posebno podporno konstrukcijo
ZASTEKLITEV Z OKVIRJEM
Enostavna zasteklitev
enostavno okno (les, PVC, aluminij, kombinacije) leseno dvojno okno leseno vezano (sklopljeno) okno leseno škatlasto okno betonska zasteklitev za industrijske zgradbe enostavna alu zasteklitev alu zasteklitev s prekinjenim toplotnim mostom kovinska zasteklitev za rastlinjake
Enostavna zasteklitev povečanimi profili Enostavna zasteklitev s posebno podporno konstrukcijo
Polstrukturna zasteklitev
Schüco sistemi: FW 50 ⁺ /FW 50 ⁺ .I FW50 ⁺ S/FW50 ⁺ IS, FW 50 ⁺ DK FW 60 ⁺ /FW 60 ⁺ .I SG 50 P SK 60/SK 60.I
Polstrukturna zasteklitev s povečanimi profili Polstrukturna zasteklitev s posebno podporno konstrukcijo
Strukturna zasteklitev
Schüco sistemi SG 50 N SG 50P FW 50 SG FW 50 FW 50 SG, FW 50 ⁺ SG
Strukturna zasteklitev s povečanimi profili Strukturna zasteklitev s posebno podporno konstrukcijo

Zasteklitvene sisteme je mogoče razdeliti v dve osnovni skupini: zasteklitev brez okvirja in zasteklitev z okvirjem.

- Zasteklitev brez okvirja**, pri kateri nosilno funkcijo zasteklitvenega okvirja prevzame posebna podporna konstrukcija. Med zasteklitvene sisteme brez okvirja uvrščamo:
 - Katedralna zasteklitev (vitraž, vitraj)** [2]- prva zasteklitev v zgodovini, s katero so lahko zastekljevali večje površine. Tehnologija izdelave stekla je tedaj nudila le bucno steklo manjših dimenzij (do 30cm²). Stekla so vlagali v svinčene palice H-profila. Palice so na mestih, kjer so se stikale med seboj, na obeh straneh spajkali s svinčcem ali mešanico kositra in svinca (cinol). Stike so nato zakitali, da niso prepuščali vode. Na določenih razmakih so bila stekla pritrjena na tanke ploščate ali okrogle železne profile, ki so bili na zunanji strani zasteklitve pritrjeni s svinčnimi ali bakrenimi kljukicami. Te pritrditve so bile potrebne zato, ker

so bili svinčeni stiki gibljivi in s tem izpostavljeni stalno menjajočim pritiskom vetra. Vitraž so izdelali v delavnici na mavčnem odlitku in ga potem brez posebnega okvirja pritrdili neposredno v zid.

- Profilno steklo** (kopilit) - U-profil širine 24-50 cm, dolžine do 7 m, višina robov 4-6 cm. Vgrajeno ima lahko žično armaturo. Stike med ploščami se zatesni s trajno plastičnimi in elastičnimi tesnili. Tovrstni zasteklitveni sistem je primeren predvsem za industrijske zgradbe, pri stanovanjskih zgradbah pa za zasteklitev stopnišč. Vgrajuje se lahko kot enoslojno ali dvoslojno na različne načine [3], [9], [12].
 - Steklaki** - Zasteklitev brez okvirja, ki ga sestavljajo steklaki in posebna podporna konstrukcija. To so armirane fuge iz cementne malte. Grajene morajo biti tako, da razen svoje lastne teže ne prenašajo nobenih pravokotnih obremenitev. Zaradi raztezov pri temperaturnih spremembah morajo stene imeti dilatacije najmanj vsakih 6 m [12].
 - Samonosne steklene plošče** poljubnih dimenzij, ki so lahko pritrjene na obodno konstrukcijo (stene, stebri, nosilci, tla itd.), med seboj pa so tesnjene s tesnili ali povezane s točkovnimi pritrditvami [10], [12].
- Zasteklitev z okvirjem**, pri kateri okvir prevzame težo steklene plošče in druge obremenitve (veter, potres). Glede na nosilnost ločimo dve kategoriji: **zasteklitev s povečanimi profili**, kjer so dimenzije zaradi večjih razponov in obremenitev okvirja povečane in **zasteklitev s posebno podporno konstrukcijo**, pri kateri zaradi večjih razponov in obremenitev sistemski profili okvirja ne zadostujejo, zato potrebujejo dodatno konstrukcijo, na katero se pritrdijo. Dodana podporna konstrukcija ni del zasteklitvenega sistema, temveč konstrukcijski element zgradbe. Lahko je iz kovine, lesa, betona, stekla... v obliki stojk, nosilcev, predalčja, vrtnih sistemov itd. ali pa samo odprt in v zidu, ki podpirajo zasteklitev brez okvirja. Glede na izvedbo okvirja in videza ločimo tri kategorije:
 - Enostavna zasteklitev**, kjer je steklena plošča vstavljena približno v sredino profila, tako da se vidi enak del profila na zunanji in notranji strani. Izvedbe s takimi okvirji so:
 - Enostavno okno (enojno okno)** [1], ki ima nosilni okvir in nošeno krilo. Okensko krilo ima lahko enojno steklo ali večslojno izolacijsko stekleno ploščo. Okvirji in krila so danes iz različnih gradiv: les, aluminij, PVC in različne kombinacije.
 - Prva **enostavna lesena okna** so imela zelo slabo toplotno izolativnost zaradi slabe izolativnosti stekel in okvirjev. Izraz enojno okno se je včasih uporabljal za razlikovanje od dvojnega ali vezanega okna, ki ima za razliko od enojnega okna dve stekli. Sodobna lesena okna so iz lepljenih profilov iz smreke, jelke, bora in (manj primernih) hrasta ter eksotičnih vrst lesa. Okvirji morajo biti s primerno konstrukcijo pa tudi z ustrezno površinsko obdelavo zaščiteni pred napadi škodljivcev in zunanjim atmosferskim vplivom. V zadnjem času se na zunanji strani okvirja in krila pritrdi aluminijaste profile, ki ščitijo les pred padavinsko vodo [15]. Prodaja lesenih oken danes močno upada, narašča pa proizvodnja oken iz PVC in aluminija.
 - Enostavno okno iz PVC** [15] ima okvir iz trdega PVC gradiva. Večprekatna konstrukcija (do 8 prekatov) zagotavlja doseganje dobre toplotne izolativnosti okvirja (U-vrednosti za okno s takim okvirjem so lahko od 0,9 do 0,7 W/m²K).

