

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Strižič, R., 2016. Eksperimentalna analiza obnašanja segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema, izpostavljenega ravninski strižni ciklični obtežbi. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bosiljkov, V., somentor Antolinc, D.): 106 str.

Datum arhiviranja: 17-08-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Strižič, R., 2016. Eksperimentalna analiza obnašanja segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema, izpostavljenega ravninski strižni ciklični obtežbi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bosiljkov, V., co-supervisor Antolinc, D.): 106 pp.

Archiving Date: 17-08-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
ORGANIZACIJSKO
TEHNOLOŠKA SMER

Kandidat:

ROK STRIŽIČ

**EKSPERIMENTALNA ANALIZA OBNAŠANJA
SEGMENTA STEKLENO-ALUMINIJASTEGA
FASADNEGA SISTEMA, IZPOSTAVLJENEGA
RAVNINSKI STRIŽNI CIKLIČNI OBTEŽBI**

Diplomska naloga št.: 3477/OTS

**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF
GLASS-ALUMINIUM FACADE SYSTEM SEGMENT
EXPOSED TO IN PLANE SHEAR CYCLIC LOADING**

Graduation thesis No.: 3477/OTS

Mentor:

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

Somentor:

asist. dr. David Antolinc

Ljubljana, 16. 08. 2016

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica napake

Namesto

Naj bo

Spodaj podpisani študent ROK STRIŽIČ, vpisna številka 26108626, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: EKSPERIMENTALNA ANALIZA OBNAŠANJA SEGMENTA STEKLENO-ALUMINIJASTEGA FASADNEGA SISTEMA, IZPOSTAVLJENEGA RAVNINSKI STRIŽNI CIKLIČNI OBTEŽBI

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 30. 7. 2016

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.041.61:691.6/7(043.2)
Avtor:	Rok Strižič
Mentor:	Izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov
Somentor:	Asist. dr. David Antolinc
Naslov:	Eksperimentalna analiza obnašanja segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema, izpostavljenega ravninski strižni ciklični obtežbi
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	106 str., 4 pregl., 83 sl., 8 en.
Ključne besede:	Steklo, aluminij, aluminijaste fasade, ciklična strižna preiskava

Izvleček

Diplomsko nalogo smo razdelili na posamezne sklope. Najprej smo obdelali steklo in aluminij kot gradbeni material, saj je dobro razumevanje mehanskih lastnosti ter proizvodnih in obdelovalnih možnosti posameznih materialov pogoj za dobro razumevanje fasadnega sistema iz teh materialov. Ko smo osvojili ta znanja, smo lahko s pomočjo tehničnih rešitev izdelovalcev fasadnih sistemov razčlenili in obdelali aluminijaste fasade. Za dobro razumevanje samega sistema sem pridobil tudi vzorec stekleno-aluminijastega fasadnega segmenta. Področje potresno varnih stavb je – predvsem za Slovenijo, ki leži na potresno ogroženem območju – zelo pomemben del projektiranja, zato smo se odločili izvesti ciklične strižne preiskave, ki so nam približale obnašanje takšnega fasadnega segmenta pod vplivom horizontalne obtežbe v njegovi ravnini. Na osnovi eksperimentalno dobljenih rezultatov smo s parametrično analizo izdelali še numerični model enakih dimenzij kot je bil preizkušaneec. Ta je služil za osnovo izdelave numeričnega modela večjih dimenzij, takšnih kot se pojavljajo v realnih fasadnih sistemih. Primerjali smo pomike, dobljene pri eksperimentalni in numerični analizi. Rezultat naših preiskav je odpor konstrukcije, ki jo nudi pri mejnem pomiku. Ugotovili smo, da je togost večje konstrukcije padla, saj smo obravnavali precej višji element; zato so manjši tudi zasuki in posledično notranje obremenitve ter poškodbe elementa.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK:	624.041.61:691.6/7(043.2)
Author:	Rok Strižič
Supevisor:	Assoc. Prof. Vlatko Bosiljkov, Ph. D.
Co- Supevisor:	Asisst. David Antolinc, Ph. D.
Title:	Experimental analysis of behaviour of glass-aluminium facade system segment exposed to in plane shear cyclic loading
Document type:	Graduation Thesis - University studies
Scope and tools:	106 p., 4 tab., 83 fig., 8 eq.
Keywords:	Glass, aluminium, aluminium facade, cyclic shear racking test

Abstract

The graduation thesis is divided into the several parts. First a glass and aluminium were analysed as a construction materials. The detail investigation of mechanical properties, production and treatment possibilities of individual materials is a condition for good understanding of facade system, made from this materials. When we got the knowledge about the materials, we analysed and separated the aluminium facades with a help of tehcnical system solutions, provided by facade system manufacturers. For a good understanding of system behaviour itself, we obtained the sample of glass-aluminium facade segment as well. Field of earthquake resistant building design is for us very important, because Slovenia is on the earthquake hazard area. We decided to do the cyclic shear racking tests, wich will better show the behaviour of facade system under the influence of in plane horizontal loading. On the base of experimental received results, we made a numerical model with the same dimensions, like the specimen. This was used as the basis for numerical modelling of the same system with bigger dimensions, the one that we can find out in real facade systems. We compared the shifts, which we got from experimental and numerical analysis. The results of our investigations is a resistance of structural element by the limited shift. We can conclude, that the rigidity of bigger structural element decreases, because of its enlarged height. The rotations are smaller and cosequently the internal loads and damages of element are smaller as well.

»Ta stran je namenoma prazna«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Vlatku Bosiljkovu in somentorju asist. dr. Davidu Antolincu za vso strokovno pomoč in nasvete pri nastajanju diplomske naloge.

Hvala tudi staršem, bližnjim sorodnikom in prijateljem, ki so me vzpodbujali ter bodrili tekom celotnega študija.

Največja zahvala velja puncu Nataši, ki je potrpežljivo čakala na dan, ko bom študij zaključil tudi jaz, in morala mnogokrat sama poskrbeti za najina sinova Gala in Bora. Skupaj ste bili moja največja motivacija, z mano ste se učili, pisali, včasih tudi trpeli, vendar vam obljubim, da bomo sadove tega vložka časa in energije želi skupaj.

»Ta stran je namenoma prazna«

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
2	STEKLO V GRADBENIŠTVU	2
2.1	Zgodovina stekla	2
2.2	Lastnosti in proizvodnja stekla.....	3
2.2.1	Kemijske lastnosti in proizvodnja stekla.....	3
2.2.2	Fizikalne lastnosti stekla	5
2.3	Uporaba stekla v gradbeništvu	8
2.3.1	Izolacijske zasteklitve	9
2.3.1.1	Toplotnozaščitne zasteklitve	11
2.3.1.2	Sončnozaščitne zasteklitve	13
2.3.1.3	Zvočnozaščitne zasteklitve.....	14
2.3.2	Varnostna stekla	14
2.4	Obdelave in tehnologije izboljšave stekla	16
3	ALUMINIJ	20
3.1	Zgodovina aluminija	20
3.2	Pridobivanje aluminija	20
3.3	Lastnosti aluminija	27
3.4	Uporaba aluminija v gradbeništvu	28
4	ALUMINIJASTE FASADE	31
4.1	Zgodovina aluminijastih fasad	31
4.2	Vrste aluminijastih fasad.....	34
4.2.1	Tipi fasad glede na koncept konstrukcijskega sklopa	35
4.2.1.1	Tople fasade	35
4.2.1.2	Hladne fasade	36
4.2.2	Tipi fasad glede na lego v konstrukciji	39
4.2.2.1	Fasada z etažno višino okenskih sten	39
4.2.2.2	Obešena fasada.....	40

4.2.3	Tipi fasad glede na konstruktivno izvedbo.....	42
4.2.3.1	Steber-prečka fasada	42
4.2.3.2	Element fasada	45
4.2.3.3	Fasadna nadgradnja.....	47
4.2.4	Tipi fasad glede na zunanji videz fasade.....	48
4.2.4.1	Klasična fasada s pokrivnim profilom.....	48
4.2.4.2	Strukturna fasada.....	49
4.2.4.3	Polstrukturna fasada	52
4.3	Sestava aluminijaste fasade.....	53
4.4	Sidranje aluminijastih fasad	56
4.5	Odvodnjavanje in prezračevanje	58
5	EKSPERIMENTALNA ANALIZA SEGMENTA STEKLENO-ALUMINIJASTEGA FASADNEGA SISTEMA	62
5.1	Opis in delavniški načrti preizkušanca.....	62
5.2	Opis preiskave in določitev merskih mest.....	66
5.3	Protokol obremenjevanja.....	69
5.4	Kvazi-statična strižna preiskava in rezultati.....	71
6	NUMERIČNA ANALIZA SEGMENTA STEKLENO-ALUMINIJASTEGA FASADNEGA SISTEMA.....	84
6.1	Zasnova in geometrija numeričnega modela preizkušane vzorca	84
6.2	Rezultati numerične analize modela preizkušane vzorca	90
6.3	Zasnova in geometrija numeričnega modela stekleno-aluminijaste fasade v realnosti.....	95
6.4	Rezultati in komentar numerične analize modela stekleno-aluminijaste fasade v realnosti ..	97
7	ZAKLJUČEK.....	101
	VIRI.....	103
	PRILOGE	

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Mehanske lastnosti stekla (Hajdinjak, 2009: str. 26)	5
Preglednica 2: Linearni koeficient toplotnega prehoda Ψ (W/mK) v odvisnosti od sestavnih delov okna (Hajdinjak, 2009: str. 239)	7
Preglednica 3: Vhodni podatki za protokol.....	70
Preglednica 4: Izvrednotenje parametrov bilinearnega diagrama preizkušanca in njegove duktilnosti	82

Kazalo slik

Slika 1: Shematski prikaz izdelave ploskega stekla z vlečenjem (Žarnić, 2005: str. 69).....	4
Slika 2: Shematski prikaz proizvodnje stekla po float postopku (Hajdinjak, 2009: str. 25)	5
Slika 3: Skupni prehod sončne energije skozi toplotnozaščitno izolacijsko steklo RX WARM ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) podjetja Reflex (Hajdinjak, 2009: str. 64).....	8
Slika 4: Zgodovinski razvoj zasteklitev v odnosu do U_g -vrednosti (povzeto po https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrscheiben-Isolierglas).....	9
Slika 5: Sestava TGI-distančnika (levo) in potek temperature v izolacijskem steklu s TGI-distančnikom (Hajdinjak, 2009: str. 238).....	11
Slika 6: Shema katodne komore, v kateri se z magnetotronskim razprševanjem na steklo nanašajo tanke plasti kovine (Hajdinjak, 2009: str. 92)	12
Slika 7: Prehod energije skozi toplotnozaščitno izolacijsko steklo.....	13
Slika 8: Porušitev navadnega float (levo), termično utrjenega TVG- (sredina) in polno kaljenega stekla (desno) (Haldimann, Luible, Overend, 2008: str. 215)	16
Slika 9: Napetost kaljenega stekla (Hajdinjak, 2009: str. 137)	17
Slika 10: Primerjava razvoja napetosti in razpok v upogibno obremenjeni navadni in kaljeni zasteklitvi (povzeto po Haldimann, Luible, Overend, 2008: str. 10).....	18
Slika 11: Proizvodni proces kaljenja stekla (Hajdinjak, 2009; str. 135)	19
Slika 12: Primarno pridobivanje aluminija (Medved, 2014: str. 27).....	21
Slika 13: Elektrolizna celica (Medved, 2014: str. 42).....	22
Slika 14: Delež porabe aluminijevih zlitin po industrijskih panogah (Medved, 2014: str. 50).....	23
Slika 15: Shema talilne peči za pretaljevanje sekundarnega aluminija (Medved, 2014: str. 52)	26
Slika 16: Primerjalni σ - ε diagram aluminijevih zlitin in jekel v običajni in normalizirani obliki (specifična trdnost) (Žarnić, 2005: str. 169).....	28
Slika 17: Washingtonski spomenik (http://www.destination360.com/north-america/us/washington-dc/washington-monument).....	29
Slika 18: Aluminijasta kupola cerkve San Gioacchino in aluminijaste stopnice v Monadnocku (http://www.twrbifolds.co.uk/timeline-aluminium-building-construction-1800s/)	29
Slika 19: Nebotičnik Seagram Building (1958) v New Yorku arhitekta van der Rohe, kjer fasado zaznamuje črn aluminij in okajeno steklo (http://www.thecityreview.com/park375.html)	31
Slika 20: ALCOA Building (1952) (http://quod.lib.umich.edu/u/ummu/x-05-04345/05_04345).....	32
Slika 21: Mannesmann Hochhaus (1958) (http://paul.schneider-esleben.de/mannesmann).....	33
Slika 22: Metalka (1963) (http://arhitekturni-vodnik.org/?object=126&mode=1).	34
Slika 23: Primer tople fasade (http://www.doernhoefer.de/stahlbau-detail/id/13.html).	36

Slika 24: Sestava hladne fasade (http://www.befestigungsfuchs.de/blog/hinterlueftete-fassade-was-ist-das/).....	37
Slika 25: Vertikalni (levo) in horizontalni (desno) prerez izvedbe hladne (prezračevane) fasade (Reflex mapa: Prezračevane fasade, avgust 2004, str. 10–13).....	38
Slika 26: Hladno-topla fasada (http://www.ecosol.uni-bremen.de/ecosol/cd/t/t_16.htm in http://www.baulinks.de/webplugin/2004/0168.php4).....	39
Slika 27: Fasada okenskih sten (http://gjames.com/facades/window-walls/gallery?display-image=36447).....	40
Slika 28: Primerjava vertikalnih prerezov obešene fasade (levo) in nizov okenskih sten (desno).....	41
Slika 29: Spoj z izrezano horizontalo in T-spojnikom, vijačenim na vertikalo (Prolupin, 2016b).....	43
Slika 30: Sistem montaže posameznih palic steber-prečka fasade (Schüco Elementfassaden Prospekt, 2009: str. 7).....	44
Slika 31: Sistem lestvene montaže steber-prečka fasade (Schüco Elementfassaden Prospekt, 2009: str. 7).....	45
Slika 32: Montaža element fasade (Schüco Elementfassaden Prospekt, 2009: str. 7).....	46
Slika 33: Prerez čez sistem element fasade (Prolupin, 2016a).....	46
Slika 34: Fasadna nadgradnja (Schüco Aufsatzkonstruktionen Prospekt, 2009: str. 3).....	47
Slika 35: Princip pritrdjevanja fasadnega sistema na različne nosilne konstrukcije (Schüco Aufsatzkonstruktionen Prospekt, 07/09).....	48
Slika 36: Klasična aluminijasta fasada s pokrivnim profilom (http://www.akootherm.de/systeme/fassaden/at500cc/ in http://www.sartorius-metalltechnik.de/html/pr-fassade.html).....	49
Slika 37: Strukturna izvedba steber-prečka fasade na objektu Mall of Split.....	50
Slika 38: Klasična strukturna fasada z zamaknjeno zunanjo šipo (Hajdinjak, 2009: str. 199).....	51
Slika 39: Zunanje tesnjenje strukturne fasade in izvedba izolacijskega stekla z distančnikom za strukturne zasteklitve (Prolupin, 2016b).....	52
Slika 40: Polstrukturna fasada (http://www.darrigoinfissi.it/infissi_in_alluminio/aluk/aw3_sistema_facciate_continue_verticali_isolate_a_taglio_termico.html).....	53
Slika 41: Primer vgradnje steklopanela (Prolupin, 2016b).....	54
Slika 42: Sestavni deli tipičnega sistema aluminijaste fasade (http://www.akootherm.de/systeme/fassaden/at500cc/).....	55
Slika 43: Različni načini odpiranja oken v fasadi: a) vzporedno, b) RWA-nagibno, c) sredinsko vrtljivo in d) nagibno odpiranje spodaj (https://www.schueco.com/web2/de/architekten/produkte) ...	56
Slika 44: Sidranje element fasade (Prolupin, 2016a).....	57
Slika 45: Prikaz obeh osnovnih vrst sider (levo) in izvedba konzolnega sidranja steber-prečka fasade (Prolupin, 2016b).....	58
Slika 46: Nivoji steber-prečka fasade (Prolupin, 2016b).....	59

Slika 47: Izvedba spoja steber-prečka fasade (Prolupin, 2016b)	60
Slika 48: Izvedba odvodnjavanja stebra s kondečnikom in preklopom (Prolupin, 2016b).....	61
Slika 49: 1 – Falkensteiner Beograd; 2 – Mall of Split; 3 – Meridijan 16° Zagreb; 4 – West Gate Split	63
Slika 50: Montažna shema preizkušanca.....	64
Slika 51: Obravnavani preizkušanec stekleno-aluminijastega fasadnega sistema	65
Slika 52: Objemno sidro (levo) in uporabljeno natično sidro (desno)	66
Slika 53: Preizkuševalni okvir z vpetim preizkušancem za kvazi-statični strižni preizkus.	68
Slika 54: Merilna mesta obravnavanega preizkušanca (pogled od zadaj).....	69
Slika 55: Protokol obremenjevanja	70
Slika 56: Graf sile v odvisnosti od časa.	71
Slika 57: Odpiranje stikov na vzorcu pri deveti amplitudi.....	72
Slika 58: Deformacije na sidrih.....	73
Slika 59: Poves horizontalnih profilov	74
Slika 60: Vzorec med zadnjo amplitudo pomika	75
Slika 61: Histerezni odziv vzorca za pomik diagonale, izmerjen z LVDT2	76
Slika 62: Histerezni odziv vzorca za horizontalni pomik, izmerjen z LVDT1	77
Slika 63: Časovni razvoj vertikalnega pomika, izmerjen z LVDT3	78
Slika 64: Časovni razvoj pomika induktivnega mesta LVDT4.....	79
Slika 65: Disipacija energije	80
Slika 66: Parametri za izvednotenje bilinearnega diagrama (Antolinc, 2014: str. 107).....	81
Slika 67: Ekvivalentni bilinearni diagram.....	81
Slika 68: Upadanje pozitivnih in negativnih togosti.	83
Slika 69: Karakteristike prereza vzorca fasade	85
Slika 70: Geometrijska zasnova modela za preizkušani vzorec	86
Slika 71: Detajlnjši pogled na mrežo končnih elementov ob spodnjih vpetih točkah modela: detajl D1 (zgoraj) in D2(spodaj)	87
Slika 72: Detajlnjši pogled na mrežo končnih elementov v zgornjih točkah modela: detajl D3 (zgoraj) in D4 (spodaj).....	88
Slika 73: Nadomestne materialne karakteristike okvirja numeričnega modela	89
Slika 74: Nadomestne materialne karakteristike polnila numeričnega modela.....	90
Slika 75: Graf horizontalnega pomika U1-modela ter pomiki in zasuki zgornje desne točke ob horizontalni obtežbi 10,61 kN.....	91
Slika 76: Primerjava grafa horizontalna sila (F) in pomik etaže na LVDT1 (d) eksperimentalne in numerične analize.....	92
Slika 77: Razporeditev napetosti S12 ob horizontalni obtežbi 10,61 kN numeričnega modela.....	93

Slika 78: Razporeditev napetosti S11 ob horizontalni obtežbi 10,61 kN numeričnega modela.....	94
Slika 79: Razporeditev napetosti S22 ob horizontalni obtežbi 10,61 kN numeričnega modela.....	94
Slika 80: Numerični model fasade v realnosti.....	96
Slika 81: Horizontalni pomik numeričnega modela pri horizontalni obtežbi $F = 2,38$ kN	97
Slika 82: Graf horizontalna sila/etažni pomik na LVDT1 eksperimentalnega vzorca in obeh numeričnih modelov.....	98
Slika 83: Rotacije konstrukcije	99

SEZNAM PRILOG

A SESTAVNICA IN NAČRTI STEKLENO-ALUMINIJASTEGA PREIZKUŠANCA

A.1 Kratka oblika sestavnice (izpis iz programa SchüCal)

A.2 Delavniški načrti preizkušanca

1 UVOD

Že dve leti si nabiram izkušnje v podjetju, ki se ukvarja s projektiranjem fasadnih sistemov, zato sem želel rdečo nit diplomske naloge poiskati v svojem delu in pridobljeno znanje uporabiti na nadaljnji poklicni poti. V omenjenem podjetju projektiramo in pripravljamo delavniško dokumentacijo za prezračevane aluminijaste fasadne sisteme (Trimo, Alucobond, Trespa, ABET ipd.), aluminijasta in PVC-okna in vrata ter aluminijaste steklene fasade. Prav slednje so eden izmed najpogostejših fasadnih sistemov, predvsem na poslovnih stavbah. V privatni sferi se zaradi svoje cene pojavljajo večinoma le kot razni zimski vrtovi. Izmed zgoraj naštetih fasadnih sistemov so aluminijaste steklene fasade tudi najzahtevnejše za načrtovanje in izdelavo vseh detajlov in delavniških načrtov. Moj izziv je, da svoje znanje poglobim ravno v stvareh, kjer ga je potrebno največ in kjer je najkompleksnejše. Žal stanje v slovenskem gradbeništvu in gospodarstvu trenutno ne ponuja veliko možnosti za izkazovanje tega znanja, saj so takšni projekti velik investicijski oziroma finančni zalogaj, toda naše podjetje stremi k tujini ali vsaj k investitorjem/izvajalcem, ki želijo (ali so morda zgolj primorani) svoje posle izvesti v tujini. Tujina pa velikokrat narekuje trende, ki se s časovnim zamikom začenjajo uveljavljati tudi v Sloveniji. Tuje študije kažejo, da je 40 % porabe energije po svetu v grajenem okolju. Trajnostni razvoj ravno zato teži h grajenju energijsko učinkovitih in s tem tudi okolju in človeku prijaznih stavb (manj stroškov, emisij in konzervativnih virov ter visoko udobje uporabnikov). Fasade iz aluminija in stekla so zaradi lastnosti uporabljenih materialov ene najprimernejših in najpogosteje uporabljenih fasadnih sistemov.

Diplomsko nalogo smo razdelili na posamezne sklope. Najprej smo obdelali steklo in aluminij kot gradbeni material, saj je dobro razumevanje mehanskih lastnosti ter proizvodnih in obdelovalnih možnosti posameznih materialov pogoj za dobro razumevanje fasadnega sistema iz teh materialov. Ko smo osvojili ta znanja, smo lahko s pomočjo tehničnih rešitev izdelovalcev fasadnih sistemov razčlenili in obdelali aluminijaste fasade. Za dobro razumevanje samega sistema sem v podjetju Reflex d. o. o. pridobil tudi vzorec stekleno-aluminijastega fasadnega segmenta. Področje potresno varnih stavb je – predvsem za Slovenijo, ki celotna leži na potresno ogroženem območju – zelo pomemben del projektiranja, zato smo se odločili izvesti ciklične strižne preiskave, ki so nam približale obnašanje takšnega segmenta pod vplivom horizontalne obtežbe v njegovi ravnini. Na osnovi dobljenih rezultatov smo nato izdelali še numerični model in simulacijo obnašanja fasadnega segmenta realnih dimenzij. Primerjali smo pomike in določili odpor konstrukcije primejnemu pomiku po zahtevah standarda *Evrokod 8*.