- **Enostavno okno iz lesa in aluminija** [15] ima okvir iz lesa, ki prevzame nosilno funkcijo in aluminija, ki ščiti les pred zunanjimi atmosferskimi vplivi. Okvir in krilo sta iz lepljenega lesa, največkrat smrekovega.
 - **Enostavno okno iz PVC in aluminija** [15] ima večprekatni okvir in krilo iz trdega PVC, v konstrukcijo pa je vstavljen profil iz aluminija, ki povečuje trdnost. Zunanja stran okvirja in krila je zaradi zaščite pred vremenskimi vplivi in estetskega izgleda obložena z oblogo iz aluminija.
 - **Leseno navadno dvojno okno** z lesenim nosilnim okvirjem in dvema nošenima kriloma. Krili obeh oken imata samostojno vrtilišče. Notranje krilo se odpira navznoter, zunanje krilo pa navzven. Na ta način sila vetra, ki pritisne na krilo, zatesni stike in preprečuje vdor meteorne vode v konstrukcijo. [1:74]
 - **Leseno vezano (sklopljeno) okno**, sestavljeno iz dveh kril lesenih navadnih oken. Notranje krilo je nosilno, zunanje pa obešeno nanj. Na ta način imata okni skupno vrtilišče. Krili sta popolnoma skupaj, ali pa je med njima 3 mm razmaka. Sistem je bil v rabi predvsem dokler ni bilo toplotno izolacijskega stekla. Bil je boljši od lesenega škatlastega okna, v katerem zaradi velike distance med stekli prihaja do kroženja zraka, kar zmanjšuje toplotno izolativnost. [9:139]
 - **Leseno škatlasto okno**, sestavljeno iz dveh kril lesenih navadnih oken, med katerima je cca 15 cm medstekelnega prostora. Vmesna špaleta predstavlja povezavo med okni. Krili obeh oken imata samostojno vrtilišče in se odpirata navznoter [9:139]. Sistem je bil v rabi kot izboljšava lesenega navadnega (enojnega) okna za zmanjševanje toplotnih izgub. Slabost škatlastega okna je preširok medstekelni prostor, v katerem zrak preveč kroži in s tem povzroča konvektivne toplotne izgube. Izboljšavo sistema predstavlja **leseno vezano okno**.
 - **Betonska zasteklitev za industrijo** iz betonskih profilov, v katerega so vstavljene steklene plošče. Sistem je bil v rabi predvsem za industrijske zgradbe. Njegova slabost je zelo velika toplotna prevodnost okvirja. [9:134]
 - **Enostavna alu-zasteklitev**, sestavljena iz iztiskanih aluminijastih profilov. Profili so izdelani kot polizdelki ali kot sistemi. Aluminijasti okvirji so lahki, trdni, kemično obstojni, primerni za predelavo in anodno oksidacijo. V tem postopku dobijo kovinski ali srebrno do črn barvni ton. Ta zaščitna plast se ne zbrusi, je zelo trda ter svetlobno, kozorijsko in vremensko obstojna. Profili nimajo prekinjenega toplotnega mostu, zato so danes primerni le za uporabo v notranjosti objekta [9].
 - **Enostavna alu-zasteklitev s prekinjenim toplotnim mostom**, pri kateri so aluminijasti profili izdelani na ta način, da se toplotni most, ki ga imajo, prekine. Včasih so prekinitev toplotnega mostu dosegli z vgraditvijo toplotne izolacije, učinkovitejša pa je dodatna delitev profilov na zunanji in notranji del, ki sta ločena z izolativnimi trakovi (lamelami) in s povečanjem števila prekatov [14].
 - **Kovinska zasteklitev za rastlinjake** [1], kjer je steklena plošča položena na tipski jekleni T-profil. Kit je hkrati lepilo in tesnilo. Zasteklitev se je uporabljala za rastlinjake in zimske vrtove.
- b Polstrukturalna zasteklitev** [14], kjer je steklena plošča pritrjena na okvir in prekrita s posebnimi profili za pritrditev. Te pritrdilne letvice so minimalnih dimenzij in so običajno na zunanji strani fasade, ob robu posamezne steklene plošče. Odpirajoča okenska krila so popolnoma vgrajena v