2 STEKLO V GRADBENIŠTVU

2.1 Zgodovina stekla

Naravno steklo je v naravi prisotno že od nekdaj. Nastajalo je ob naravnih pojavih, kot so vulkanski izbruhi, udarci strele ali trčenje meteoritov, pri čemer so se kamnine zaradi visokih temperatur stopile, nato pa hitro ohladile in strdile. Po mnenju mnogih zgodovinarjev naj bi na območju današnje Sirije začeli steklo uporabljati že leta 5000 pred našim štetjem. Prvi umetni izdelki iz stekla, ki so jih našli v Mezopotamiji, naj bi segali v leto 4000 pred našim štetjem. Takrat so steklo, ki je bilo obarvano, motno in neprozorno, uporabljali v glavnem za posode, steklenice in nakit.

V drugem stoletju pred našim štetjem so Feničani odkrili, da je s pihanjem mogoče oblikovati steklo na različne načine. Ta tehnika se je zelo razširila in postala najpomembnejša. Izdelava stekla je potekala tako, da je pihalec (približno) 1,5 m dolgo steklarsko cev, ki je imela na enem koncu okroglo zadebelitev, pomočil v tekoče steklo ter z enakomernim pihanjem in vrtenjem cevi prišel do oblike steklenega balona. Z vpihovanjem v kalupe so nato lahko izdelovali celo serijo enakih izdelkov.

Rimljani so prvi izdelovali razmeroma čisto steklo. Z valjanjem so ga raztegovali v ravne steklene plošče, vendar takšno steklo še ni bilo primerno za zasteklitev oken. Po propadu Rimskega imperija se je razvoj stekla nadaljeval na območju Bizanca. Bizantinski mojstri so pričeli izdelovati barvano prozorno steklo za zasteklitve na cerkvah. Istočasno je razvoj potekal tudi v nekaterih manjših steklarskih središčih v Nemčiji, Angliji, Franciji in na Češkem.

Po križarskih vojnah, ko je prišlo do selitve obrti nazaj v Evropo, se je izdelava stekla preselila v Benetke. Tam je doživela razcvet okrog leta 1500. V 16. stoletju so na Češkem izdelali popolnoma prozorno in brezbarvno steklo, čemur je sledila izdelava mikroskopa in teleskopa, kar pa je privedlo do velikega razcveta razvoja in znanosti. Kristalno steklo, ki je bilo izdelano s pomočjo svinčevega oksida in je bilo lažje za oblikovanje in površinsko obdelavo, je leta 1675 iznašel George Ravenscroft. Francozi so izpopolnili izdelavo ravnega stekla tako, da so ga ravnali z valji, nato pa zaradi neravne površine ročno brusili in polirali. Leta 1905 je ameriški inženir Libbey-Owens patentiral postopek za neposredno vlečenje steklenih trakov iz peči in hlajenje le-teh z vodno prho. Po drugi svetovni vojni, v petdesetih letih prejšnjega stoletja, pa so v britanski tovarni Pilkington Brothers ustvarili najpomembnejši kontinuirani postopek izdelave ploskega stekla, »plavajoči« postopek. Tako pridobljeno steklo imenujemo zrcalno ali float steklo, ki ima odlične optične lastnosti, saj sta obe površini stekla popolnoma ravni in brez napak. Na tak način izdelano float steklo je še danes osnova za vse zasteklitve. (Žarnić, 2005)

2.2 Lastnosti in proizvodnja stekla

2.2.1 Kemijske lastnosti in proizvodnja stekla

Steklo je amorfna snov, ki nastane s hlajenjem in strjevanjem taline brez kristalizacije. Je superviskozna tekočina, ki sestoji predvsem iz kremna in enega ali več kovinskih oksidov. Zaradi amorfne zgradbe je značilno prozorno in svetlikavo. Ojačamo ga lahko z vstavljanjem kovinskih mrežic, polimernih folij ali toplotno in kemično obdelavo. V splošnem lahko rečemo, da je steklo podhlajena tekočina ali talina, ki je produkt anorganskih spojin.

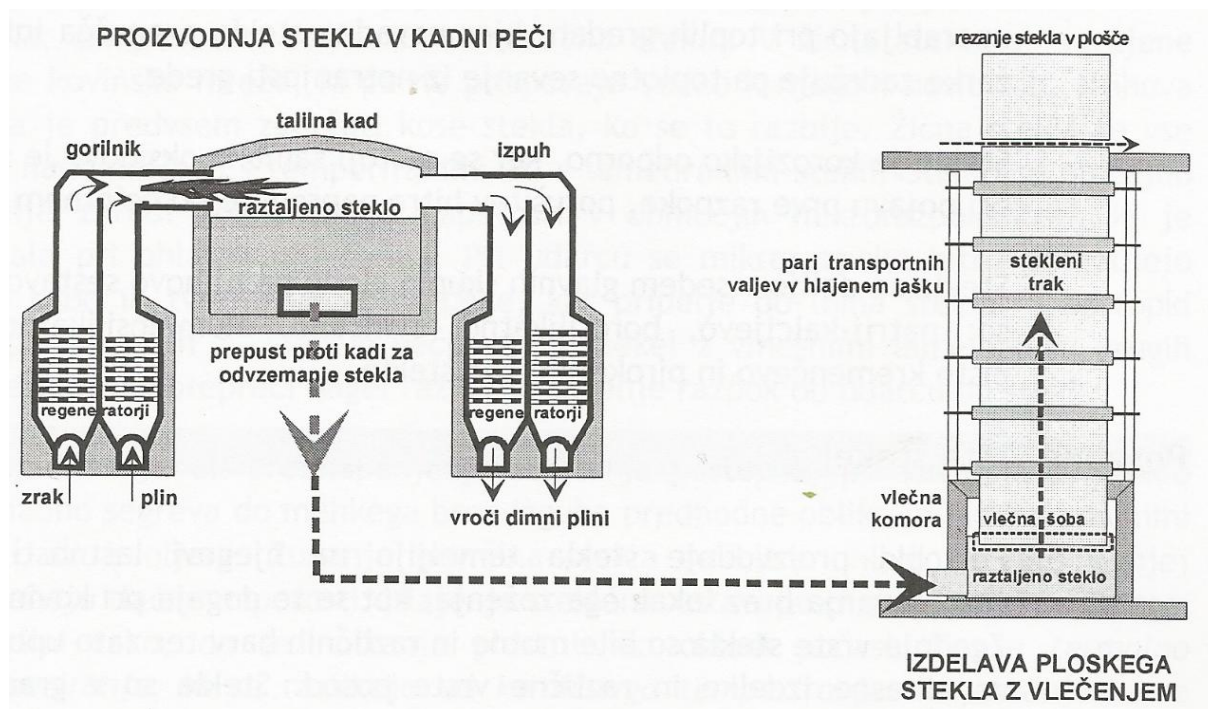
Osnovna surovina proizvodnje stekla je kremenov pesek, tj. silicijev dioksid (SiO_2). Najbolj kakovostna stekla so narejena iz čistega kremenca, običajno okensko steklo pa sestoji iz kremenovega peska (SiO_2), apnenca (CaCO_3) in sode (Na_2CO_3). Značilno mešanico za izdelavo stekla pripravimo iz 74 % kremenca, 12 % sode, 8 % apna in 6 % drugih snovi, zaradi katerih ima steklo posebne lastnosti, kot so stabilnost, barvitost, žarčenje ipd.

Glede na kemijsko sestavo ločimo:

- kremenovo,
- čisto kremenovo,
- natrij-kalcijevo,
- borosilikatno,
- svinčeno,
- aluminosilikatno,
- pirokeramično steklo.

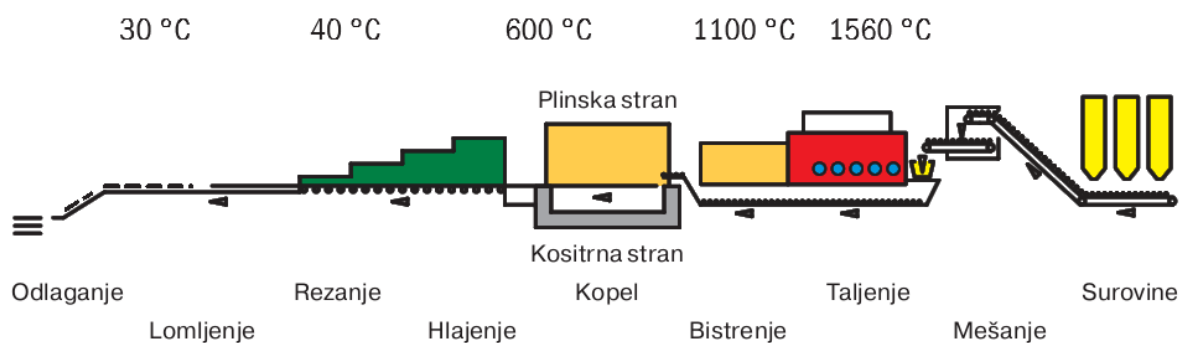
Prvotno steklo so izdelovali pri temperaturi $1600\text{ }^\circ\text{C}$, pri kateri se kremen tali. Ker so ioni in molekule v steklu razmeroma neurejeni in tališčeni točno določeno, je taljenje odvisno od sestave stekla in se razteza med 500 in $1650\text{ }^\circ\text{C}$. Ugotovitev, da soda in kremen bistveno znižujeta tališče zmesi, je pripeljala do velikega napredka tehnologije. Manjše steklene proizvode, ki tehtajo od 100 g do 2 toni, proizvajajo tako, da zdrobljene surovine, tudi odpadno steklo, mešajo v suhem stanju in jih po tem talijo v talilnikih iz žaroodporne keramike do $1600\text{ }^\circ\text{C}$, v katerih se razplinijo. Nato talino zbistrijo pri 1300 – $1600\text{ }^\circ\text{C}$. Na tak način pridelujejo barvna, laboratorijska, optična in kristalna stekla. Staljeno steklo do teže 120 ton pripravljajo v kadnih pečeh za množično proizvodnjo steklenih izdelkov s kontinuiranim dodajanjem surovin, taljenjem, bistenjem in odzemanjem taline. (Žarnić, 2005)

Klasična proizvodnja ploskega stekla poteka z vlečenjem delno ohlajene steklene mase skozi zaporedno nameščen sistem valjev (Slika 1). Zaradi številnih optičnih pomanjkljivosti, ki nastanejo pri postopku vlečenja stekla, to metodo danes nadomešča sodobnejša tehnologija float stekla, ki obsega 90% svetovne proizvodnje stekla.



Slika 1: Shematski prikaz izdelave ploskega stekla z vlečenjem (Žarnič, 2005: str. 69)

Proizvodnja float stekla (Slika 2) je v celoti avtomatiziran proces doziranja in mešanja surovin, potrebnih za izdelavo stekla. V prvem delu talilne peči se surovine pri temperaturi 1600 °C stalijo. V zadnjem delu peči, kjer je temperatura približno 1100 °C, pa se steklena talina zbistri. Na tak način odstranimo mehurčke plina in talino homogeniziramo. Nato talino prelijemo v kad s tekočim kositrom, v kateri steklo zaradi manjše gostote plava na površini. Sledi potovanje stekla v kopel, pri čemer je njegova temperatura 1000 °C, pri izstopu pa le še 500 °C. Hkrati se s plamenskimi poliranjem obdela tudi zgornja stran steklenega traku tako, da se obe površini zgladita – spodnja zaradi gibanja na kositru, zgornja pa zaradi grelnikov, nameščenih nad površino stekla. Nato sledi hladni kanal, v katerem se steklu zniža temperatura na 250 °C, počasno ohlajanje pa se nadaljuje še na prostem. Zaradi notranjih napetosti je potrebno ohlajanje stekla na prostem nadzorovati. Steklenemu traku tako odrežemo robove; ko pa doseže temperaturo okolice, steklo prerežemo še prečno na standardne plošče. (Grobvšek, 2015)



Slika 2: Shematski prikaz proizvodnje stekla po float postopku (Hajdinjak, 2009: str. 25)

2.2.2 Fizikalne lastnosti stekla

Steklo, ki ni lepljeno ali kako drugače obdelano, je sicer krhko in lomljivo, vendar doseže veliko tlačno trdnost, tudi do 30-krat večjo kot beton ali kamen (do 1000 MPa). Njegova natezna trdnost je teoretično določena pri približno 32 GPa, vendar zaradi mikrorazpok – človeškemu očesu niti ne nujno vidnih – na površju stekla tega v praksi ni mogoče doseči. Tako se vrednost natezne trdnosti v odvisnosti od mehanskih napak giblje med 30 in 50 MPa, pri primerno obdelanem steklu tudi do 70 MPa. Povprečna gostota stekla je približno $2,5 \text{ t/m}^3$, elastični modul pa približno $7 \times 10^{10} \text{ Pa}$.

Preglednica 1: Mehanske lastnosti stekla (Hajdinjak, 2009: str. 26)

Lastnosti	Simbol	Vrednost in enota
Gostota	ρ	$2\,500 \text{ kg/m}^3$
Trdota		6. stopnja po Mohsu
Elastični modul	E	$7 \times 10^{10} \text{ Pa}$
Poissonovo število	μ	0,23
Koeficient toplotnega prehoda (float 5mm)	U	$5,80 \text{ W/m}^2\text{-K}$
Specifična toplotna konstanta	c	$0,72 \times 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Linearni toplotni razteznostni koeficient (med $20 \text{ }^\circ\text{C}$ in $300 \text{ }^\circ\text{C}$)	α	$9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Toplotna prevodnost	λ	$1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Srednji lomni količnik za vidno svetlobo (380 do 780 nm)	c	1,5

Steklo je odporno proti mnogim kemikalijam, je dober električni izolator in relativno slab toplotni izolator, s toplotno prevodnostjo približno $0,8 \text{ W/mK}$, kar je enako toplotni prevodnosti klasične opeke. Koeficient toplotnega prehoda za enojno steklo debeline 5 mm je $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Steklo s svojimi lastnostmi omogoča prepuščanje sončnega sevanja v prostor, hkrati pa zunanjim vplivom atmosfere (vetru, dežju, snegu, toplemu/hladnemu zraku) preprečuje, da bi prodrli neposredno vanj. Steklene

površine omogočajo pasivni zajem sončne energije po principu tople grede. Steklo prepušča valovne dolžine sončnega sevanja ($0,3 < \lambda < 3,0 \mu\text{m}$) in je nepropustno za valovne dolžine IR-toplotnega sevanja, ki ga oddajajo telesa v prostoru. Skoraj polovico energijskega toka sonce oddaja pri valovnih dolžinah v vidnem delu spektra, preostanek pa kot toplotno in UV-sevanje. Telesa, segreta na sobno temperaturo, sevajo v območju dolgovalovnega IR-dela spektra. Steklo toplotno sevanje večjih valovnih dolžin absorbira, zato se segreje in to toploto nato oddaja nazaj v okolico, kar je pomembna prednost stekla kot gradbenega materiala, saj lahko vplivamo na veliko njegovih lastnosti. Tako lahko s tankimi kovinskimi nanosi povzročimo odboj toplotnega sevanja na površini stekla in s tem toplotne izgube. Zasteklitve je največkrat sestavljena kot sistem več slojev stekla, med katerimi je medsteklitveni prostor največkrat napolnjen s plinom. Z različno sestavo zasteklitve želimo zadovoljiti zahteve po toplotni in zvočni izolativnosti, dotoku sončne svetlobe in sevanju v prostore ter primernemu prezračevanju le-teh. V okviru teh zahtev so pomembne naslednje karakteristične vrednosti stekla:

- U-vrednost (toplotna prehodnost),
- G-vrednost (sončni faktor),
- transmisija LT (prepustnost svetlobe).

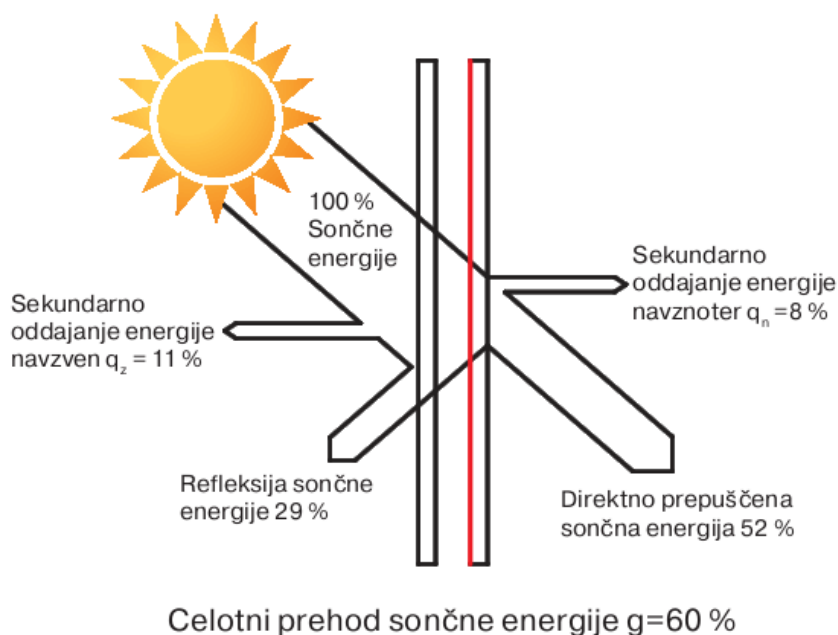
U-vrednost označuje toplotno prehodnost zasteklitve in s tem vrednoti toplotne izgube gradbenega elementa. Predstavlja količino toplotne energije, ki se v določenem času in ob temperaturni razliki 1 K (med zunanjo in notranjo površino) izgubi skozi površino stekla 1 m^2 . Fizikalna enota U-vrednosti je $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Prehod toplotnega toka je posledica treh mehanizmov toplote: prevoda, konvekcije in sevanja. Čim manjša je U-vrednost, tem boljše so toplotnoizolativne karakteristike stekla. Enojno steklo debeline 5 mm ima U-vrednost $5,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Prve izolacijske zasteklitve, polnjene z zrakom, so imele to vrednost okoli $3,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, novejšje imajo že $1,3\text{--}1,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, toplotnozaščitne zasteklitve pa že $1,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ in manj (odvisno od medsteklitvenega prostora, vrste plina, števila stekel v zasteklitvi in nanosov na njej). Pomembno je, da za določitev verodostojnih U-vrednosti upoštevamo linearni koeficient toplotnega prehoda Ψ , ki določa toplotne mostove pri posameznih delih gradbenega elementa. V Preglednici 2 je prikazan vpliv različnih materialov, ki sestavljajo okvir, sestave izolacijskega stekla in sistema robnega tesnjenja na linearni koeficient toplotnega prehoda Ψ skozi okenski element (U_w). Primerjani so distančniki iz aluminija, nerjavečega jekla (Nirotec 017), kombinacije umetnih mas in kovinskih prevlek (TGI) ter plastike (TPS).

Preglednica 2: Linearni koeficient toplotnega prehoda Ψ (W/mK) v odvisnosti od sestavnih delov okna (Hajdinjak, 2009: str. 239)

Material okvirja	Sestava izolacijskega stekla	U_g	Robno tesnjenje oziroma distančnik			
			Aluminij	Nirotec 017*	TGI	TPS
		W/m ² K	W/mK	W/mK	W/mK	W/mK
Kovina s termično ločitvijo	Dvoslojno	1,1	0,108	0,068	0,056	0,047
	Troslojno	0,7	0,111	0,063	0,051	0,042
Umetni material	Dvoslojno	1,1	0,067	0,051	0,044	0,039
	Troslojno	0,7	0,070	0,048	0,041	0,037
Les	Dvoslojno	1,1	0,068	0,053	0,044	0,038
	Troslojno	0,7	0,074	0,053	0,043	0,037
Les / kovina	Dvoslojno	1,1	0,073	0,058	0,049	0,042
	Troslojno	0,7	0,079	0,058	0,047	0,040

* Distančnik iz nerjavečega jekla
Vir: Bundesverband Flachglas, Troisdorf, Delovna skupina »Topli rob«

Vrednost g (v tuji literaturi tudi SF – sončni faktor) v procentih izraža delež skupnega prehoda sončne energije skozi telo (Slika 3), upoštevajoč celotni sončni spekter (300–2500 nm). Obsevano steklo del sončne energije odbije (refleksija energije – ER), del je sprejme (absorpcija energije – EA), preostanek pa direktno prehaja skozenj (transmisija energije – ET). Absorbirana energija ogreje steklo, kar jo nato deloma odda navzven (q_z) in deloma navznoter (q_n). Tako ima enojno steklo vrednost g do 87 %, izolacijsko steklo do 70 % in toplotnozaščitno steklo do 60 %. Vrednost g -faktorja se torej z različnimi nanosi zmanjša, kar je pomembno predvsem pri poslovnih stavbah, medtem ko individualne zgradbe stremijo k nasprotnemu učinku, saj višja g -vrednost predstavlja znižanje stroškov ogrevanja (pasivno ogrevanje prostorov).



Slika 3: Skupni prehod sončne energije skozi toplotnozaščitno izolacijsko steklo RX WARM ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) podjetja Reflex (Hajdinjak, 2009: str. 64)

Stopnja prepustnosti svetlobe LT (transmisija) je prav tako definirana v %. Pove nam, koliko odstotkov vidnega dela sončnega sevanja (380–780 nm) prodre skozi določeno steklo. Odvisna je od debeline stekla, njegove kemijske sestave in lastnosti morebitnih nanosov. Za ljudi je prav gotovo najprijetnejša naravna svetloba, ki je tudi bolj ekonomična od umetnih osvetlitev, vendar jo je v vsakem primeru potrebno prilagoditi namembnosti objekta, njegovi okolici in predpisom (npr. osvetljenosti na delovnem mestu).

Steklo je dober toplotni in električni izolator, nima nobenega vonja in se zaradi gladke površine lahko čisti. Odporno je na večino kislin, topil in drugih agresivnih kemikalij. (Hajdinjak, 2009)

2.3 Uporaba stekla v gradbeništvu

V gradbeništvu se uporabljajo predvsem natrij-kalcijeva stekla. Glede na način izdelave ločimo naslednje vrste stekla:

- plosko steklo (izdelava z vlečenjem),
- plosko float steklo (postopek izdelave s plavajočo talino),
- plosko steklo in profili iz stekla (vlivanje – valjanje),
- izdelki: stekleni votlaki, stekleni strešniki in pohodne talne plošče (stiskanje),
- steklena in mineralna vlakna, stekleni voal, polst ter plošče (pihanje – vrtenje),
- penjeno steklo: plošče, bloki ter granulati za lahki beton, malte in omete (penjenje). (Grobovšek, 2015)

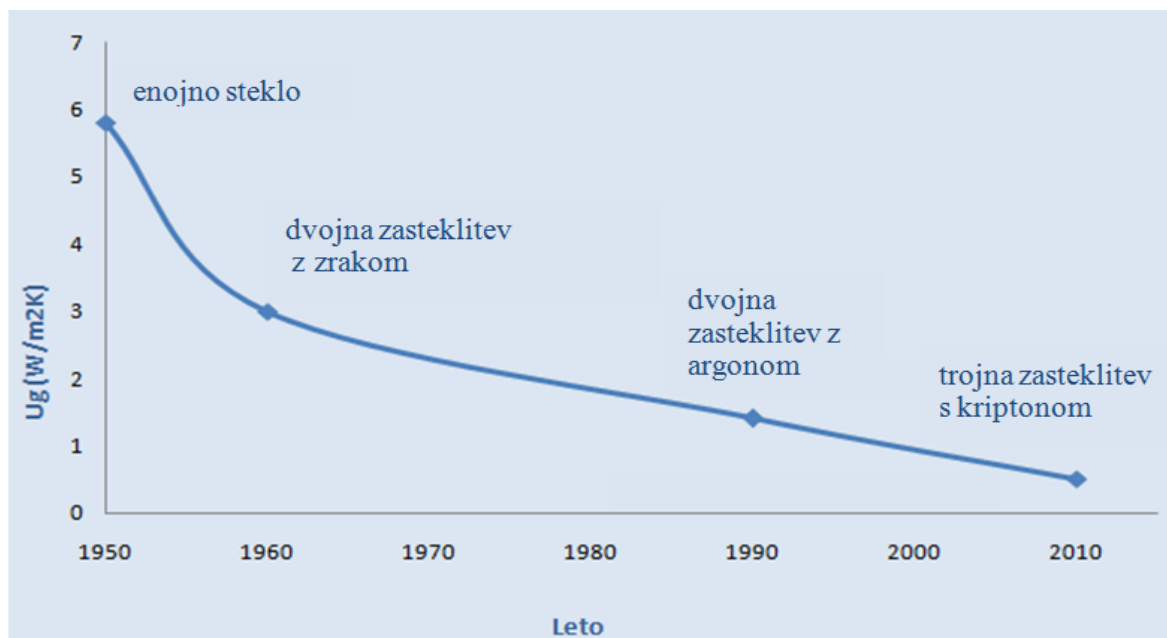
Osnova večine stekel v gradbeništvu je float steklo. Debelina float stekla je od 2 do 19 mm. Med proizvodnjo ga je mogoče obarvati, s čimer se spremeni transmisija stekla.

Glede na namen uporabe ločimo dve osnovni vrsti stekla:

- izolacijsko steklo – zmanjšuje prehod toplote, sončnega sevanja in zvoka,
- varnostno steklo – nudi večjo trdnost pri uporabi in varnost v primeru požara. (Haldimann, Luible, Overend, 2008)

2.3.1 Izolacijske zasteklitve

Izdelovalci oken so nekje od leta 1950 ubrali pristop zastekljevanja z dvema ločenima enojnima stekloma. Prve izolacijske zasteklitve so se pojavile šele po letu 1975. Sestavljene so bile iz dveh ali več stekel, ki jih je ločeval medsteklitveni prostor (MSP). Včasih je bil v njem le suh zrak (za ta stekla se je uveljavil izraz »*thermopane*«), s čimer je steklo dosegalo $U_g = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Z novejšimi tehnologijami in materiali ter vedno ostrejšimi zahtevami trajnostnega razvoja se je v zadnjih desetletjih ta vrednost zmanjšala za več kot 7-krat. Za izboljšanje toplotnoizolativnih lastnosti poskrbijo različni nanosi kovin in kovinskih oksidov na steklih, polnjenje MSP z žlahtnimi plini in kvalitetno tesnjenje MSP.

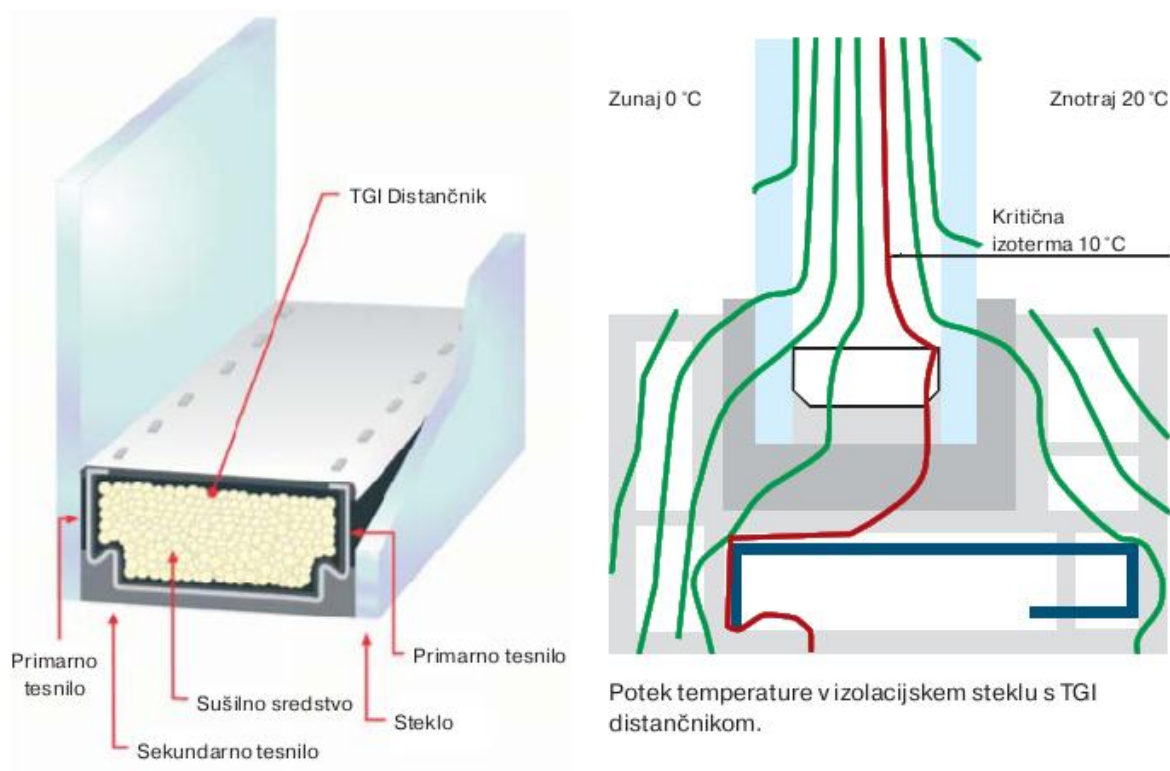


Slika 4: Zgodovinski razvoj zasteklitve v odnosu do U_g -vrednosti (povzeto po <https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrscheiben-Isolierglas>)

Življenjska doba izolacijske zasteklitve je odvisna od kakovosti spajanja steklenih robov. Danes spajamo izključno z dvostopenjskim tesnjenjem, saj takšna stekla dosegajo minimalno 25 let

življenjske dobe. Gre za sistem, kjer na perforirani, s sušilnim sredstvom napolnjeni, distančni okvir nanese trajno elastično notranje tesnilo iz ekstrudiranega butilnega traku, ki deluje kot zapora za vodno paro in plin. Naloga tega traku je preprečiti vstop kondenza v MSP in uhajanje plina iz MSP. Nanašamo ga na obe stranski ploskvi distančnega okvirja. Po sestavi obeh stekel in okvirja fugo za distančnikom napolnimo s trajno elastičnim kitom na osnovi polisulfidov. S kitom prekrijemo tako hrbet distančnika (vsaj 3 mm) kot oba robova stekla. Tudi ta tesnitev ima dve nalogi: ustvari trajni fizični robni spoj obeh stekel in jih poveže ter element hermetično zapre, s čimer ščiti MSP pred vdirajočo vodno paro in uhajanjem plina. Tak polisulfidni spoj je trajno elastičen, sposoben prevzeti napetosti in zmanjšati deformacije, ki se pojavijo zaradi striga, obtežbe vetra in temperaturnih nihanj. V zadnjem času se kovinski distančnik vse pogosteje zamenjuje in izdeluje iz termoplastičnih materialov, saj le-ti predstavljajo manjše toplotne mostove in s tem boljše robno tesnjenje ter manjše toplotne izgube. Notranjost votlega distančnika s perforirano zgornjo stranjo je napolnjena z visoko aktivnim sušilnim sredstvom, ki takoj po sestavi zagotovi točko rosišča v MSP na $T_r = -60$ °C.

Sodobna izolacijska zasteklitev ima robno tesnjenje iz aluminijastega distančnika in tesnil. Toplotna prevodnost aluminija je za razliko od ostalih materialov v zasteklitvi mnogo večja (npr. aluminij 200 W/mK, zračna plast 0,057 W/mK, tesnila 0,23 W/mK, PVC 0,19 W/mK, jeklo 60W/mK ...), iz česar lahko sklepamo, da skozi robni del zasteklitve, katerega vplivno območje distančnika sega nekje 15 cm proti sredini stekla, steče veliko večji toplotni tok in pojavijo se toplotni mostovi. To pomeni, da so temperature stekla v robni coni veliko nižje, saj steče skozi veliko večji toplotni tok, zato se pri posebno neugodnih razmerah nizkih temperatur in visoke vlažnosti lahko dodatno pojavi še kondenzacija vodne pare v robnem območju. To lahko povzroči nastanek plesni, škodo na oknih in posledično poslabšanja kvalitete bivanja. Sama formula za izračun toplotnega prehoda skozi okno zato zajema problematiko toplotnih mostov s faktorjem linearnega toplotnega prehoda Ψ , ki je v največji meri odvisen od materiala, iz katerega je distančnik izdelan. Zahteve za izboljšano robno tesnjenje izpolnjujejo skoraj vsi distančniki, razen aluminijasti. V praksi (podjetje Reflex d. o. o.) za zasteklitve s toplim robom največ uporabljamo distančnik nemških proizvajalcev TGI. Gre za distančnik, izdelan iz obstojne umetne mase, ki je na bokih in hrbtu prevlečen s tanko folijo iz nerjavnega jekla (Slika 5). Nizka toplotna prevodnost umetne mase prepreči nastanek toplotnih mostov, medtem ko kovinska prevleka zagotavlja dobro tesnjenje med profilom in steklom ter preprečuje izhajanje žlahtnih plinov iz MSP.



Slika 5: Sestava TGI-distančnika (levo) in potek izoterm v izolacijskem steklu s TGI-distančnikom (Hajdinjak, 2009: str. 238)

Izolacijske zasteklitve uvrščamo v tri osnovne skupine:

- toplotnozaščitna zasteklitve,
- sončnozaščitna zasteklitve,
- zvočnozaščitna zasteklitve.

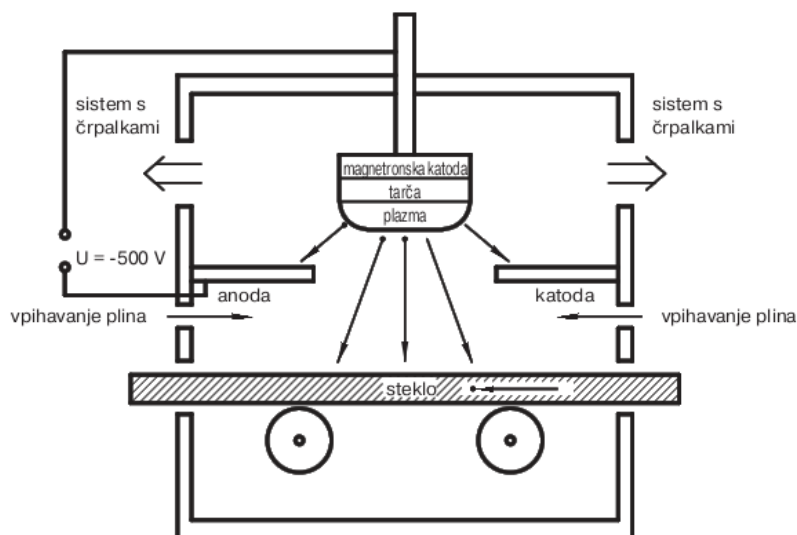
2.3.1.1 Toplotnozaščitne zasteklitve

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES) določa dovoljene toplotne prehodnosti skozi steklo. Visokokakovostne toplotnozaščitne izolacijske zasteklitve, ki ustrezajo sodobnim zahtevam po smotni rabi energije in varovanju okolja, imajo naslednje lastnosti:

- koeficient toplotne prehodnosti $U_g < 1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- prepustnost sončne energije $g > 50 \%$,
- barvna reprodukcija $> 97 \%$,
- prepustnost svetlobe $LT > 70 \%$.

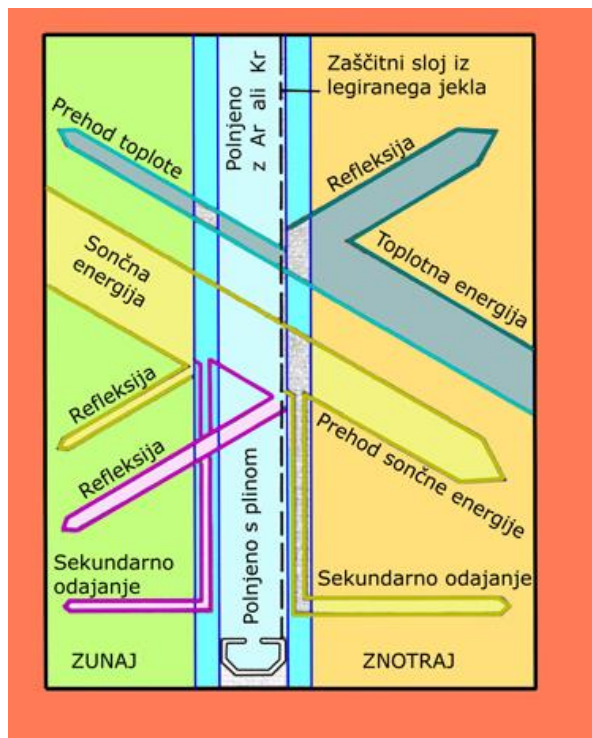
Toplotna prehodnost zasteklitve je v glavnem odvisna od širine MSP, manj pa od debeline posamičnih stekel v sestavi. Takšne zasteklitve imajo v MSP žlahtne pline (argon, ksenon, kripton ali mešanice kripton-argon in ksenon-argon), na zunanji strani notranjega stekla pa nizkoemisijski nanos, sestavljen iz različnih plasti (»coating«). Prva plast na steklu zagotavlja dobro sprijemnost med steklom in

celotnim nanosom. Tej plasti sledi funkcionalna plast, tj. reflektor iz srebra, ki v celoti odbija dolgovalovno toplotno sevanje. Atmosferski vplivi ogrožajo srebro (nevarnost oksidacije), zato je nanj nanešena zaščitna plast, ki ji sledi še zadnja prekrivna plast. Za selektivno delovanje posameznih plasti morajo biti le-te nanesene v točno določenih debelinah. Novejše tehnologije uporabljajo mehak toplotnozaščitni nanos, medtem ko so še nekaj let nazaj uporabljali trde nanose slabše kvalitete (*»hardcoatedglass«*).



Slika 6: Shema katodne komore, v kateri se z magnetotronskim razprševanjem na steklo nanašajo tanke plasti kovine (Hajdinjak, 2009: str. 92)

Z eksperimenti je bilo ugotovljeno, da običajno okensko steklo toplotnega sevanja ne reflektira, ampak absorbira. Posledica tega je segretje stekla in oddajanje toplote nazaj v okolico. To pomeni, da se pri večplastni zasteklitvi zmanjša prepustnost za sončno sevanje (pozimi predstavlja zajem sončne svetlobe pomemben prispevek k toplotni bilanci stavbe), medtem ko se toplotna izolativnost poveča. Negativna stran večplastne zasteklitve je tudi zmanjšanje vidnega dela spektra. Strokovnjaki ugotavljajo, da predstavlja sevalni tok kar $2/3$ toplotnih izgub, zato je šel razvoj v korak z nizkoemisijskimi nanosi (Low-e). Dvoplastna izolacijska zasteklitev brez nanosov lahko z emisijo odda približno 85 % prejete toplote, medtem ko enaka zasteklitev z nizkoemisijskim nanosom zmanjša svojo emisijsko sposobnost na zgolj 3 %. Če v toplotnozaščitnem nanosu kot reflektor toplote uporabimo plast srebra (Low-e), dosežemo v primerjavi z običajno zasteklitvijo zmanjšanje U_g -vrednosti s $3,0$ na $1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Če bi nato še navadni zrak v MSP zamenjali z argonom, ki je od vseh plinov največkrat uporabljen (predvsem zaradi racionalne izbire v primerjavi med doseženim rezultatom in ceno), zmanjšamo U_g še za $0,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, torej na vrednost $1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.



Slika 7: Prehod energije skozi toplotnozaščitno izolacijsko steklo (www.reflex.si)

Danes je steklo Low-e, ki je sestavni del izolacijske zasteklitve z $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, postalo že standardna zahteva. Za gradnjo nizkoenergijskih hiš uporabljamo celo zasteklitve z U_g -vrednostjo $0,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

2.3.1.2 Sončnozaščitne zasteklitve

Zasteklitve z visoko prepustnostjo svetlobe (LT), majhnimi toplotnimi izgubami (nizka U-vrednost) in majhno prepustnostjo sončne energije (nizka g-vrednost) imenujemo sončnozaščitne zasteklitve. Osnovni principi za doseg zgoraj omenjenih lastnosti sončnozaščitne zasteklitve so:

- absorpcija kratkovalovnih IR-žarkov (npr. z debelim steklom, ki je obarvano po vsej masi – barvni float),
- refleksija vpadne sončne svetlobe (kovinski nanosi, načeloma na zunanjem steklu izolacijske zasteklitve),
- kombinacija refleksije in absorpcije (nanos kovinskih oksidov na barvni float),
- izbira visokoselektivnih stekel, ki delujejo hkrati sončno- in toplotnozaščitno.

Te zasteklitve se vgrajujejo predvsem v poslovne, upravne in industrijske zgradbe, saj se z njimi zmanjša prehodnost sončne energije. Za razliko od slednjih pri stanovanjski gradnji želimo čim večjo

prepustnost sončne svetlobe, s čimer zmanjšamo stroške ogrevanja. To se pri ogromnih steklenih površinah večjih nestanovanjskih objektov ne splača, saj bi se ob uporabi le toplotnozaščitne zasteklitve notranji prostori tako segreli, da bi strošek ohlajanja le-teh nekajkrat presegel stroške ogrevanja zaradi neprepustnosti sončne svetlobe sončnozaščitnih zasteklitev.

Sončnozaščitne zasteklitve (razen tistih z mehkim nanosom) imajo eno slabost, in sicer, da se z zmanjšanjem sončne prepustnosti zmanjša tudi prehodnost vidne svetlobe. To je tudi eden od razlogov neuporabe teh zasteklitev za stanovanjsko gradnjo, saj bi lahko uporabniki v njem delovali le ob umetni svetlobi, kar bi seveda znatno poslabšalo kvaliteto bivanja. Pomembno je torej razmerje med prepustnostjo vidnega dela sončnega sevanja (LT) in prepustnostjo sončne svetlobe (g), kar imenujemo selektivnost (S). Najboljša so stekla z mehкими nanosi – visokoselektivna stekla ($S = 2$), sledijo jim polrefleksna stekla s trdimi nanosi ($S = 1$), zadnja so absorpcijska z vrednostjo $S < 1$.

2.3.1.3 Zvočnozaščitne zasteklitve

Zaradi negativnih vplivov na zdravje in počutje ljudi sodi hrup med največje nevšečnosti sodobnega načina življenja, ki pa jih lahko zelo omejimo z ustrezno »pasivno« protihrupno zaščito, med katero uvrščamo tudi primerno zasteklitev. Zvočnozaščitne zasteklitve so izolacijske zasteklitve, ki imajo poleg dobre toplotne izolativnosti tudi dobre zvočnozaščitne lastnosti. Zvočno izolativnost označujemo z oznako R_w in jo merimo v decibelih (dB). Zasteklitve z boljšo zvočno izolativnostjo imajo višjo R_w -vrednost (vse do $R_w = 56$ dB). Toplotna in zvočna izolativnost sta v soodvisnosti, zato se takšne zasteklitve označuje z vrednostnim parom; vrednost vsakega para pa določata širina MSP in vrsta plina v njem. Čim širji je MSP, boljši sta obe izolativnosti. Če MSP napolnimo s težkim plinom SF6 (žveplov heksafluorid), se zvočna izolativnost poveča še za 3 dB. Parametri, ki vplivajo na zvočno izolativnost stekla, so:

- masa stekla (praviloma večja masa stekla pomeni višji R_w),
- prožnost stekla (boljša je, višji je R_w ; to izkoristimo predvsem pri lepljenih steklih),
- sestava stekla (asimetrično izolacijsko steklo in širši plinski distančnik izboljšujeta R_w),
- polnilni plin (zrak oziroma izbrana vrsta plina vpliva na R_w).

2.3.2 Varnostna stekla

Stekla, ki imajo izboljšane zaščitne lastnosti pred udarci, lomi, poškodbami, streli, požarom ipd., imenujemo varnostna stekla ter jih delimo v dve skupini:

- zasteklitve za aktivno varnost (zaščita pred požarom, vandalizmom, izstrelki, nevarnim žarčenjem, pohodna stekla ...),

- zasteklitve za pasivno varnost (zasteklitve tistih delov zgradbe, pri katerih bi lahko pri lomu nastali delci poškodovali ljudi, ali če lahko osebe skozi počeno zasteklitev padejo v globino).

Različni standardi obravnavajo varnostna stekla (DIN 58125, DIN 52337 in SIST EN 12600). Glede na obliko zlomljenih delcev ločimo 3 tipe:

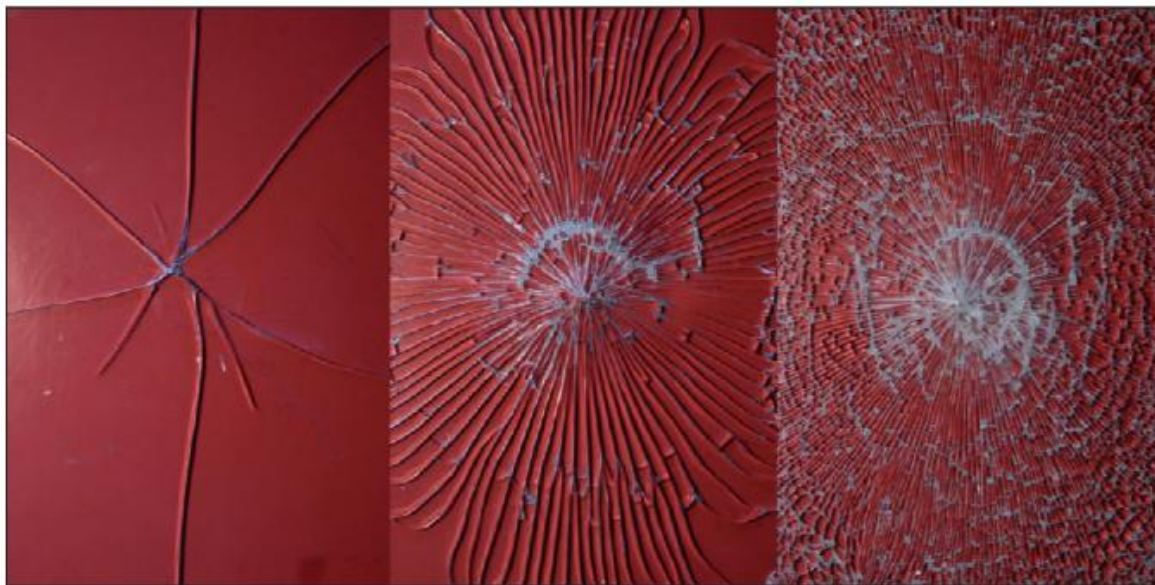
- tip A (steklo razpade na več kosov z ostrimi robovi, npr. navadno float steklo),
- tip B (steklo razpade na več kosov, ki ostanejo medsebojno povezani, npr. lepljeno steklo),
- tip C (steklo razpade na več kosov z neostrimi robovi; takšno je le kaljeno steklo).