konstrukcijo in se na zunanji strani optično ne razlikujejo od fiksnih steklenih plošč. Odpirajo se po zgornji horizontalni osi navzven. Med posameznimi steklenimi ploščami je 30 mm široka fuga. Profili za pritrjevanje stekla so montirani na osnovne profile stebrov in prečk, katerih širina je okrog 50 mm in je vidna le v notranjosti prostora. Steklene plošče se lahko nadomesti tudi z nesteklenimi.

- c Strukturna zasteklitev** [14], pri kateri je steklena plošča pritrjena na okvir brez pokrivne letvice. Posamezne steklene plošče ločujejo med seboj le zelo ozke senčne fuge ali silikonski stiki. Na (običajno) zunanji strani se pojavi fuga debeline 20 mm, ki določa raster fasade. Celotna fasada se kaže kot monolitna, gladka površina, ki je razdeljena le s fugami med posameznimi ploščami. Fuge so lahko senčne ali pokrite. Steklene plošče so na okvirno konstrukcijo prilepljene s posebnim silikonom, ki ga odlikuje visoka adhezijska sposobnost ter velika kohezijska trdnost in elastičnost. V fasado se lahko vgradijo okna, ki se odpirajo navzven in v zaprtem stanju z ostalo zastekljeno površino oblikujejo harmonično celoto. Steklene plošče se lahko nadomesti tudi z nesteklenimi.

ZAKLJUČEK

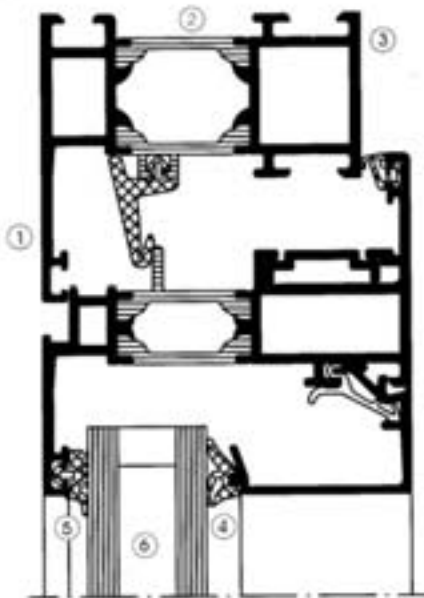
Številni primeri zasteklitvenih sistemov od najstarejših časov do danes kažejo predvsem odvisnost od tehnološkega razvoja izdelave stekel in okvirjev. V zadnjih desetletjih se je ta industrija razvila skoraj do popolnosti. Nekateri klasični zasteklitveni sistemi so se izpopolnili in veljajo še danes, drugi so utonili v pozabo. Tako se pojmov kot npr. enojno okno, dvojno okno itd. danes ne razume več v prvotnem smislu. Poleg tega pa v zadnjem času hiter razvoj prinaša številne nove sisteme, pri katerih stroka ne vpeljuje pravočasno ustreznega poimenovanja, posledica tega pa je prevzemanje tujk ali nedosledni prevodi. Do tega prihaja predvsem pri novodobnih fasadnih zasteklitvah. Tak primer je *strukturna fasada*, ki je privzet iz angl. termina *Structural Glazing System* (ki tudi v nemščini nima prevoda). Podobno je pri poimenovanju sistema *polstrukturne fasade*, ki ima na stikih steklenih plošč pritrdilne letve (nem. *Verglasung mit Pressleiste*, angl. *pressure cap glazing*). Termin sam ne pojasni niti izgleda niti načina pritrditve in je zato nejasen. Primerov pa je še več. Stroka mora (jasno in pregledno) slediti novim principom in tehnologijam ter njihovim poimenovanjem, po drugi strani pa zaradi tehnične arhitekturne dediščine negovati in ohranjati tudi stare termine.