Glede na zgornje razdelitve ugotavljamo, da varnostna stekla delimo na:

- lepljena varnostna stekla VSG,
- kaljena varnostna stekla ESG, ki so termično obdelana.

Lepljeno (lamelirano) steklo je sestavljeno iz najmanj dveh steklenih plošč, ki sta med seboj povezani z izredno žilavo folijo iz polivinilbutirala (PVB-folija), EVA-folije, ionomerov in vlivane smole ali kakšnih drugih organskih ali anorganskih snovi, ki povezujejo šipe. Pri takšnih steklih ob razbitju steklo ne razpade, temveč ostane v kosu, saj vmesna folija zadrži razbite dele skupaj. Lepljena stekla lahko opravljajo vlogo tako pasivne kot tudi aktivne varnosti, zato jih lahko za razliko od kaljenih uporabljamo tudi v protivlomnih in neprebojnih zasteklitvah. Uporabljamo jih v javnih zgradbah (vhodi, dvigala), športnih objektih (npr. pokriti bazeni), trgovskih in industrijskih objektih (protivlomnost), pri ograjah, nadglavnih zasteklitvah itd.

Kaljena varnostna stekla so prednapeta stekla, ki prenesejo približno trikrat večje obremenitve na upogib, tlak in udarce kot običajna stekla. Lahko so prozorna, brezbarvna ali obarvana v masi, z nanosom ali površinsko obdelana (npr. peskana), vendar je zelo pomembno, da so prej končno obdelana, saj se jih po kaljenju več ne da vrtati, rezati ipd. Za posebne varnostne zahteve se lahko v njih vgradi tudi alarmna zanka. S toplotno obdelavo pridobljene lastnosti stekla pomenijo, da se v primeru loma v hipu sprostí vsa nakopičena energija, steklo pa se razlomi v fino mrežo drobnih delcev s topimi robovi (v žargonu rečemo, da se steklo razleti na »koruzo«).



Slika 8: Porušitev navadnega float (levo), termično utrjenega TVG- (sredina) in polno kaljenega stekla (desno) (Haldimann, Luible, Overend, 2008: str. 215)

Zasteklitve, ki varujejo pred padcem v globino, se začnejo pri nevarnosti višine padca nad 1 m. Če je možnost padca od 2 do 12 m, mora biti zaščitni element oz. ograja visoka 0,9 m, če pa je možnost padca večja od 12 m, mora biti ta višina 1,2 m. Ti standardi in zahteve se razlikujejo od države do države, uporabljena stekla pa morajo biti – v kolikor so enojna – lepljena. Če so izolacijska, mora biti notranje steklo lepljeno, zunanje pa je lahko druge vrste (odvisno od zahtev, velikokrat so zunanja stekla kaljena).

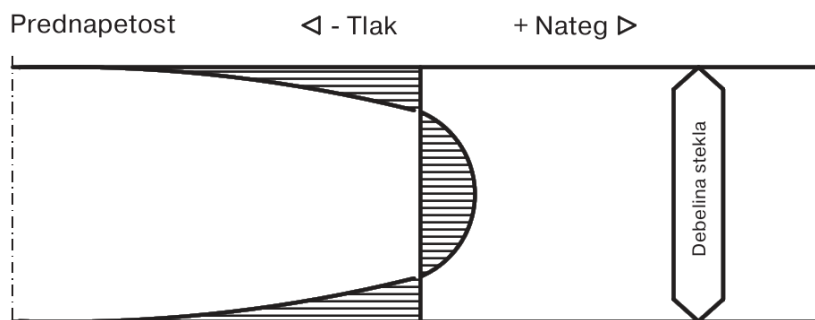
Požarno odporna zasteklitve je prozorna, debela minimalno 15 mm, zlepljena iz več slojev, z vmesnimi protipožarnimi folijami in geli. Razredi požarne varnosti zahtevajo od 30 do 120 minut trdnosti v primeru požara, prav tako ne smejo dopuščati prehoda plina in plamena. Evropski standardi določajo 2 razreda. Razred E zahteva zgoraj naštetе pogoje za požarno zasteklitve, medtem ko razred EI tem pogojem dodaja še preprečitev toplotnega sevanja. Obstaja še razred T, ki pa določa enake pogoje kot EI, le da za izvedbo protipožarnih vrat. (Povzeto po Grobovšek, 2015 (Hajdinjak, 2009))

2.4 Obdelave in tehnologije izboljšave stekla

Po proizvodnji float stekla je le-to največkrat potrebno še dodatno obdelati za namensko rabo, da dosežemo zahtevane lastnosti in obliko ter je po potrebi pripravljeno za nadaljnjo obdelavo. Ti sekundarni proizvodni procesi obsegajo:

- rezanje poškodovanih robov in oblikovanje stekla v željeno obliko,
- grobo in fino brušenje ter poliranje robov,
- vrtanje lukenj,
- upogibanje,
- termično obdelavo (kaljenje),
- toplotni preizkus (»HeatSoak Test«) za izključitev možnosti spontanega zloma pri polno kaljenem steklu,
- lepljenje – lameliranje stekel,
- obdelave površin (dekorativnost in originalnost),
- izoliranje stekel za dodatno toplotno in zvočno zaščito z vstavljanjem vmesnih slojev. (Haldimann, Luible in Overend, 2008)

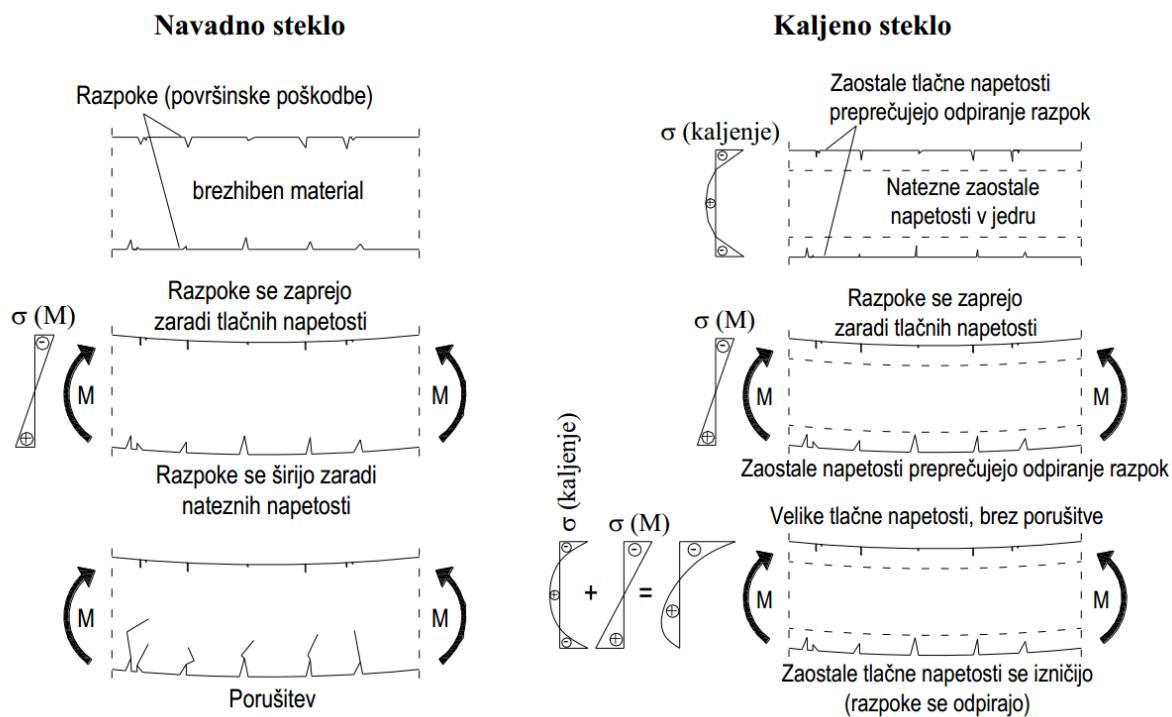
Steklo zaradi svoje notranje zgradbe prenese zelo velike tlačne napetosti, ne pa tudi nateznih. Slednje nastanejo na površini stekla pri upogibanju in temperaturnih spremembah: že 40–50 K spremembe je dovolj, da steklo počni – pri običajnem steklu počni na ostre kose srpaste oblike. Da bi preprečili takšen lom in bi dobili bolj trdno in varno steklo, moramo zmanjšati število in velikost površinskih razpok na steklu, kar dosežemo s kaljenjem stekla (Slika 10). Pri tem segrejemo obe strani stekla do določene temperature (cca. 650 °C), nato pa ju hitro ohladimo (z dovajanjem komprimiranega atmosferskega zraka). Rezultat je termično obdelano prednapeto – kaljeno – steklo (Slika 11).



Slika 9: Napetost kaljenega stekla (Hajdinjak, 2009: str. 137)

Kaljenje je učinkovito le, če se med ohlajanjem ustvari dovolj velika temperaturna razlika med površino in notranjostjo, saj so s tem molekule na površini trajno izpostavljene tlačnim napetostim, molekule v notranjosti pa nateznim. Kaljeno steklo (ESG-steklo, »Einscheiben-Sicherheitsglas«) se v primeru porušitve tega napetostnega ravnovesja (Slika 9) zaradi sprostitve nakopičene energije toplote v notranjosti zlomi v fino mrežo drobnih delcev topih robov. S postopkom kaljenja steklo pridobi – zraven ugodne oblike loma – tudi na mehanski in udarni trdnosti ter obstojnosti na temperaturne spremembe (do 200 K). Zaradi zgoraj opisane notranje strukture napetosti kaljenega stekla, ga po

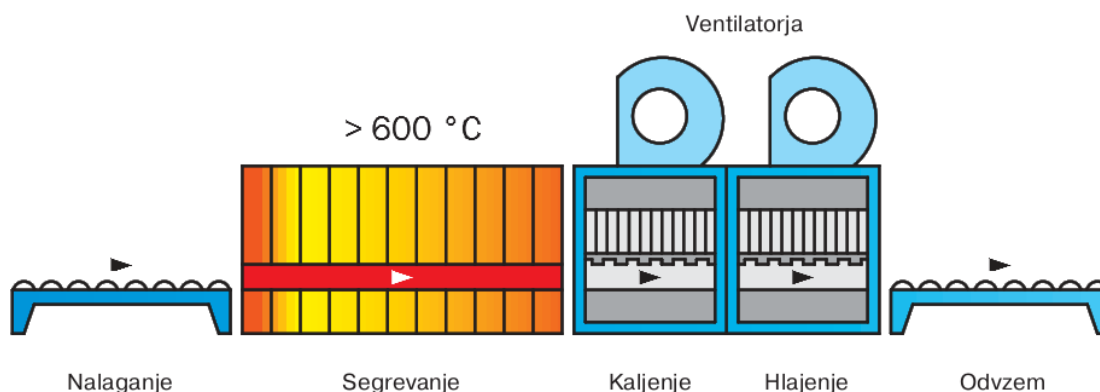
kaljenju ne moremo več obdelovati, saj bi to pomenilo porušitev. Vse obdelave (rezanje, vrtanje, brušenje ...) je torej potrebno izvesti pred termično obdelavo stekla. Vsako steklo mora imeti pred kaljenjem obdelane robove, t. i. grobo brušen rob. Vsako kaljeno steklo se lahko po določenem času poruši zaradi spontanega loma, ki ga povzroči molekula nikljevega sulfida (NiS). Molekula NiS v fazi hitrega ohlajanja stekla med kaljenjem ostaja v visokotemperaturnem stanju in se nato dolgotrajno ohlaja, lahko tudi več let. Posebnost molekule je njen negativni temperaturni raztezek, ki rezultira k povečanju volumna in porušitvi napetostne strukture kaljenega stekla. Da to preprečimo (skladno z zahtevami standarda), opravimo »toplotni preizkus« (»HeatSoak Test« – HST), pri katerem stekla za 4 ure izpostavimo temperaturi 290 °C. Pri tem stekla, ki vsebujejo molekulo NiS, z veliko verjetnostjo počijo, ostala stekla pa dobijo oznako ESG-H. (povzeto po Hajdinjak, 2009 (Zbašnik Senegačnik, 2005))



Slika 10: Primerjava razvoja napetosti in razpok v upogibno obremenjeni navadni in kaljeni zasteklitvi (povzeto po Haldimann, Luible in Overend, 2008: str. 10)

Poleg polno kaljenega (polno termično obdelanega) poznamo tudi delno kaljeno (TVG-steklo – »Teilvorgespanntes Glas«) ali termično utrjeno steklo. Začetni postopek kaljenja – segrevanje – je enak, razlika pa je pri ohlajanju. Notranje napetosti so manjše, zato je manjša tudi natezna trdnost. Slika loma je pri tem steklu podobna navadnemu float steklu, zato TVG-steklo kot samostojni element ni varnostno steklo. Posledično ga velikokrat uporabljamo v kombinaciji kot lepljeno varnostno steklo, pri čemer optimalno združuje konstruktivno, predvsem pa aktivno in pasivno varnost. Kombinacija povišane upogibne trdnosti, temperaturne obstojnosti in rezidualne nosilnosti je idealna za predelne

stene, nadglavne zasteklitve, steklene ograje, točkovno vpete zasteklitve, stopnice ipd. Podobno kot pri polno kaljenem steklu moramo vse obdelave izvesti pred proizvodnim procesom. (povzeto po Haldimann, Luible in Overend, 2008 (Hajdinjak, 2009))



Slika 11: Proizvodni proces kaljenja stekla (Hajdinjak, 2009; str. 135)

Lameliranje oziroma lepljenje stekel je proces spajanja stekel s pritisknimi valji in nato dalje v avtoklavu. V njem se s pomočjo povišane temperature in povečanega pritiska doseže trajni spoj stekla in folije. PVB-folija (PVB-polivinil butiral) je standardnih debelin večkratnika osnovne debeline 0,38 mm (0,38 mm; 0,76 mm; 1,14 mm; 1,52 mm ...). Namesto omenjene folije lahko uporabimo tudi SC-folije («*Silence*»), ki imajo veliko večjo zvočno izolativnost. Današnja proizvodnja ne omogoča samo lepljenja float stekel, ampak tudi lepljenje polno kaljenih ESG-stekel, delno kaljenih TVG-stekel in sončnozaščitnih Low-e stekel. Za lepljena stekla se uporablja tudi nemška kratica VSG («*Verbundsicherheitsglas*»), skozi pa je lahko pogled nekoliko drugačen kot skozi običajno steklo. Pri zlomu VSG-stekla folija zadrži razbite delce skupaj, kar predstavlja tako varnost kot tudi nosilnost, glavna atributa tega stekla. Obdelave, kot so vrtnanje in brušenje robov, se lahko izvede tudi po lepljenju, v kolikor ni uporabljeno katero izmed termično obdelanih stekel (ESG ali TVG). (Povzeto po Haldimann, Luible in Overend, 2008 (Hajdinjak, 2009))

3 ALUMINIJ

3.1 Zgodovina aluminija

Beseda aluminij izhaja iz latinske besede »*alumen*«, kar pomeni grenka sol, galun. Aluminij se je kot spojina pojavil že v Stari Grčiji in Rimu kot barvilo za tkanine in sredstvo za ustavljanje krvavenja pri obvezovanju ran. Slednje se v medicini uporablja kot galun (aluminijev amonijev sulfat) še danes. Kovinski aluminij je leta 1808 odkril Humphry Davy in ga najprej poimenoval »*aluminium*«, šele kasneje ga je preimenoval v »*aluminium*«.

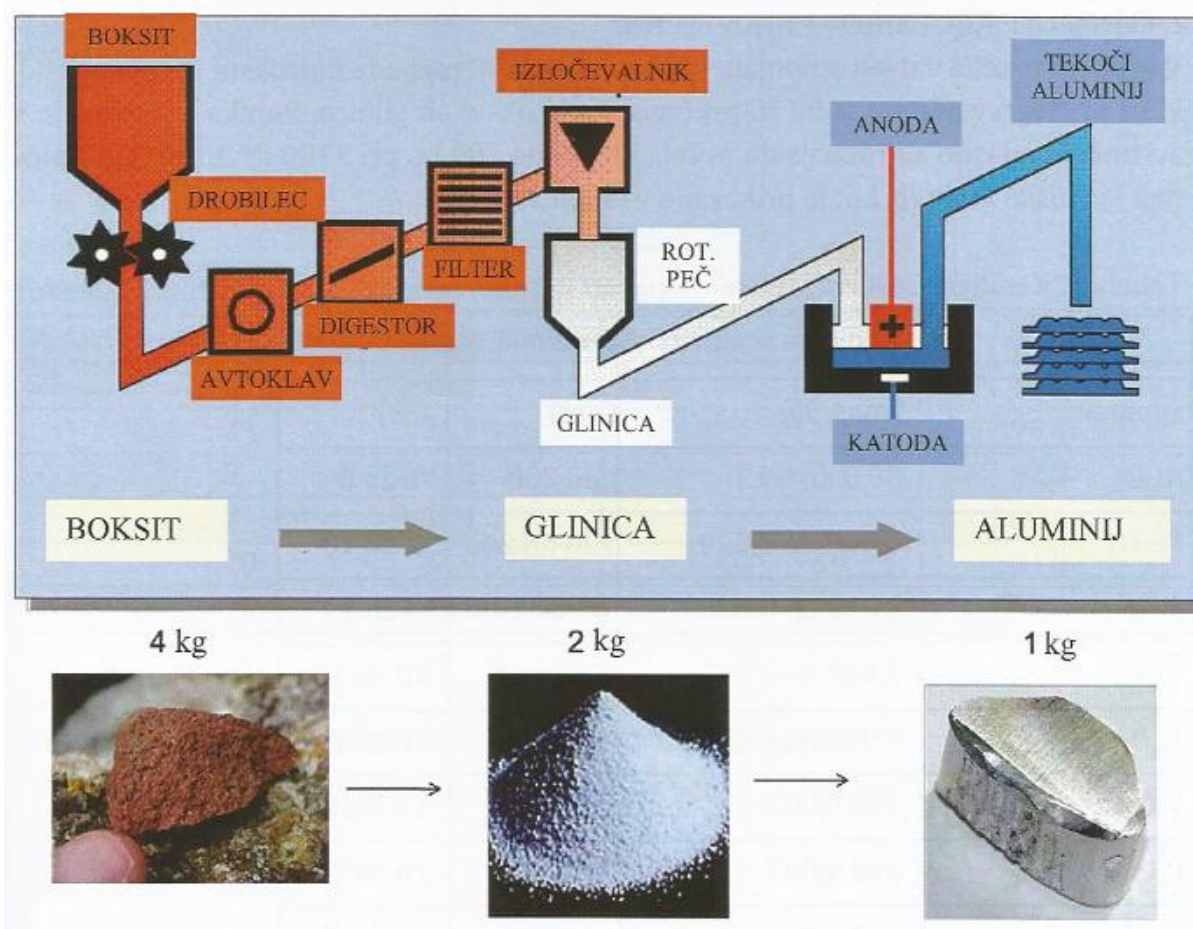
Nečisti aluminij je leta 1825 prvi odkril Hans Christian Ørsted, ki je brezvodni aluminijev klorid pomešal s kalijevim amalgamom in dobil kepo kovine, podobne kositru. Šele Friedrich Wöhler je uspel izolirati čisti aluminij s poskusom mešanja brezvodnega alumijevega klorida in kalija. Wöhlerjev poskus je nadgradil Henri Sainte-Claire Deville, ki je začel pridelovati aluminij s pomočjo cenejšega natrija (od kalija). Sam postopek izdelave je bil še vedno tako drag, da je do leta 1880 cena aluminija presegala ceno zlata. Tako so na pojedinah cesarja Napoleona III. posebne goste stregli z aluminijevim priborom, ostali pa so se mogli zadovoljiti z zlatim.

Proizvodnjo aluminija s pomočjo elektrolize sta konec 19. stoletja neodvisno drug od drugega razvila Charles Martin Hall v ZDA in Paul Heroult v Franciji. Gre za proizvodni proces, ki se uporablja še danes. (povzeto po (Žarnić, 2005), (Wikipedia, 2015))

3.2 Pridobivanje aluminija

Hallova metoda pridobivanja aluminija temelji na izločanju aluminija z elektrolizo iz otopine aluminija in kreolita na 950 °C. Iz ekonomskega stališča je najugodnejše proizvajati aluminij iz boksita, ki ni ruda, ampak zmes aluminijevih, železovih, silicijevih in titanovih oksidov. Aluminij se v boksitu nahaja v obliki treh mineralov: hidrargilita, bemita in diaspora. Boksiti so dobre kakovosti, če vsebujejo vsaj polovični delež spojine Al_2O_3 in manj kot 7 % SiO_2 – pri teh pogojih se predelava zaradi povečanih količin lužila še izplača (kakovostni boksiti vsebujejo manj kot 4 % SiO_2).

Najpogostejši postopek pridobivanja glinice je Bayerjev postopek. Pri tem postopku boksit zmeljemo najprej v prah in ga nato osušimo v rotacijskih pečeh pri temperaturi do 400 °C. Pridobivanje glinice poteka v treh stopnjah: ekstrakciji, razkroju in kalcinaciji. Pri ekstrakciji se zaradi prisotnosti SiO_2 tvori natrijev alumosilikat (permutit) in se po luženju v usedalnikih usede netopni ostanek – rdeče blato. Za nadaljnji razkroj moramo znižati temperaturo in razredčiti raztopino. Nato sledi kalcinacija v reaktorjih ali rotacijskih pečeh, kjer najprej aluminijev hidroksid razpade v gama oksid in nato pri 1000–1200 °C še na alfa oksid ali glinico (Al_2O_3).

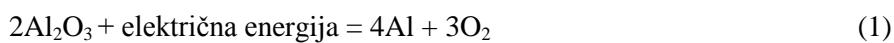


Slika 12: Primarno pridobivanje aluminija (Medved, 2014: str. 27)

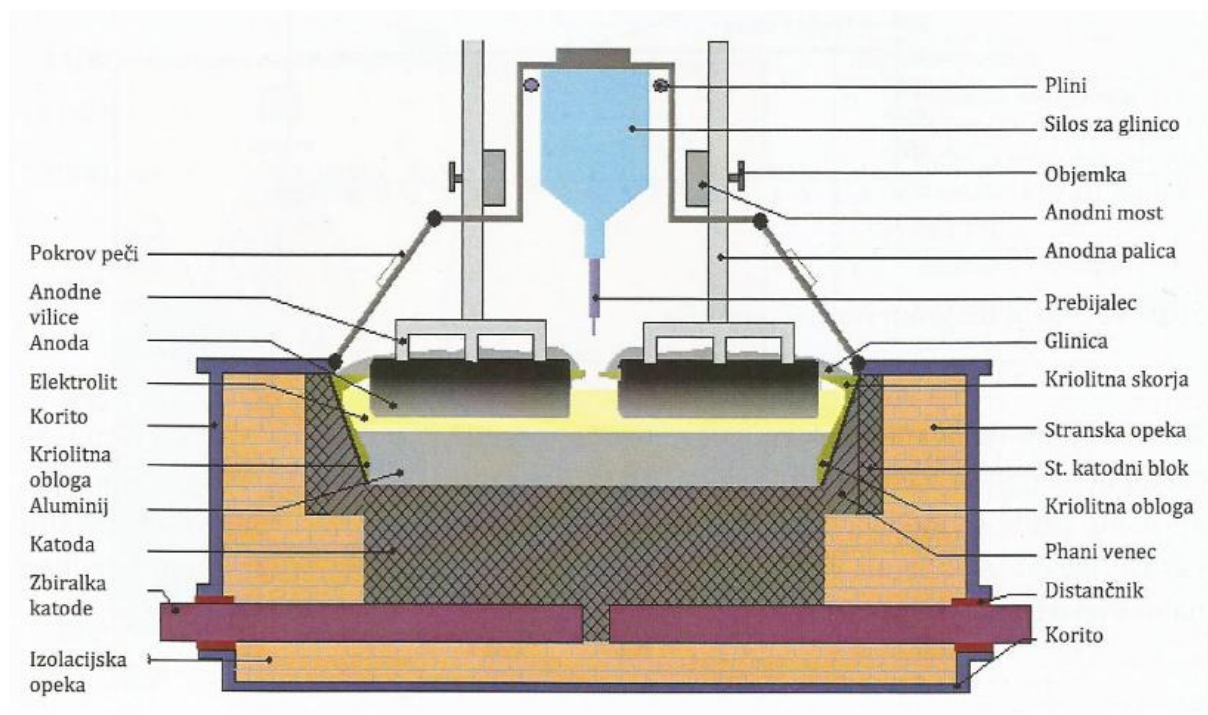
Nadaljnji postopek pridobivanja aluminija iz glinice je s pomočjo elektro-kemijskega procesa v elektroliznih celicah (Slika 13), kjer se le-ta razkraja na osnovni komponenti: aluminij in kisik. Ta proces poteka pri temperaturi med 950 in 970 °C v raztopini elektrolita, katerega glavna sestavina je kriolit (Na_3AlF_6). V njem je aluminijev oksid relativno dobro topen. Tipična sestava elektrolita je:

- AlF_3 (12–13 %),
- CaF_2 (3–4,5 %),
- Al_2O_3 (1–3 %),
- Na_3AlF_6 – kriolit (preostanek, cca. 80 %).

Osnovni proces elektrolize je torej pridobivanje aluminija in kisika iz glinice ob pomoči električne energije, pri čemer se izloča tudi ogljikov dioksid. Kemijski formuli za to sta:



Za pridobivanje aluminija iz glinice je torej potreben enosmerni električni tok (700–1000 V), ki teče skozi elektrolizno celico – od anode na katodo – in na svoji poti razgrajuje glinico, tekoči aluminij pa se zbira na katodi v katodnem koritu. Količina pridobljenega aluminija je odvisna od velikosti celice oziroma od jakosti električnega toka. Ko količina tekočega aluminija v katodi doseže določeno višino, se del tega aluminija v točno določenih časovnih presledkih izčrpa v posebne vakuumske lonce, od koder ga prepeljejo v livarne. Čistost tega aluminija je med 99,7 in 99,85 %. Druga komponenta glinice, kisik, se pri procesu veže z ogljikom iz anode, zaradi česar se anode obrabijo in jih je potrebno v ciklusu menjavati z novimi (največkrat na približno 25–30 dni). Poraba anod je nekje do 600 kg/tono aluminija. Življenjska doba elektrolitske celice je približno od 4 do 8 let, odvisno od tehnologije in pogojev obratovanja. Po tem obdobju celico izklopimo iz električnega omrežja, katodo zamenjamo z novo, na jekleni konstrukciji pa opravimo potrebna popravila. (Medved, 2014)



Slika 13: Elektrolizna celica (Medved, 2014: str. 42)

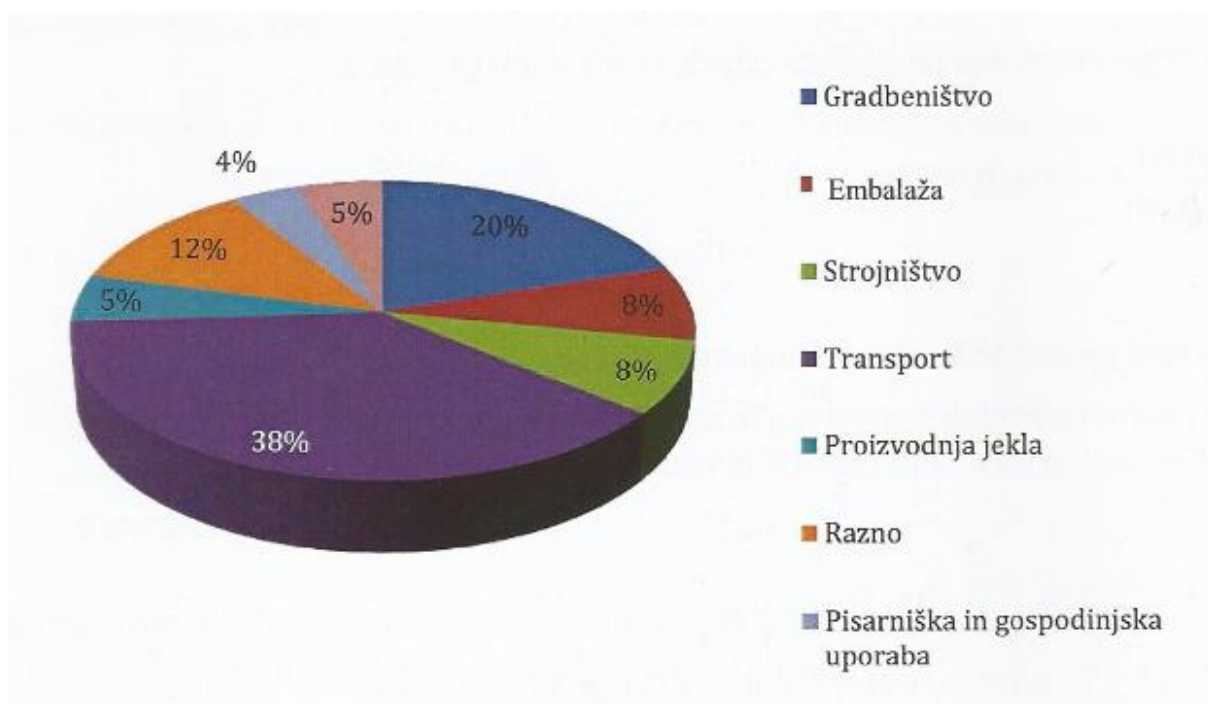
Pri elektrolizi se pojavijo tudi fluorove soli (kriolit, aluminijev fluorid in kalcijev fluorid), ki tvorijo elektrolite. Te soli na visokih temperaturah emitirajo v okolje v obliki plinov. Pri sodobnih celicah se plini zbirajo, vodijo skozi čistilni sistem in se nato ponovno vrnejo v proces elektrolize.

Okvirni podatek o potrebnih masah posameznih komponent je, da za 1 tono aluminija potrebujemo 2 toni glinice, ki jo proizvedemo iz 4 ton boksitove rude. (Talum, 2015)

Postopki, s pomočjo katerih se iz aluminijevih zlitin izdelujejo različni polizdelki in izdelki, so:

- vlivanje v pesek (za majhne količine izdelkov),
- brizganje oz. vlivanje v kokile (kalupe) iz perlitnega litega železa (za kose, teže do 100 kg),
- brizganje oz. vlivanje pod pritiskom (za izdelke mase iz aluminijevih zlitin z nizkim tališčem, teže do 20 kg),
- mehanska obdelava ingotov iz zlitin, ki se lahko zaradi prostorsko centrirane kristalne rešetke obdelujejo. Najbolj pogosti postopki so:
 - gnetenje,
 - vroče valjanje (izdelki, debeline od 6 do 8 mm),
 - hladno valjanje (izdelki – folije – debeline do 1 µm),
 - stiskanje,
 - vlečenje stiskanih polizdelkov,
 - kovanje,
 - vlečenje žic in pletenje vrvi. (Žarnić, 2005)

Uporaba aluminija se je v zadnjih desetletjih zelo razširila. Posledično je postalo njegovo pridobivanje iz sekundarnih surovin pomemben delež v proizvodnji aluminija. Srečamo ga v različnih industrijskih panogah, npr. v transportu, gradbeništvu, strojništvu, pri embalaži, pisarniški in gospodinjski uporabi.



Slika 14: Delež porabe aluminijevih zlitin po industrijskih panogah (Medved, 2014: str. 50)

Na zgornjem grafu (Slika 14) vidimo, da se porabi največ aluminija v transportni industriji (avtomobili, vlaki, tovornjaki, ladje, letala in kolesa), od tega skoraj 90 % v avtomobilski industriji,

vendar se njen delež še povečuje. V enem avtomobilu je v povprečju 140 kilogramov aluminijevih zlitin, saj uporaba aluminija zmanjša njegovo težo in posledično njegovo porabo goriva, s čimer so povezani tudi izpusti emisij CO₂. Zmanjšana masa vozila izboljša varnost in vozne lastnosti ter poveča udobje. V splošnem naj bi 1 kg aluminija nadomestil 2 kg standardnega jekla. To bi pomenilo, da če smo v avtu uporabili namesto jekla 100 kg aluminija, smo težo avtomobila zmanjšali za 100 kg in posledično porabo za približno 0,38 l/100 km.

Zelo pomembna je tudi aluminijasta embalaža, ki je postala del našega vsakdanjika. V njej shranjujemo pijače, zelenjavo, mila, prigrizke, tobak, zamrznjeno hrano in zdravila. Zaradi nepropustnosti za svetlobo, UV-žarke, olja, mikroorganizme in odpornosti na korozijo zagotavlja optimalno zaščito samega izdelka. Zelo uporabne so tudi aluminijaste folije, ki jih uporabljamo v gospodinjstvu. Pod pritiski zmanjšanja obremenjenosti okolja, zelenimi tehnologijami in pristopi k trajnostnemu razvoju se ti odpadki vedno bolj ločujejo ter tako predstavljajo pomemben delež pri ohranjanju okolja in recikliranju aluminija.

V gradbeništvu se aluminij uporablja predvsem v obliki fasadne in okenske profilacije ter kot pločevina. Iz njega so izdelani okenski okvirji, aluminijaste fasade, rolete, vrata, senčila, fasadne plošče – obloge, zaključne in okrasne pločevine, strehe, stenske obloge, ogrevanje, prezračevanje, ograje, lahke nosilne palične konstrukcije itd. Razlog za vedno večjo uporabo aluminija v gradbeništvu je njegov življenjski cikel, dobro razmerje med trdnostjo in težo, nizki stroški vzdrževanja, požarna odpornost ipd. Zaradi vseh naštetih lastnosti je zelo pomemben tudi pri reciklažni industriji.

Prav tako so skoraj vse električne luči, motorji in naprave odvisne od aluminijaste žice, ki se uporablja tudi za izdelavo robotov in avtomatizacijskih naprav. Aluminij je tudi najbolj ekonomičen material za prenos elektrike po visokonapetostnih daljnovodih, kjer je že hitro po letu 1945 nadomestil baker.

Aluminij se uporablja tudi v jeklarski industriji kot dezoksidacijski material za jeklo, kar prepreči krhkost in izboljša odpornost jekla pri nizkih temperaturah. Tega aluminija žal ni mogoče reciklirati.

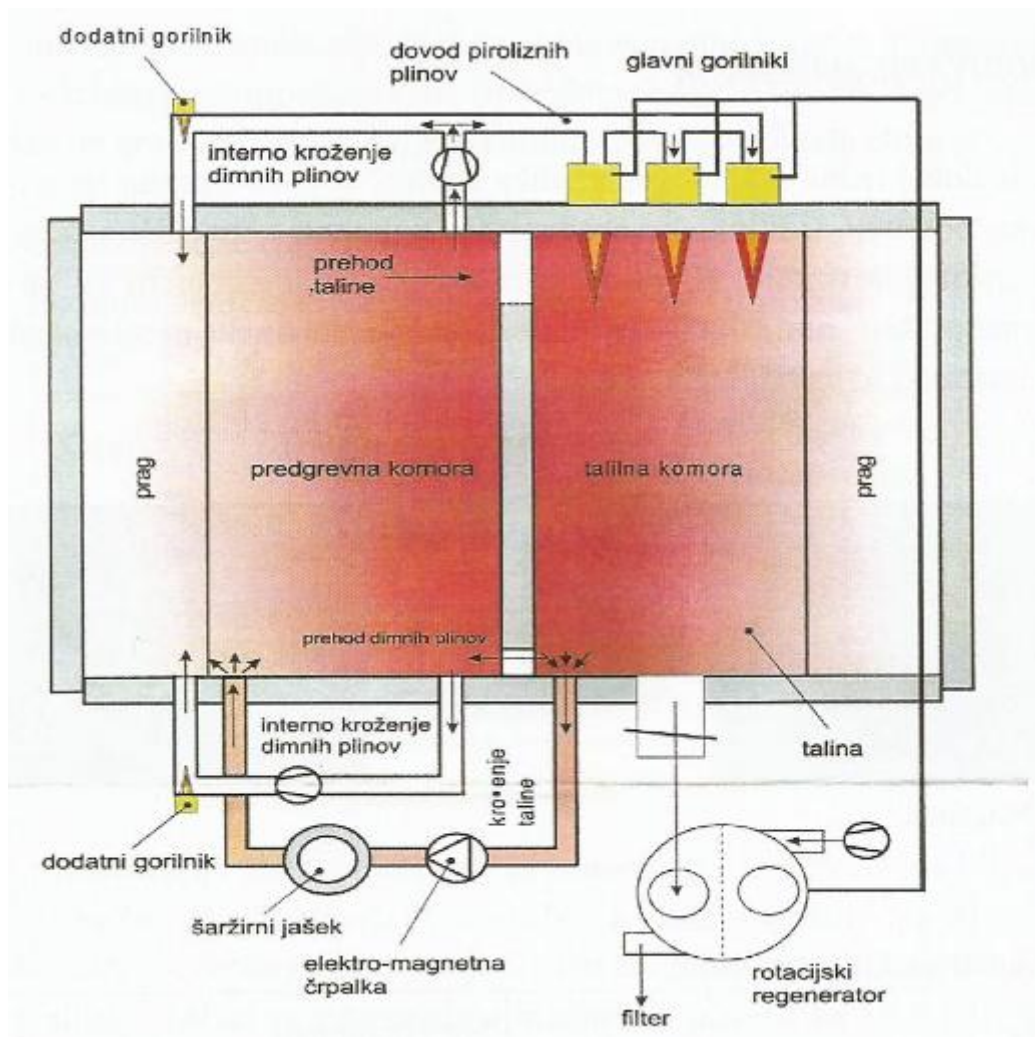
Primerjava primarne in sekundarne proizvodnje nam pove, kako pomembna je reciklaža aluminija. Velik strošek vsake proizvodnje je vložena energija, vendar za sekundarno proizvodnjo aluminija porabimo od 10- do 20-krat manj energije, kar je dovolj zgovoren podatek, zakaj le-to spodbujamo. Pomembno je tudi, da imajo aluminijevi odpadki visoko vrednost, saj jih lahko – če so predhodno obdelani in razporejeni – uporabimo za praktično vse vrste proizvodnega procesa.

Predelava sekundarnih sestavin sestoji iz :

- priprave surovine,
- sortiranja,
- taljenja,
- legiranja,
- obdelave taline,
- čiščenja taline,
- litja.

Pri pripravi je potrebno surovine najprej zdrobiti in razmasti, žlindro zmleti in presejati, odrezke pločevine in folije pakirati ter mehansko pritrjene kose železa ločiti v odcejalnih pečeh. V velikih proizvodnih obratih za recikliranje aluminija z drobilniki nerazvrščene odpadke zdrobijo, nato pa z magneti odstranijo železne dele. S težko tekočinsko separacijo ločijo plastiko in nato še težke kovine. Takšen aluminijev odpad nato stalijo ter iz taline odstranijo nečistoče in magnezij.

Sekundarni aluminij delimo na novi in stari odpad, ki ga talijo v dvo- ali večkomornih pečeh (Slika 15). V prvi komori surovino predgrejejo ter odparijo barve in maščobe, v drugi fazi pa sekundarne surovine talijo s tekočim aluminijem, ki ga prečrpajo iz druge komore. (Medved, 2014)



Slika 15: Shema talilne peči za pretaljevanje sekundarnega aluminija (Medved, 2014: str. 52)

Študija univerze za tehnologijo v Delftu, ki se je izvajala na poslovnih in stanovanjskih objektih v šestih evropskih državah, je pokazala kar 96-odstotno povprečno uspešnost pri zbiranju in uporabi odpadnega aluminija v njegovem naslednjem ciklusu uporabe. Že v preteklosti, ko okolje in zbiranje odpadkov nista bila osrednja tema našega planeta, so najmanjši izvajalci in uporabniki zbirali vse odpadne dele profilov ter jih sortirali in oddajali ali prodajali na organiziranih odlagališčih, zato na divjih odlagališčih skorajda ne najdemo aluminijastih izdelkov. Razlog za to je zelo učinkovita reciklaža aluminija, saj ga lahko recikliramo vedno znova, ob tem pa ne izgubi svojih lastnosti. To pomeni tudi vedno visoko odkupno ceno odpadnega aluminija. (Vrhovnik, 2015)

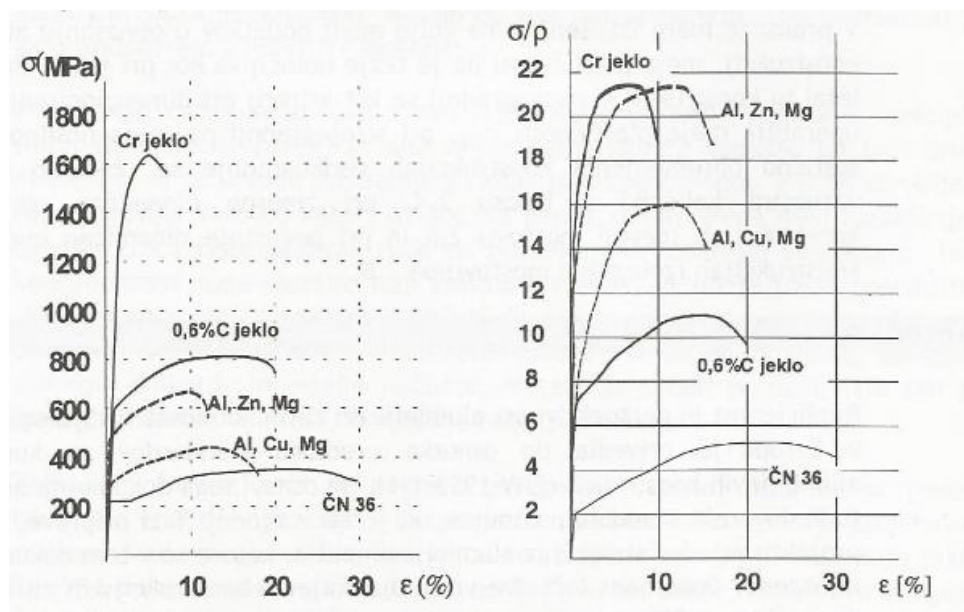
Na svetu je v avtomobilih, zgradbah, elektroniki in drugod vgrajenega približno 80 kg aluminija na prebivalca, vendar od tega 350–500 kg na prebivalca v razvitem in le 35 kg na prebivalca v nerazvitem svetu. Recikliranje je v razvitem svetu doseglo že visok nivo, predvsem zaradi spoznanja, da je odpadni aluminij (vsaj teoretično) možno reciklirati v celoti, pri tem pa sekundarni aluminij ohrani vse

lastnosti primarnega. Tako se v Evropi reciklira 42 % pločevink, 85 % gradbenega materiala in 95 % transportnih vozil. (Wikipedia, 2015)

3.3 Lastnosti aluminija

Aluminij je lahka kovina srebrnkasto bele barve. Je najbolj razširjena kovina in tretji najbolj zastopan element v zemeljski skorji. Okoli 8 % vsake gline tvori čisti aluminijev oksid Al_2O_3 , kar je za nekovinske rude visoka koncentracija. Je nemagnetna in mehka kovina, ki zelo dobro prevaja tako električni tok kot toploto. Za razliko od večine kovin ima nizko gostoto, kar pomeni, da je izredno lahka kovina močnega sijaja. Ob dodatku že majhnih količin primesi postane površinsko trdnejši in posivi. Na zraku in v oksidacijskih sredstvih je zelo obstojen, ker se prevleče s tanko oksidno plastjo. Aluminijev oksid je trdno prilepljen na površino in jo posledično varuje pred njeno oksidacijo, za razliko od železovega oksida, ki ob atmosferskih vplivih tvori rjo. Lastnosti aluminijevega oksida se izkoristijo pri umetni protikorozijski zaščiti aluminija, ki se opravlja s pomočjo elektrolize z anodnim postopkom. Anodna zaščita ob dodajanju raznih kovinskih oksidov prispeva k barvnim odtenkom in lepšemu izgledu aluminijevega izdelka.

Aluminij je zelo obstojen v organskih kislinah, zato ga dosti uporablja tudi prehranska industrija. Je nestrupen, koven in tanljiv (možno ga je razvaljati v zelo tanke folije). Neoksidirana folija aluminija je dober reflektor vidne svetlobe (odbojnost do 92 %) in odličen reflektor IR-sevanja (odbojnost do 98 %). Meja plastičnosti čistega aluminija je od 200 do 600 MPa. Odporen je proti mnogim kislinam, vendar ne proti lugom in morski vodi. Ker je korozijsko odporen, pomeni manjše vzdrževalne stroške in daljšo življenjsko dobo izdelka. Trdnost nekaterih aluminijevih zlitin dosega trdnost običajnih konstruktivnih jekel (Slika 16). (povzeto po (Wikipedia, 2015), (Žarnić, 2005), (Aberšek, 1995))



Slika 16: Primerjalni σ - ϵ diagram aluminijevih zlitin in jekel v običajni in normalizirani obliki (specifična trdnost) (Žarnić, 2005: str. 169)

3.4 Uporaba aluminija v gradbeništvu

20 % odstotkov svetovne proizvodnje aluminija se porabi v sektorju gradbeništva, zato le redko najdemo stavbo, ki ne vsebuje tega materiala. Razlog za to so fizikalne in kemijske lastnosti aluminija, ki se je izkazal kot idealni konstrukcijski material, predvsem zaradi majhne teže in velike vzdržljivosti, še posebej odpornosti proti koroziji. Kot trajen in lahek material pripomore k nižji porabi goriv in manjšim izpustom v okolje. Vse te predpostavke so omogočile razcvet proizvodnje aluminija ter oblikovalsko svobodo arhitektom in snovalcem novih načrtov zgradb. (Finance, 2015)

Aluminij je bil v gradnji prvič uporabljen pred več kot 100 leti, in sicer najprej na Washingtonskem spomeniku (Slika 17), ki so ga postavili v spomin na prvega ameriškega predsednika Georga Washingtona. Vrh obeliska so izdelali iz aluminijeve konstrukcije – aluminij je bil izbran zaradi dobre prevodnosti in barve, ki ne spremeni izgleda ter deluje kot strelvod samega spomenika. V času izgradnje je znašala cena 1 unča (2,8 kg) aluminija dnevno plačo delavca na projektu. Konstrukcija je bila postavljena 6. decembra 1884. S svojimi 169,351 m je še vedno najvišja kamnita konstrukcija in najvišji obelisk (do leta 1889, ko so zgradili Eiffelov stolp, tudi najvišja konstrukcija) na svetu. (Wikipedia, 2015)



Slika 17: Washingtonski spomenik (<http://www.destination360.com/north-america/us/washington-dc/washington-monument>)

Med prvimi je bila notranja oprema zgradbe Monadnock v Chicagu iz leta 1892 in aluminijasta kupola na cerkvi sv. Gioacchina v Rimu (1898).