V prispevku so zbrani in sistemizirani različni zasteklitveni sistemi, uporabljeni nekoč in danes. Pripravili smo poimenovanje najpomembnejših sistemov, ki ga vpeljujemo v pedagoško delo in upamo, da bo sprejet tudi v stroki.

VIRI

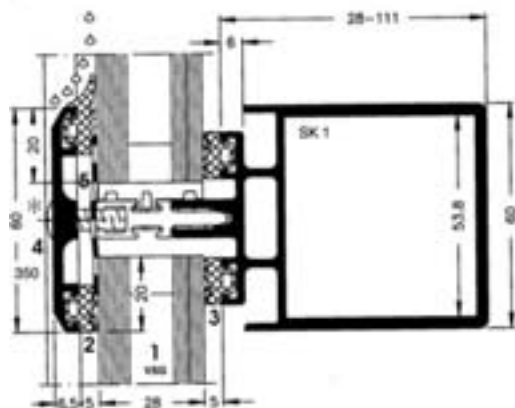
- 1 Brezar, V., 2001: *Finalizacija in deajli*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana.
- 2 Bogovič, I., 1995: *Gotika v Slovenji*, Narodna galerija, Ljubljana.
- 3 Härig, S. et al., 1990: *Technologie der Baustoffe*, 9. dopolnjena izdaja, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe.
- 4 Klein, W., 1974: *Das Fenster und seine Anschlüsse*, Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld.
- 5 Knaak, U., 1998: *Konstruktiver Glasbau*, Rudolf Müller, Köln.
- 6 Knapp, O., 1962: *Architektur- und Bauglas in Vergangenheit und Gegenwart*, Veb Verlag für Bauwesen, Berlin.
- 7 Kresal, J., 2002: *Gradiva v arhitekturi*, Učbenik za arhitekto, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana.

- 8 Krewinkel, H. W., 1998: *Glass Buildings*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- 9 Pracht, K., 1982: *Fenster*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.
- 10 Rice, P., Hugh, D., 1995: *Transparente Architektur*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- 11 Schittig, Ch., 2001.: *Gebäudehüllen*, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, Birkhäuser Verlag, Basel.
- 12 Schittich, Ch.: *Glasbauatlas*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1998.
- 13 Schneck, A. G.: *Türen aus Holz, Metall und Glas*, Julius Hoffmann Verlag, Stuttgart, 1956.
- 14 Tehnična dokumentacija *Schüco*, Alukönigstahl, Slovenija.
- 15 Tehnična dokumentacija *Inles*.



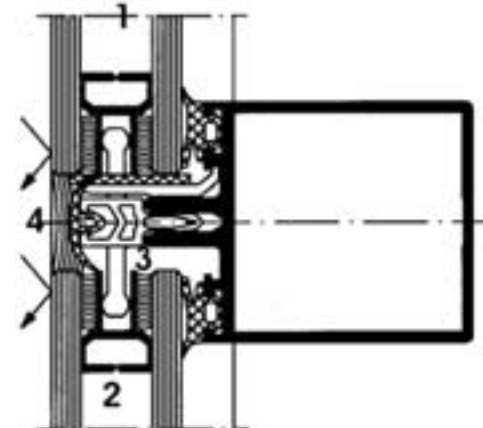
- 1 alu okvir / zunaj
- 2 prekinitev toplotnega mostu
- 3 alu okvir / znotraj
- 4 tesnilo / znotraj
- 5 tesnilo / zunaj
- 6 izolacijsko steklo

Slika 1a: enostavna alu zasteklitev s prekinjenim toplotnim mostom - profil



- 1 izolacijsko steklo
- 2 zunanje tesnilo
- 3 notranje tesnilo
- 4 pokrivna letev
- 5 tesnilo /pri strehah)

Slika 2a: polstrukturalna zasteklitev - profil



- 1 izolacijsko steklo
- 2 distančnik
- 3 lepilo
- 4 pokrita fuga

Slika 3a: strukturalna zasteklitev - profil



Slika 1b: enostavna alu zasteklitev s prekinjenim toplotnim mostom objekt Pomgrad, (Schüco, Sistem Royal S)



Slika 2b: polstrukturalna zasteklitev objekt na Dunajski, Ljubljana, (Schüco, sistem FW 60⁺)



Slika 3b: strukturalna zasteklitev objekt Duty Free (Schüco, sistem SG 50 N)

doc dr Martina Zbašnik-Senegačnik
 prof dr Janez Kresal
 Univerza v Ljubljani
 Fakulteta za arhitekturo
 martina.zbasnik@arh.uni-lj.si