Slika 18: Aluminijasta kupola cerkve San Gioacchino in aluminijaste stopnice v Monadnocku (<http://www.twrbifolds.co.uk/timeline-aluminium-building-construction-1800s/>)

Zgodovina uporabe aluminija v gradbeništvu kaže, da je z leti postajal vedno bolj priljubljen. Ko je z novimi tehnološkimi postopki postajala njegova proizvodnja tudi cenejša, je postal eden izmed glavnih gradbenih elementov v zgradbah. Tako ga danes uporabljamo za izdelavo okenskih profilov, fasadne profilacije, stavbnega pohištva, stopov in sten, fasadnih oblog, senčil, stopnic, strešnih kritin ter kot

konstrukcijsko podlago za velike objekte, kot so trgovski centri, mostovi in stadioni. Aluminij pa ne ponuja samo možnosti uporabe v novogradnji, temveč se vse pogosteje uporablja tudi pri sanaciji in restavriranju zgodovinskih objektov.

Pri sami vgradnji aluminijevih izdelkov v gradbene konstrukcije je potrebno omeniti problem izvedbe spojev. Tipični spoji, ki se uporabljajo za povezovanje aluminijevih elementov, so:

- zatikanje ali členkasti spoji (stavbno pohištvo),
- previjanje (folije in strehe),
- vtiskanje (okenski profili),
- (hladno) kovičenje (letalska industrija),
- šivanje z jekleno žico,
- varjenje po posebnih postopkih,
- lepljenje z umetnimi smolami in dvokomponentnimi lepili (letalska industrija),
- vijačenje z uporabo fiksnih vložkov iz tršega materiala v primerih, kjer se vijaki večkrat odvijajo in privijajo.

Poseben poudarek je potrebno posvetiti tudi pojavu galvanskega člena, ki lahko s korozijo uniči spoj. Posledično je zahtevana uporaba veznih sredstev primernih kovin ali ustrezne zaščite s premazi in prevlekami (cink, kadmij ali krom). Samorezni vijaki so lahko iz aluminijevih zlitin ali nerjavnega jekla. (povzeto po (Wikipedia, 2015), (Finance, 2015))

4 ALUMINIJASTE FASADE

4.1 Zgodovina aluminijastih fasad

S povečanjem proizvodnje aluminija ob koncu 19. stoletja se je začela povečevati tudi uporaba aluminija kot fasadne obloge. V prvi polovici 20. stoletja so znani posamični primeri aluminijastih fasad v arhitekturi predvsem na območju Združenih držav Amerike, medtem ko so v drugi polovici stoletja doživele velik razcvet.



Slika 19: Nebotičnik Seagram Building (1958) v New Yorku arhitekta Mies van der Rohe, na katerem fasado zaznamujeta črni aluminij in okajeno steklo (<http://www.thecityreview.com/park375.html>)

Arhitekt Ludwig Mies van der Rohe je z razvojem posebnih profilov in elementov iz aluminija (Slika 19) sprožil serijsko proizvodnjo, ki je spodbudila k množični uporabi novega tipa fasad, t. i. obešene fasade («*Curtain Wall*»). Gre za samonosilni sistem fasade, pri katerem se lastna teža preko sicer in konzol prenaša na osnovno nosilno konstrukcijo. Z vedno manjšo profilacijo posebnih oblik in napredkom tehnologije zastekljevanja so omogočili izgled popolnoma steklene fasade. Leta 1952 je bila v Pittsburghu zgrajena poslovna stavba podjetja ALCOA («*Aluminium Company of America*»), ki velja za prvo stolpnico, v celoti obdano z obešeno aluminijasto fasado (Slika 20).



Slika 20: ALCOA Building (1952) (http://quod.lib.umich.edu/u/ummu/x-05-04345/05_04345)

Prva stolpnica z obešeno aluminijasto fasado v Nemčiji je bila leta 1958 zgrajena upravna stavba podjetja Mannesmann AG (današnji Vodafone – Slika 21) v Düsseldorfu. (Sennott, 2004)



Slika 21: Nebotičnik Mannesmann (1958) (<http://paul.schneider-esleben.de/mannesmann>).

V Ljubljani je bila zgrajena prva aluminijasta fasada leta 1963 na stolpnici Metalka (Slika 22). Zamisli in tehnološko izvedbo zanjo sta združila začetnik slovenskega modernizma v arhitekturi, arhitekt Edo Mihevc, in arhitekt ter industrijski oblikovalec, takratni vodja projektivno razvojnega biroja tovarne Impol, Branko Kraševac. Zgrajena je bila za podjetje, ki se je ukvarjalo s kovinami, kar nakazuje njena tehnološko dovršena in inovativna fasada iz aluminija. Pri zasnovi stolpnice se je arhitekt Edo Mihevc zgledoval po stolpnici Seagram v New Yorku. Stolpnica je v skladu z gradnjo višjih stavb ob glavni cesti od nje nekoliko odmaknjena – ploščad med njima predstavlja predprostor stavbe in obenem manjši »tržni« prostor ob cesti. Ozek pravokotni skelet stolpnice z jedrom vzdolž ene od daljših stranic obdaja lahek fasadni plašč. Plašč, ki ga je oblikoval Branko Kraševac, sestavljajo prefabricirane aluminijaste plošče – novost v tedanji gradbeni tehnologiji in simbol napredka domače stroke. (Arhitekturni vodnik, 2016)



Slika 22: Metalka (1963) (<http://arhitekturni-vodnik.org/?object=126&mode=1>)

4.2 Vrste aluminijastih fasad

Fasada je verjetno najpomembnejši dejavnik pri zaznavanju stavbe, saj ni omejena samo na dejansko zunanost konstrukcije, ampak vpliva tudi na notranji prostor. Je kompleksni gradbeni element, ki ima danes poleg toplotne, hidroizolacijske in statične funkcije še velik estetski pomen. Z razgledom, prezračevanjem in osvetlitvijo nudi različne možnosti izpolnitev uporabniških zahtev in udobja. Sodobni arhitekturni trendi in prihodnost gradnje predstavljajo ravno aluminijaste steklene fasade, ki dajejo skupaj z naprednimi tehnološkimi postopki, sodobno tehnologijo, hitro montažo in visoko estetsko vrednostjo »piko na i« sodobnim arhitekturnim objektom. Če so v preteklosti te stvaritve krasile le poslovne stavbe in turistične objekte (hotele, kopališča ...), se danes vedno več posameznikov odloči popestriti svoja zasebna bivališča (hiše, vikende, apartmaje ipd.) s steklenimi fasadami in zimskimi vrtovi iz aluminijaste profilacije. Ta nudi neskončne možnosti arhitekturnega

oblikovanja in izbire materialov – tako osnovne nosilne konstrukcije fasade (lesa, aluminija, jekla idr.) kot tudi polnil (stekla, aluminijaste pločevine, keramike, kompaktnih plošč) in zunanjšega videza (različne oblike pokrivnih profilov, videz popolnoma steklene fasade, različni nosilni materiali idr.).

Aluminijaste fasadne sisteme delimo glede na različne lastnosti same fasade:

- glede na koncept konstrukcijskega sklopa (topla, hladna in hladno-topla fasada),
- glede na lego h konstrukciji (okenske stene z etažno višino in obešena fasada),
- glede na konstruktivno izvedbo (steber-prečka in element fasada ter fasadna nadgradnja),
- glede na zunanji videz fasade (klasična, strukturna in polstrukturna fasada).

Vsi fasadni sistemi se lahko znotraj poljubnega fasadnega sistema prepletajo, tako imamo lahko npr. obešeno toplo steber-prečka fasado strukturne izvedbe. (povzeto po: Bračko, 2008)

4.2.1 Tipi fasad glede na koncept konstrukcijskega sklopa

Osnovno delitev aluminijastih fasad definiramo glede na koncept konstrukcijskega sklopa, s čimer določamo položaj oziroma lego dežne in vetrne zapore v konstrukcijski zasnovi fasadnega sistema. Ločimo tople, hladne in hladno-tople fasade.

4.2.1.1 Tople fasade

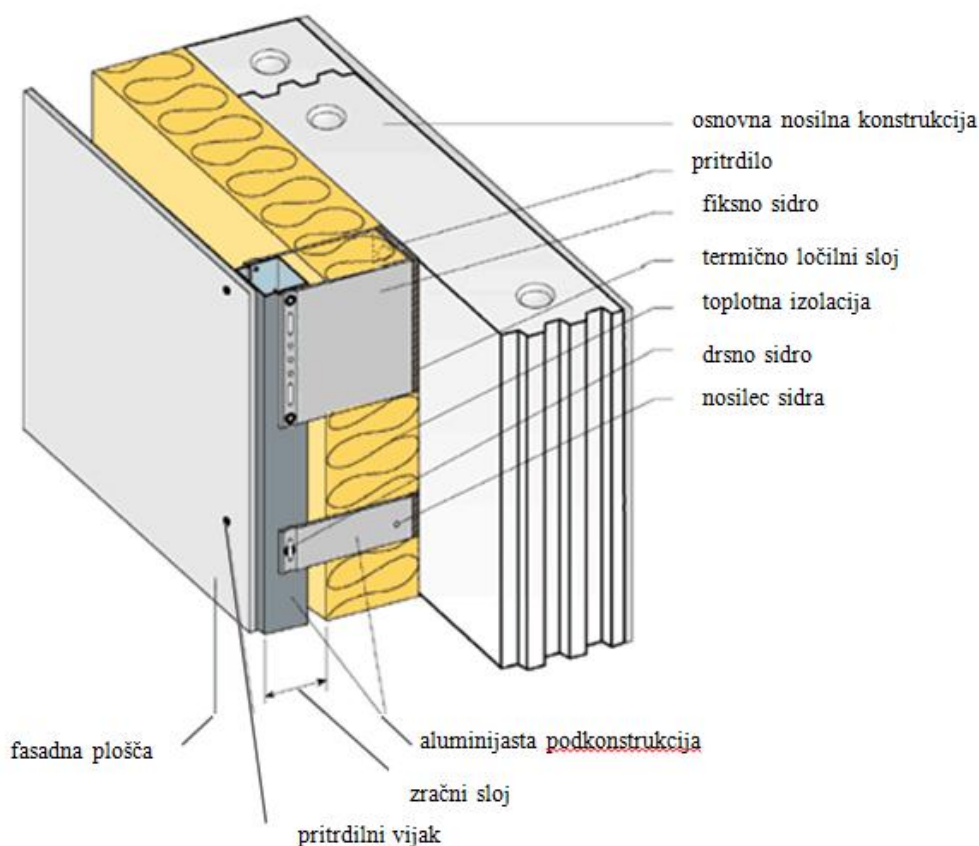
Topla fasada je neprezračevana enovita fasadna konstrukcija, ki je zračno- in vodonepropustna. Prevzema vse funkcije zunanjšega zidu (toplotno, zvočno in hidroizolacijo ter protipožarno zaščito). Najpomembnejša je torej izbrana aluminijasta profilacija, ki skupaj s primernimi tesnili ter kvalitetno vgradnjo in montažo izpolnjuje zahteve po izolacijskih lastnostih same fasade in posledično stavbe kot celote. Največkrat nastopa kot obešena fasada ali kot okenske stene z etažno višino. Kot polnilo lahko uporabljamo tako izolacijska stekla kot steklene ali pločevinaste panele s toplotno izolacijo.



Slika 23: Primer tople fasade (pridobljeno na <http://www.doernhoefer.de/stahlbau-detail/id/13.html>)

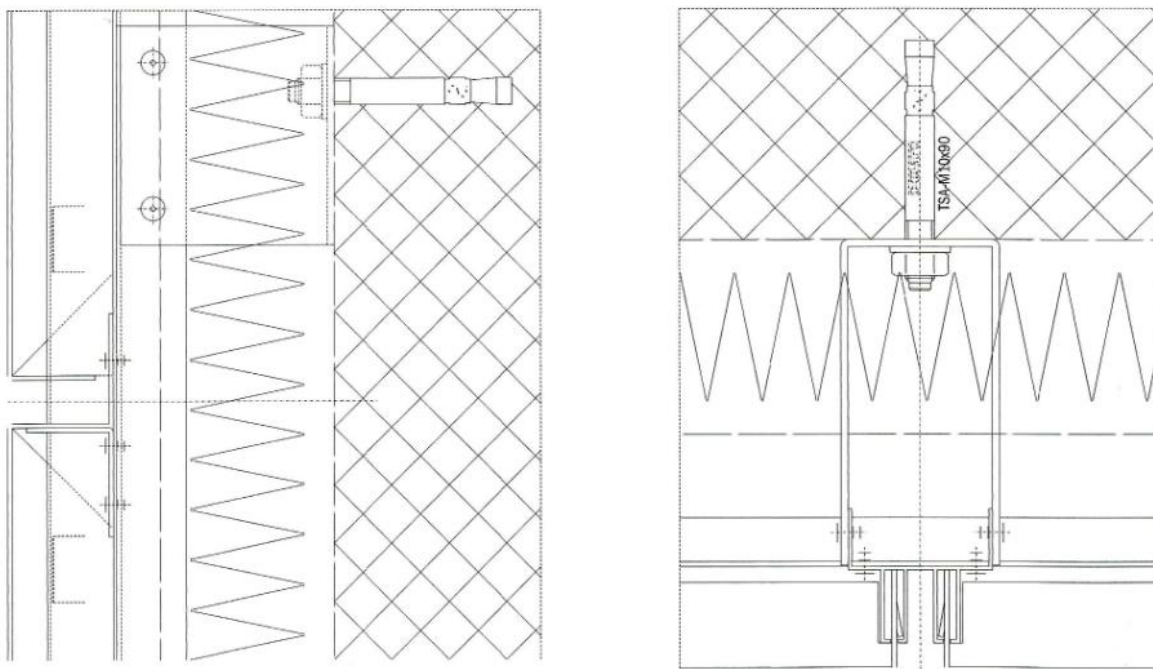
4.2.1.2 Hladne fasade

Pod oznako hladne fasade razumemo vse prezračevane fasadne sisteme, kar pomeni, da so sestavljeni iz zunanega in notranjega dela fasade, med katerima je zračni prostor (Slika 24). Zunanja lupina predstavlja primarno hidroizolacijo ter delno zvočno izolacijo, medtem ko notranja lupina opravlja funkcijo toplotne izolacije in sekundarne hidroizolacije. Pri prezračevani fasadi vstopi zrak v fasadni sistem pri vznožju fasade in izhaja pri zgoraj ležečih odprtinah in fugah.



Slika 24: Sestava hladne fasade (<http://www.befestigungsfuchs.de/blog/hinterlueftete-fassade-was-ist-das/>)

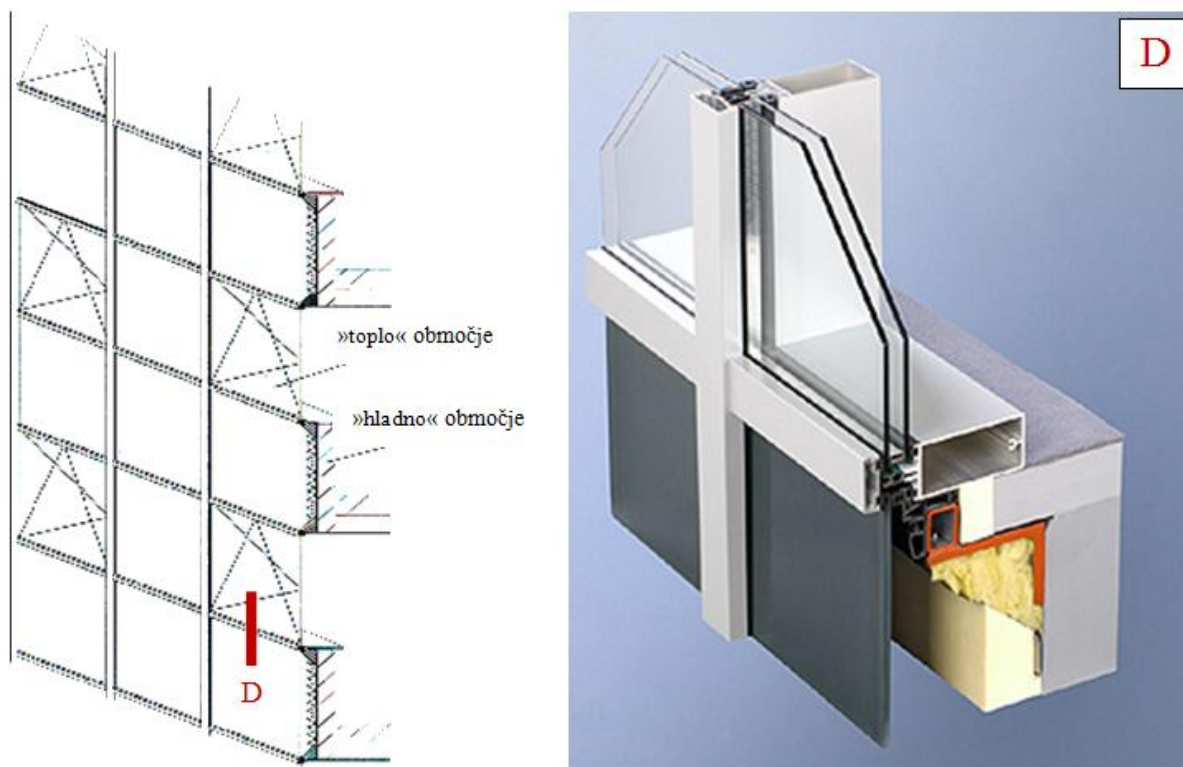
Toplotna izolacija leži na zunanji strani notranjega dela fasade. Ta tip fasade izhaja iz starih načinov gradnje podeželskih hiš, pri kateri so skrilavec, skodelne plošče in klasični zidaki služili za zunanjo lupino prezračevane fasade. Moderno prezračevano fasado sestavljajo podkonstrukcija s pritrilnim materialom, plast toplotne izolacije, prezračevalni medprostor in zaključna fasadna obloga kot zunanji ovoj fasade. Podkonstrukcija je največkrat iz aluminijaste pločevine, pri manjših in lesenih zgradbah pa tudi iz lesenih letev, ki se namestijo na rastrsko mrežo in se s pomočjo sider (pri leseni konstrukciji lahko tudi samo z vijaki) pritrdijo na osnovno nosilno konstrukcijo. Nato sledi sloj toplotne izolacije, ki jo največkrat dodatno zavarujemo s paroprepustno sekundarno hidroizolacijsko folijo. Sledi zračni medprostor v debelini 40–60 mm, ki zagotavlja učinkovito prezračevanje toplotne izolacije. Fasado zaključuje zunanji vidni ovoj, ki je največkrat iz obešenih (včasih lepljenih) plošč iz različnih materialov (npr. steklenih, aluminijastih, keramičnih plošč, plošč iz umetnih materialov – Alucobond, Trespa ipd.). Vse skupaj predstavlja sodobno oblikovanje, ki zagotavlja najrazličnejše možnosti barv in geometrije. Zunanost fasade je nerjaveča, barvno obstojna, varna pred zunanjimi vplivi, nezlomljiva in brez vzdrževanja, zato je pogosta izbira za energijsko sanacijo fasadnih sistemov starejših in dotrajanih objektov.



Slika 25: Vertikalni (levo) in horizontalni (desno) prerez izvedbe hladne (prezračevane) fasade (Reflex mapa: Prezračevane fasade, avgust 2004, str. 10–13)

4.2.1.3 Hladno-tople fasade

Že poimenovanje hladno-tople fasade nam pove, da območje hladne fasade prehaja v območje tople in obratno. Gre za prezračevano fasado, pri kateri so toplotno izolirana okna ali fiksne zasteklitve montirane v hladnem predelu zunanje lupine, zato se ta tip fasade uporablja na stavbah, ki imajo nize okenskih sten in parapetne zidove, kamor se lahko namesti sloj toplotne izolacije. Skupaj tvorita notranjo lupino prezračevane fasade.



Slika 26: Hladno-topla fasada (http://www.ecosol.uni-bremen.de/ecosol/cd/t/t_16.htm in <http://www.baulinks.de/webplugin/2004/0168.php4>)

4.2.2 Tipi fasad glede na lego v konstrukciji

Nosilna konstrukcija večnadstropnih stavb se pogosto izvede kot endoskeletna vertikalna konstrukcija (jeklena, armiranobetonska ...) ali eksoskeletne nosilne plošče (armiranobetonske, sovprežne ...). Fasadni sistem se priključuje na takšno nosilno konstrukcijo kot okenska stena med posameznimi etažami ali kot obešena fasada (Slika 28).

4.2.2.1 Fasada z etažno višino okenskih sten

Pri fasadi z etažno višino okenskih sten ostaja primarna nosilna konstrukcija vidna in prekinja fasado, pozicionirano med etažne plošče in nosilne stebre, na katere se fasadni elementi največkrat zasidrajo z natičnimi sidri (trni). Vertikalne aluminijaste profile je potrebno primerno dimenzionirati, saj prevzamejo obtežbo vetra, medtem ko lastno težo samih fasadnih nizov prevzamejo nosilna AB-plošča in stebri. Zaradi zgoraj naštetih lastnosti se lahko fasada izvede tudi v enonadstropnih stavbah in stanovanjskih hišah, npr. v zimskih vrtovih.

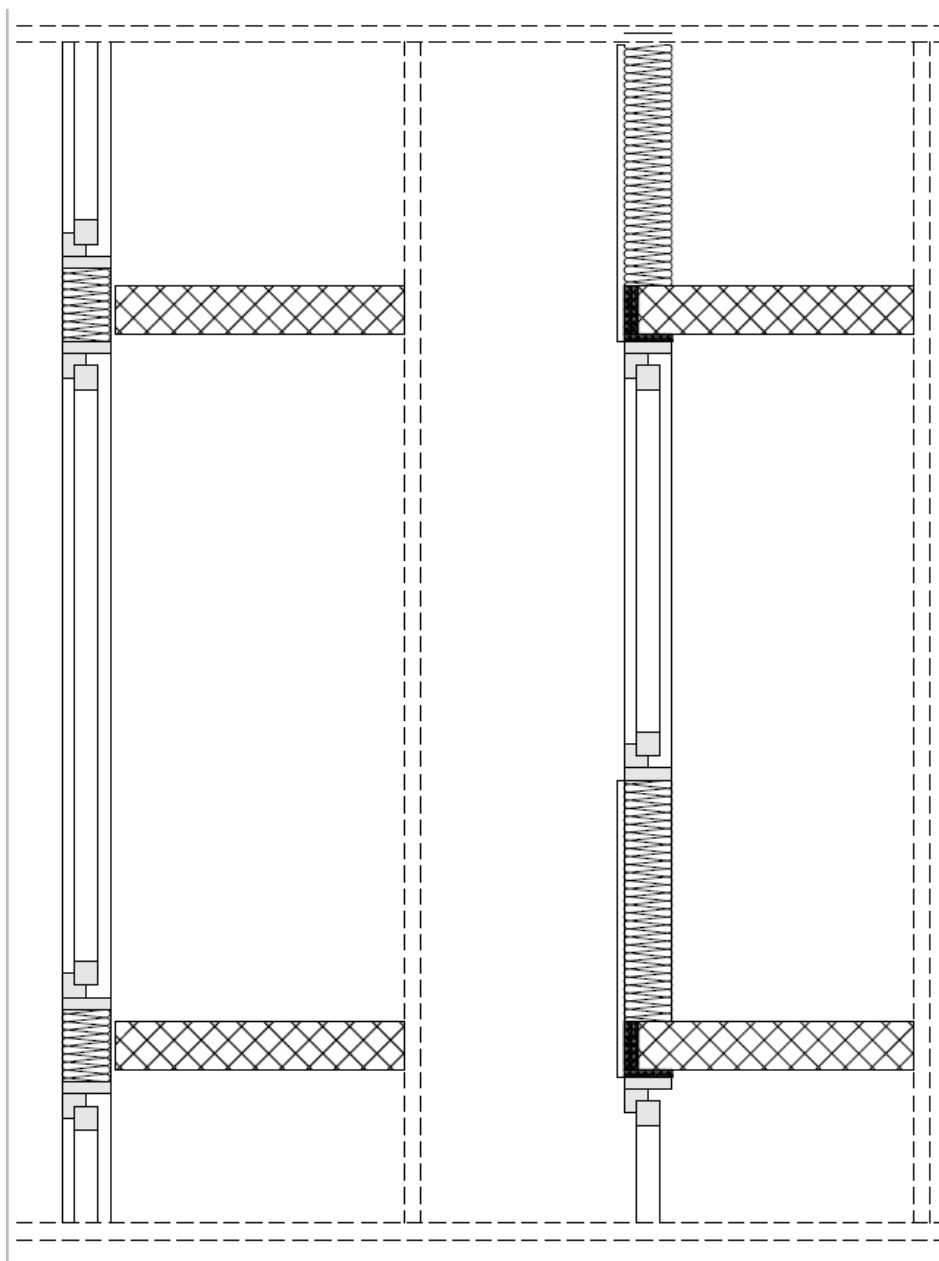


Slika 27: Fasada okenskih sten (<http://ggames.com/facades/window-walls/gallery?display-image=36447>)

4.2.2.2 Obešena fasada

Pri večnadstropnih stavbah je fasada največkrat postavljena pred nosilno konstrukcijo, da lahko kontinuirano prehaja med etažnimi višinami vse od tal do vrha stavbe. Fasada je pritrjena na objemna sidra, ta pa so pritrjena na čelo nosilne konstrukcije. Pri takšni izvedbi fasade govorimo o obešeni fasadi (»Curtain Wall«). Nosilna konstrukcija tako ne vpliva na zunanji izgled fasade, obenem pa je tudi lažja za izvedbo. V nasprotnem primeru je potrebno fasado v vsaki etaži prilagajati etažnim odprtinam, kar je pri izvedbi AB-plošč težko, saj vemo, da je točnost izvedbe merjena v centimetrih in bi se lahko fasadne stene v vsaki etaži spreminjale. Z obešeno fasado lahko te geometrijske nepravilnosti dokaj enostavno zakrijemo in dosežemo enotni zunanji videz fasade, pri katerem so vsi rastru enaki ali poljubni. Prav tako se z uporabo lahkih nosilnih materialov fasade (aluminija) poveča uporabna površina znotraj stavbe; poleg tega s tem tudi ne povzročimo velikih dodatnih obremenitev osnovne nosilne konstrukcije. Tak tip fasade se uporablja izključno pri večnadstropnih stavbah; pogosto govorimo o velikih površinah fasadnih konstrukcij (npr. stolpnice, bloki, hoteli, poslovne stavbe ipd.). Pri le-teh moramo pri pripravi fasadnega sistema upoštevati določena pravila. Vedno moramo upoštevati geometrijsko odstopanje osnovne nosilne konstrukcije od projektnih dimenzij in dopustiti izravnavo le-tega pri montaži fasade. V praksi to pomeni, da fasado vedno pozicioniramo približno 20–30 mm pred nosilno konstrukcijo. Drugi pomemben dejavnik so toplotni raztezki aluminijastih profilov, ki so pri takšnih fasadah neposredno izpostavljeni vremenskim vplivom. Vertikalni nosilni profili so lahko dolgi tudi do 7 metrov – največkrat so uporabljeni glede na etažno višino (3–5 m) – medtem ko so nenosilni vertikalni profili pogosto tudi maksimalnih dolžin (pokrivni,

adapter, pritisni profili idr.). Vsak vertikalni nosilni profil zato sidramo na dveh mestih, enkrat z nepomično in enkrat z drsno podporo, s čimer omogočimo raztezanje materiala. Pomembno je, da tudi vertikalne profile, ki si sledijo po višini eden za drugim, primerno dilatiramo (približno 10 mm), vmes pa vstavimo dva stebra, spojena z vstavnim aluminijastim profilom.



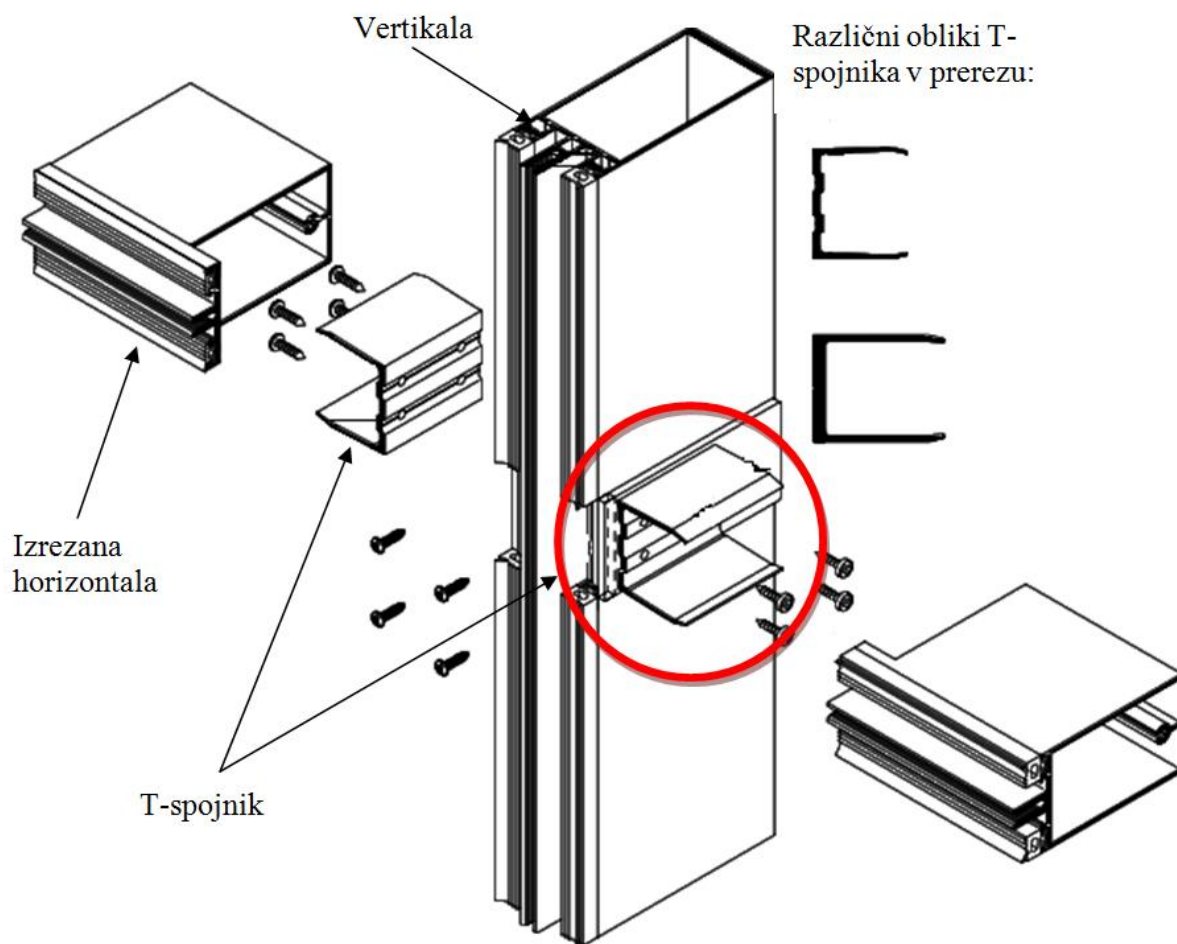
Slika 28: Primerjava vertikalnih prerezov obešene fasade (levo) in nizov okenskih sten (desno)

4.2.3 Tipi fasad glede na konstruktivno izvedbo

Aluminijaste fasade delimo glede na konstruktivno izvedbo oziroma izgradnjo na steber-prečka in element fasado. Oba fasadna sistema se lahko izvedeta v vseh variacijah prejšnjih razdelitev aluminijastih fasad.

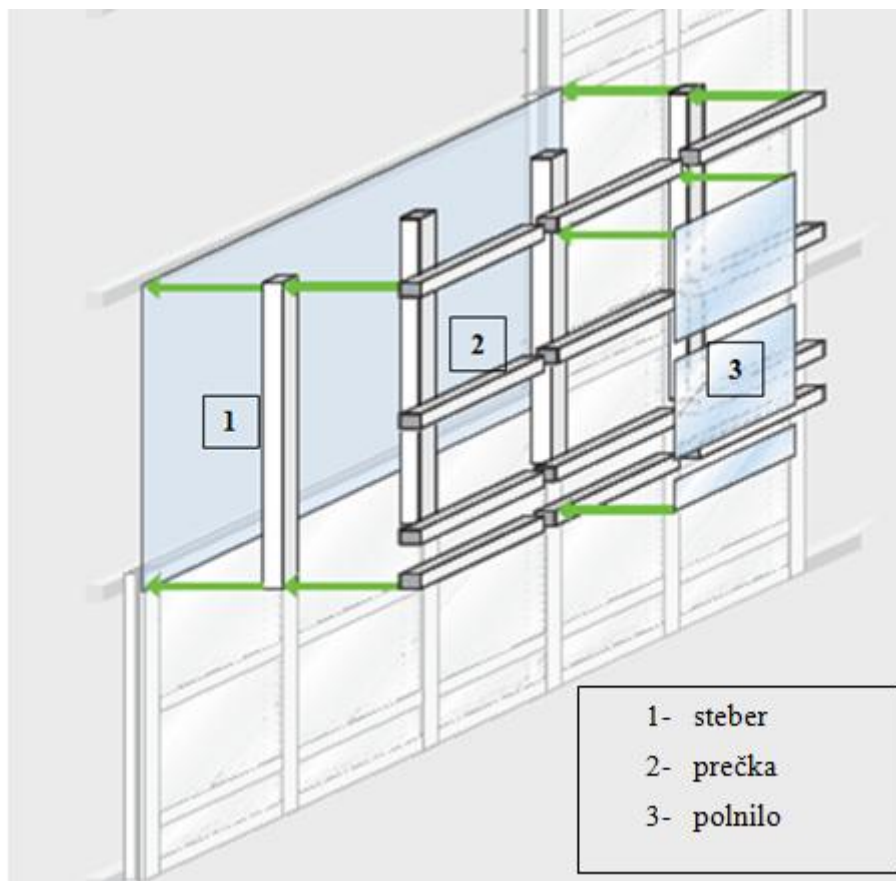
4.2.3.1 Steber-prečka fasada

Steber-prečka (*»Pfosten-Riegel«*) fasada je največkrat uporabljena aluminijasta fasada v našem urbanem okolju. Gre za sistem vertikalnih in horizontalnih aluminijastih profilov (poznamo izraza steber/prečka in vertikalna/horizontalna), ki prevzamejo statične obremenitve fasadnega sistema. Pozicionirani so na rastrsko mrežo, mednje pa so nameščena polnila (steklo, aluminijasti izolacijski paneli, aluminijaste plošče ipd.). Polnila so na profile največkrat pritrjena s pritisknim (steklitvenim) profilom in so obojestransko zatesnjena s kvalitetno izdelanimi pripadajočimi EPDM-tesnili. Na pritiskni profil je na koncu nataknen še okrasni pokrivni profil, lahko pa se izvede tudi brez obeh (strukturna fasada). Obtežba polnil se preko dveh nosilcev polnil prenaša na prečko, od tam pa na vertikalno, sidrano na podporo, ki na koncu prenese obremenitev na osnovno nosilno konstrukcijo. Proizvajalci aluminijaste profilacije izdelujejo filigranske profile različnih oblik, toplotnih in zvočnih prevodnosti, protivlomnih, protistrelnih in protipožarnih lastnosti ter vidnih širin, največkrat med 50 in 60 mm. Globina profilov se določa glede na statične zahteve in znaša nekje med 50 in 250 mm. Steber je vedno podprt z dvema podporama, eno nepomično in eno pomično. Spoj med stebričkom in prečko se izvede glede na zahteve proizvajalca, največkrat s T-spojnikom, ki je navadno aluminijasti profil v obliki črke U. Montiranje se izvede na vertikalni profil, na katerega se privijači horizontalni profil. Včasih se horizontala dodatno pritrdi tako, da se je del izreže, preostanek pa se iz zunanje strani fasade nasloni na vertikalno in privijači (Slika 29).



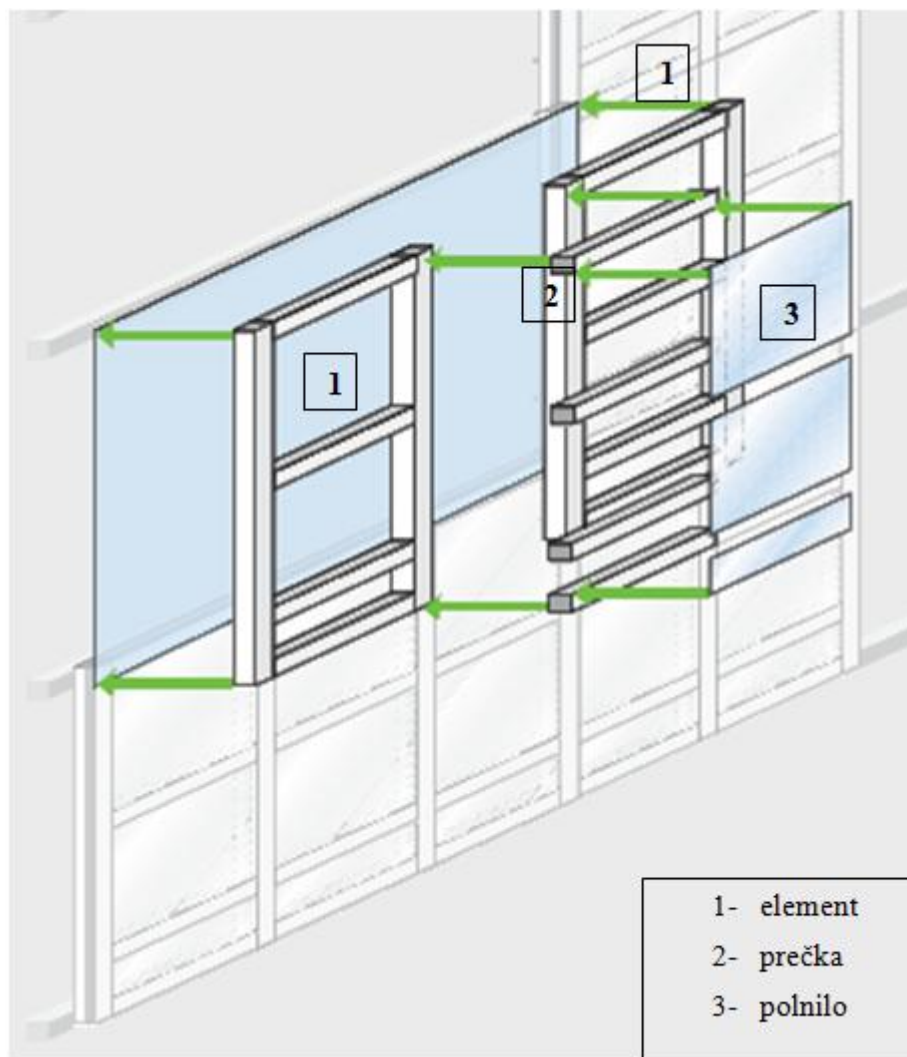
Slika 29: Spoj z izrezano horizontalo in T-spojnikom, vijačenim na vertikalo (Prolupin, 2016b)

Montaža takšnega sistema poteka na gradbišču. Za proizvodnjo se pripravijo delavniški načrti posameznih delov fasadnega sistema: vertikal, horizontal, pritisknih in pokravnih profilov, sider, stekla, panelov in pločevine. Tako pridejo na mesto vgradnje ločeno izdelani segmenti fasadnega sistema. Montaža steber-prečka fasade se lahko izvede na dva načina: z montažo posameznih palic (Slika 30) ali lestveno montažo (Slika 31). Zaporedje montaže posameznih palic je naslednje: v osnovno nosilno konstrukcijo se najprej s sidri pritrdijo vertikalni stebri, nato horizontalne prečke, sledijo polnila in glede na izvedbo fasade še pokrivni profili.



Slika 30: Sistem montaže posameznih palic steber-prečka fasade (Schüco Elementfassaden Prospekt, 2009: str. 7)

Lestvena montaža je neke vrste vmesna faza med steber-prečka in element fasado. Nekateri elementi so tako končno pripravljene v proizvodnji za samo vgraditev skupaj z vsemi polnili (sistem element fasade). Nato te elemente izmenično s prostimi rastrami pozicioniramo na fasadi, kjer po načelu montaže posameznih palic med dva elementa vstavimo prečke in polnila. Čas montaže je tako krajši kot pri prvem načinu izvedbe montaže.



Slika 31: Sistem lestvene montaže steber-prečka fasade (Schüco Elementfassaden Prospekt, 2009: str. 7)

V obeh primerih je čas montaže slabša stran fasadnega sistema steber-prečka, vendar pa slednji prinaša tudi pozitivno lastnost, saj se lahko geometrijska odstopanja nosilne konstrukcije od projektne dokumentacije z gradbenimi deli dokaj enostavno popravijo in montaža se lahko nadaljuje brez predelave elementov v proizvodnji.

4.2.3.2 Element fasada

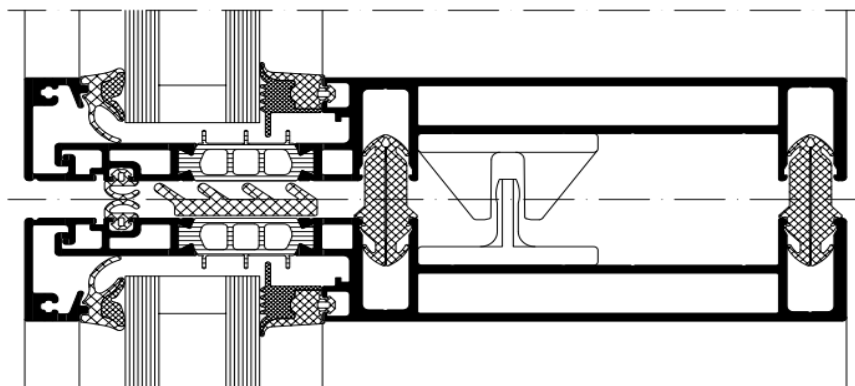
Fasadni sistem, ki sestoji iz posameznih modulov, projektiranih in izdelanih kot zaključni elementi, imenujemo element fasada. Moduli se v celoti – skupaj z vsemi polnili – pripravijo v proizvodnji in se na gradbišču samo sidrajo na predpripravljene nastavljive podpore. Montaža posameznih elementov sledi rastrskemu zaporedju, saj ima vsak izmed njih točno določeno pozicijo v fasadi in elementov ni

mogoče izpuščati ali preskakovati (Slika 32). Sama montaža poteka s pomočjo avtodvigal in žerjavov, saj je potrebno elemente dvigniti na njemu pripadajočo pozicijo v fasadi, kjer ga monterji pritrdijo na že pripravljena sidra. S tem nov element enostransko priključijo k izvedenemu delu fasade. Običajno so elementi etažnih višin omejeni s težo samih elementov (tudi več kot 600 kg) in transportnimi možnostmi.



Slika 32: Montaža element fasade (Schüco Elementfassaden Prospekt, 2009: str. 7)

Širina posameznih profilov v elementu je okoli 30 mm, skupna vidna širina na notranji strani pa približno 65 mm. Možno je kombinirati tako strukturno fugo kot tudi pokrivne profile, in sicer v vertikalni ali horizontalni smeri. Strukturna fuga je širine od 10 do 20 mm. Profili za okvirje imajo utore za prevzem dilatacijskih tesnil, ki so razporejena v različnih ravninah. Največkrat je na horizontalnem stiku elementov izvedena ravnina tesnjenja za odvod vode iz konstrukcije. Prezračevanje utorov profilov in izravnava parnega tlaka sta izvedena preko štirih vogalov zastekljenega polja, vedno v utoru profila stebra. Tesnjenje se na gradbeno konstrukcijo izvede z UV-odpornimi tesnili.

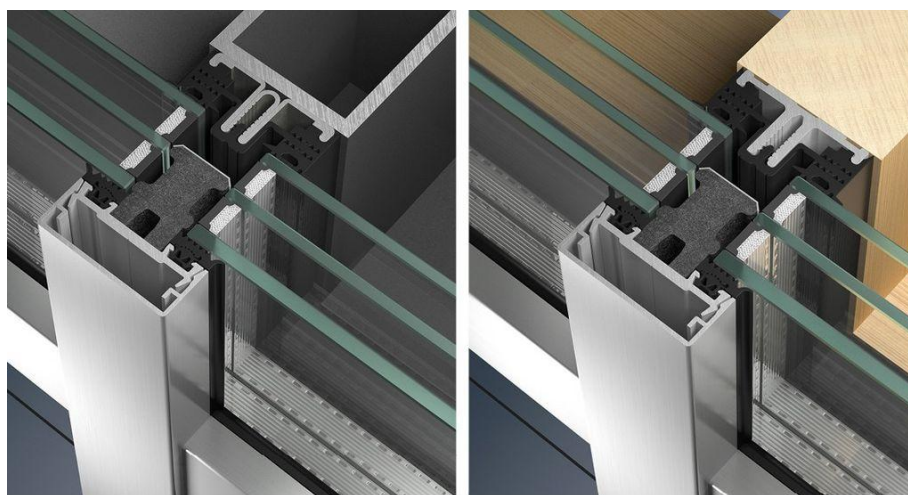


Slika 33: Prerez čez sistem element fasade (Prolupin, 2016a)

Prednost te fasade je natančnost izdelave končnih elementov, saj so ti kontrolirani že med procesom proizvodnje, saj večina izvajalcev aluminijastih fasad zagotavlja visoke standarde in kakovost izdelave. Prav tako je na gradbišču v času montaže potrebno manjše število delavcev, čas montaže pa je kratek. Prednost je tudi v načinu montaže, ki dovoljuje nadaljnja gradbena, inštalacijska in montažna dela drugim udeležencem v projektu gradnje objekta takoj po zaključeni montaži enega nivoja (etaže) element fasade. Tako jo je mogoče stroškovno boljše optimizirati kot npr. steber-prečka fasado, vendar se kljub temu zanjo še vedno ne odloča veliko investorjev/arhitektov, ker zahteva veliko natančnost izdelave osnovne nosilne konstrukcije objekta. V samem procesu gradnje je utečena praksa, da se natančnost izdelave začne pri zaključnih delih, kar lahko za element fasado pomeni velike težave pri montaži in estetskem videzu fasade. Element fasada je najprimernejša za gradnjo večjih stolpnic in nebotičnikov, pri katerih se rasti ponavljajo v vertikalni in horizontalni smeri – to je tudi eden izmed razlogov, da se na našem območju – za razliko od večjih mest po svetu – te fasade uporablja zelo malo.

4.2.3.3 Fasadna nadgradnja

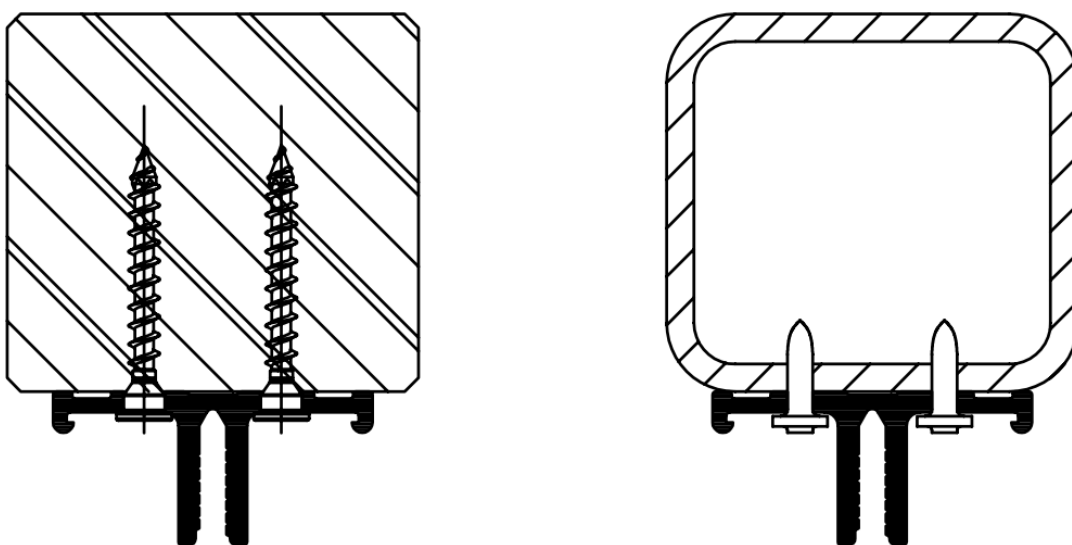
Fasadna nadgradnja (»Aufsatzkonstruktion« ali »Add on system«) je sistem fasade, ki je kombinacija aluminijaste fasade z nosilnimi vertikalnimi (stebri) in horizontalnimi (prečkami) profili iz drugih materialov. Zunanji videz fasade je praktično identičen steber-prečka fasadi, le da so tukaj nosilni elementi fasade iz lesa ali jekla.



Slika 34: Fasadna nadgradnja (Schüco Aufsatzkonstruktionen Prospekt, 2009: str. 3)

Prednosti fasade z jeklenimi profili so možnost izvedbe velikih rastrov, ki omogočajo velike razsvetljene prostore in težo polnil tudi do 600 kg, možnost kombiniranja pokravnih profilov iz

standardnega sistema steber-prečka fasad ter možnost namestitve fasadnega dela iz obeh strani jeklene nosilne konstrukcije. Medtem ima fasada z lesenimi stebri in prečkami prav gotovo trajnostno noto, ki poudarja domačnost in kvaliteto bivanja v prostorih, kjer so prav tako dopuščeni veliki razponi, teža stekel do približno 300 kg, kombiniranje pokrivnih profilov iz standardnega sistema steber-prečka fasad, namestitev fasadnega dela iz obeh strani lesene nosilne konstrukcije in kombiniranje lesa z notranjo opremo prostora. V opisanem sistemu fasade je torej na jekleni ali leseni nosilec privijačen nasadni profil z integriranimi EPDM-tesnili, ki mu sledijo polnilo, pritisni profil z EPDM-tesnili in pokrivni profil.



Slika 35: Princip pritrjevanja fasadnega sistema na različne nosilne konstrukcije (Schüco Aufsatzkonstruktionen Prospekt, 07/09)

4.2.4 Tipi fasad glede na zunanji videz fasade

Glede na zunanji videz fasade ločimo klasične fasade s pokrivnim profilom ter strukturne in polstrukturne fasade. Izvedba takšnih fasad je možna pri vseh vrstah toplih (neprezračevanih) fasad.

4.2.4.1 Klasična fasada s pokrivnim profilom

Fasadni sistem, pri katerem prostor med posameznimi polnili na rastrski mreži prekrijemo s pokrivnim profilom, imenujemo klasična fasada s pokrivnim profilom (v žargonu tudi *pokrivno kapo*); zanjo se pojavlja tudi poimenovanje kontinuirana fasada. Pri tem fasadnem sistemu privijačimo polnila fasade (steklo, pločevinaste ter steklene panele idr.) s pritisnim profilom v nosilni horizontalni in vertikalni

profil. Pritisni profil ima na strani polnil integrirana EPDM-tesnila, ki zagotavljajo kvalitetno tesnjenje. Na nasprotno stran pritrdimo pokrivni profil, ki se največkrat kar natakne s »klik« sistemom. Obstajajo tudi pokrivni profili, ki obenem opravljajo funkcijo pritisnega profila. Imajo vidno pritrjevanje (steklitvene vijake), včasih pa celo predstavljajo imitacijo strukturne fasade. Proizvajalci aluminijaste profilacije izdelujejo pokrivne profile različnih dimenzij in oblik (polokrogle, ogate, elipsaste, enostransko nagnjene, z (ne)vidnimi vijaki itd.). Za odvod kondenčne vlage iz sistema pri takšnem sistemu fasade je potrebno narediti izvrtine za drenažnike (možni izrazi so tudi: izlivniki ali kondenzniki) v pritisni in pokrivni profil.



Slika 36: Klasična aluminijasta fasada s pokrivnim profilom
(<http://www.akootherm.de/systeme/fassaden/at500cc/> in <http://www.sartorius-metalltechnik.de/html/pr-fassade.html>)

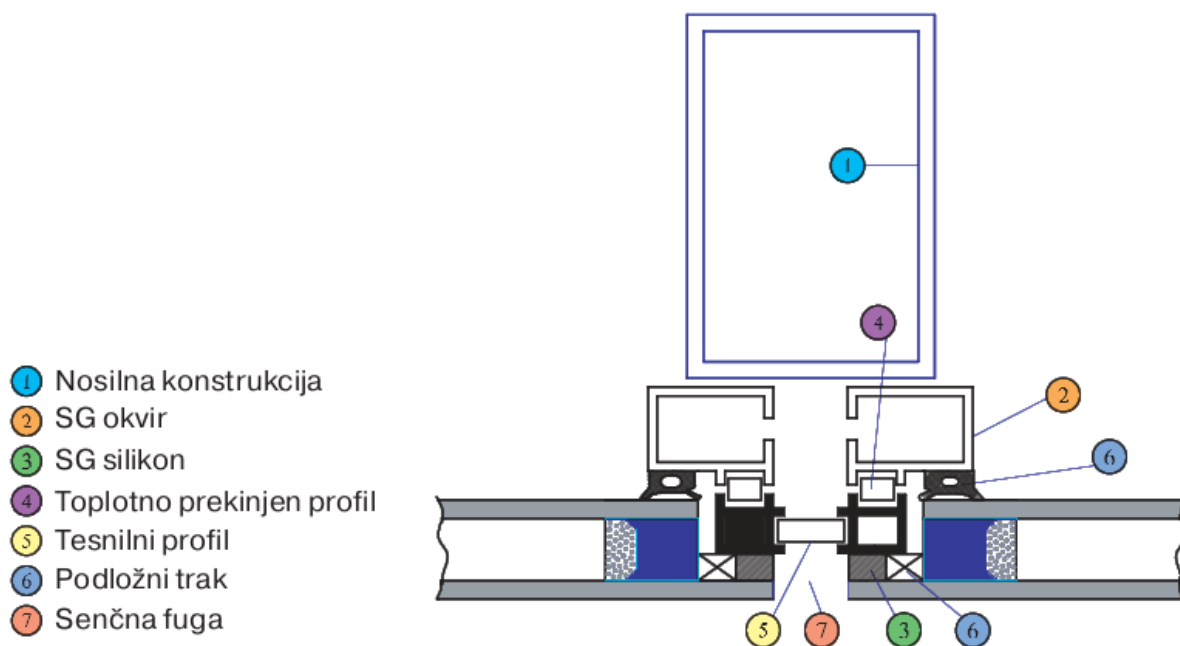
4.2.4.2 Strukturna fasada

Glavna značilnost strukturne fasade (*SG* – »*Structural-Glazing*«) je videz popolnoma steklene gladke površine, brez kakršnihkoli prekinitev in vidnih profilov. Pri takšnih fasadah posamezna polnila (steklo, stekleni paneli) ločujejo le zelo ozke senčne fuge ali silikonski stiki. Da govorimo o strukturni fasadi, mora biti fasadno steklo (zunanja šipa izolacijskega stekla ali kaljeno parapetno steklo) lepljeno na podkonstrukcijo in izvedeno brez pritisnih in pokrivnih profilov.



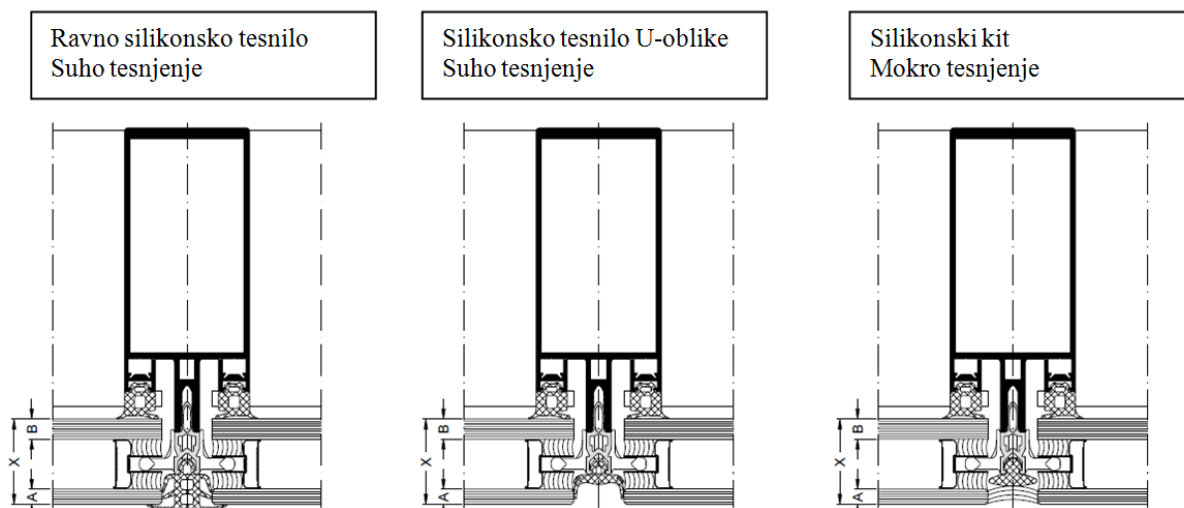
Slika 37: Strukturna izvedba steber-prečka fasade na objektu Mall of Split

Pri klasičnih strukturnih fasadah mora biti zunanja šipa izolacijskega stekla vedno velike dimenzije, da preko zamikov steklo nalepijo na podkonstrukcijo s posebnimi silikoni (Slika 38). Preko teh silikonov in dodatnih nosilnih držajev prenaša silo lastne teže in vetrne obremenitve, zato je vedno kaljeno s toplotnim preizkusom (ESG-H). Lepljenje stekla na okvirje se – v izogib nekvalitetno izvedenim stikom na gradbišču – vedno opravi že v proizvodnji ob mnogih preizkusih in kontrolah. Takšni sestavljeni elementi se nato na gradbišču z enostavnim obešanjem pritrdijo na nosilno konstrukcijo iz stebrov in prečk. Izgled približno 20 mm širokih fug dopolni tesnjenje med elementoma s tesnilnim profilom.



Slika 38: Klasična strukturna fasada z zamaknjeno zunanjo šipo (Hajdinjak, 2009: str. 199)

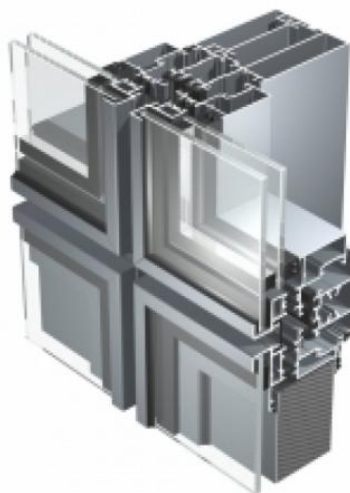
Z razvojem steklarske tehnologije in sledenjem trendom aluminijastih fasad so razvili poseben distančnik, ki je postal del robnega tesnjenja. Nerjaveči jekleni distančnik je dvodelni in ima na zadnji strani pritrjen U-profil, kamor se zatakne pritrdilni element, ki nato preprečuje izpad polnila. Zaradi takšnega distančnika za fiksne zasteklitve ni več potrebna zamaknjena zunanja šipa izolacijskega stekla. Sistem je primernejši predvsem za fasade z malo odpirajočimi polji. Po montaži nastanejo na pročelju filigranske fuge, širine približno 20 mm – njihov potek poudarja delitev zgradbe na raste. Fuge (Slika 39) so lahko izvedene s silikonskim profilom (suho tesnjenje) v obliki črke U ali površinsko poravnane – npr. zapolnitev s strukturnim kitom (mokra tesnjenje). Geometrija profilov z drenažnimi utori in zunanje tesnjenje fug med polnili zagotavljata dvojno zaščito pred vremenskimi vplivi. Odpirajoča polja se v fasado integrira na način, da je zunanji videz enak fiksnim poljem. Čas montaže strukturne fasade je malo daljši in izvedba zahtevnejša, a je sama atraktivnost zunanjega videza dovolj velik razlog, da se veliko investitorjev odloča zanjo.



Slika 39: Zunanje tesnjenje strukturne fasade in izvedba izolacijskega stekla z distančnikom za strukturne zasteklitve (Prolupin, 2016b)

4.2.4.3 Polstrukturna fasada

Pri polstrukturni fasadi so polnilni elementi zavarovani z aluminijastimi nosilnimi profili na zunanjem delu. Ti profili na rastrih tvorijo mrežo fug. Takšna fasada je največkrat sestavljena po sistemu steber-prečka. Njena posebnost je, da ni vidne razlike med fiksno zasteklitvijo v parapetnem delu in okni. Ker so odpirajoča okna integrirana v tanke nosilne profile, jo imenujemo tudi profilna ali integralna fasada. Na našem območju je uporabljena izjemno redko.



Slika 40: Polstrukturna fasada

(http://www.darrigoinfissi.it/infissi_in_alluminio/aluk/aw3_sistema_facciate_continue_verticali_isolate_a_taglio_termico.html)

4.3 Sestava aluminijaste fasade

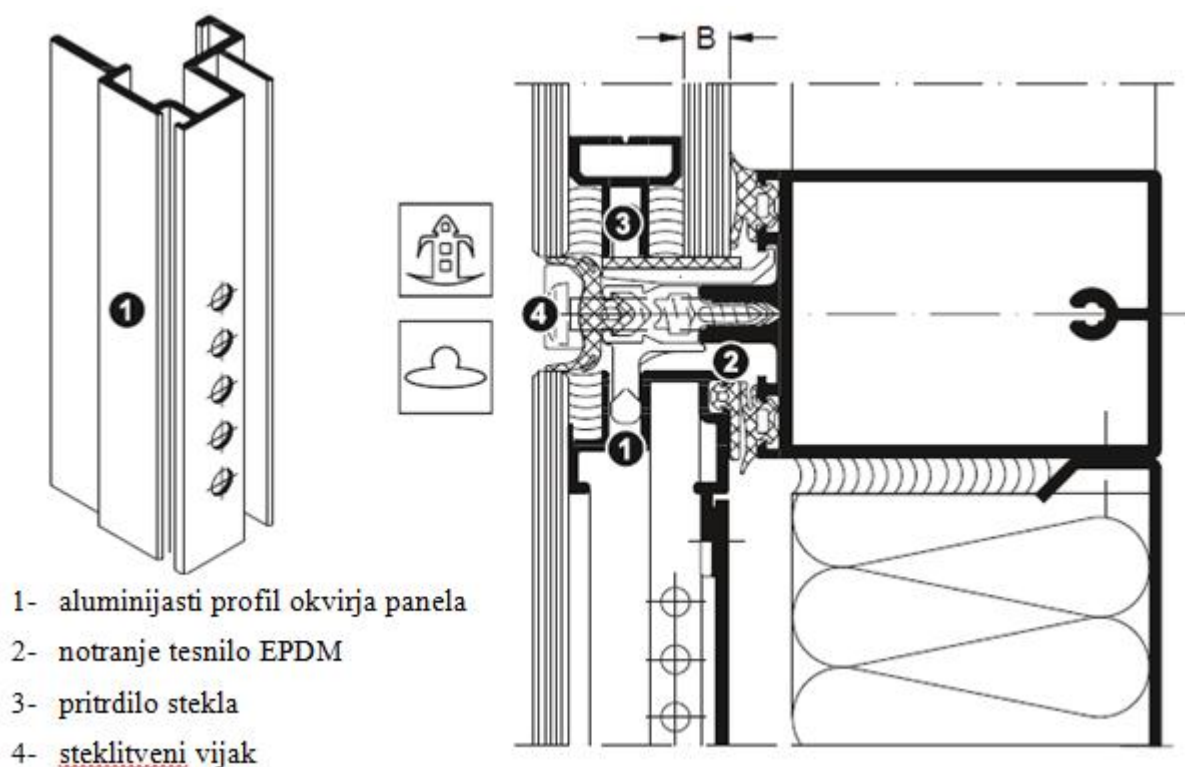
Osnovni obseg sestave aluminijastih fasadnih sistemov (nosilni horizontalni in vertikalni profili, polnila in pokrivni profili) je opisan v podpoglavju 4.2, Vrste aluminijastih fasad. V nadaljevanju smo pregledali še ostale elemente, potrebne za celovit in kvalitetno izdelan fasadni sistem.

Pri aluminijastih fasadah je najpomembnejša delitev glede na koncept konstrukcijskega sklopa. Pri hladnih fasadah gre za prezračevani fasadni sistem, odmaknjen od osnovne nosilne konstrukcije za medzračni prostor. Zunanja lupina je v tem primeru obešena preko sider in vertikalnih nosilnih fasadnih elementov.

Vsi drugi tipi fasad so topli ali vsaj toplo-hladni sistemi, ki vsebujejo tipične aluminijaste nosilne profile, polnila, pokrivne profile in odpirajoče vstavke (polja). Kot polnila aluminijastih fasadnih sistemov se uporabljajo predvsem izolacijska stekla in stekleni ter aluminijasti paneli. Njihovo sestavo se določa glede na zahteve investitorja oziroma arhitekta in je odvisna od (toplotnih in zvočnih) izolacijskih zahtev ter videza (material in barva). Izolacijska stekla so skoraj vedno sončnozaščitna, da preprečijo pregrevanje prostorov skozi velike površine steklenih fasad.

Princip sestave panela je zelo podoben, le da je na zunanji strani enkrat uporabljeno emajlirano steklo, debeline 6–8 mm, ali barvana aluminijasta pločevina, debeline 1,5–2 mm, oboje pa je največkrat

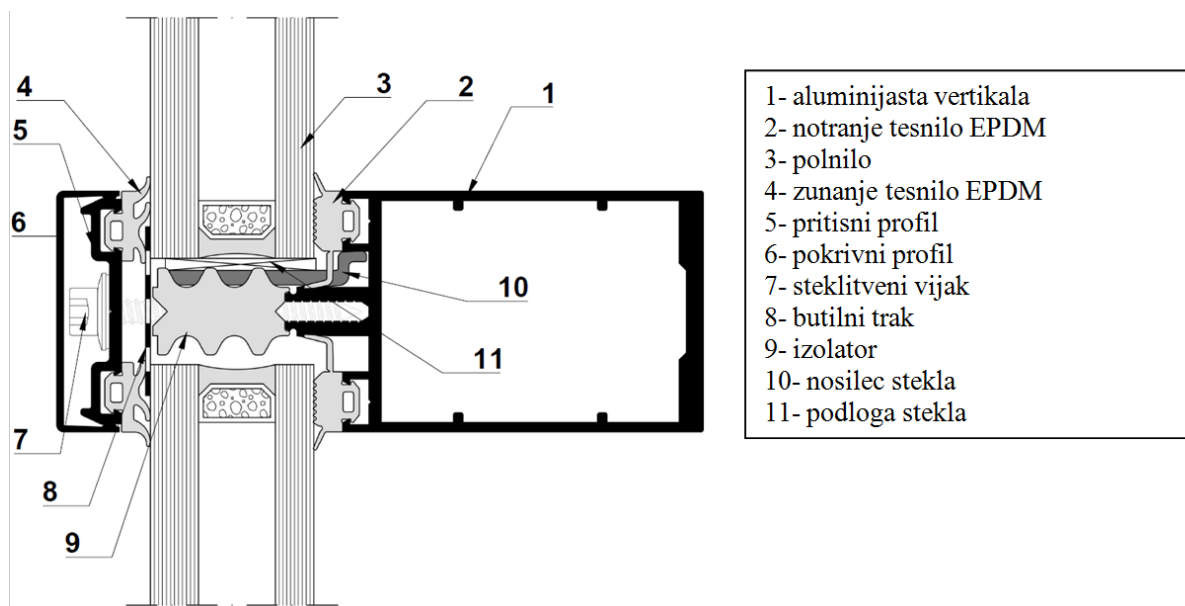
nalepljeno na tipski okvir ali na okvir (distančnik) iz umetnih materialov (purenita, koterma ipd.), izdelan v delavnici. Včasih temu sledi še ena pločevina, ki zapre okvir. Ta mora imeti obvezno izvrtine za prezračevanje in izravnavo parnega tlaka. Nato sledi toplotna izolacija, ki jo iz notranje strani zapremo s pločevino – masko (Slika 41). V primeru večjih površin posameznega panela na to pločevino namestimo še pritrdila za toplotno izolacijo, da se ta s časom ne bi posedla. Obstajajo tudi že posebne obojestransko samolepljive toplotne izolacije iz ekspaniranega (EPS) in ekstrudiranega (XPS) polistirena, ki jih nalepimo neposredno na steklo in pločevino ali med dve pločevini. Panelna polnila nameščamo predvsem na mestih parapetnih zidov ali etažnih plošč, kjer kasneje na notranji strani fasade izvedemo nevidno sidranje, inštalacije, spuščene stropove ipd.



Slika 41: Primer vgradnje steklopanela (Prolupin, 2016b)

Ne glede na vrsto polnila, se le-to na horizontalnem nosilnem profilu podpre na 2 mestih, približno 100 mm levo in desno od spoja vertikalnega ter horizontalnega aluminijastega profila. Nosilec polnila je določen glede na težo polnila, v primerih ekstremnih tež polnil pa se namesto nosilca na horizontalni profil privari kar ploščato jeklo. Na nosilec polnila nato pritrdimo še podlogo, največkrat kar iz PVC-materiala, včasih silikona. V sredinski utor nosilnega profila se nato – za izboljšavo izolativnih lastnosti izbranega sistema – natakne še dodatni izolator. Pri strukturnih fasadah in uporabljenem novem distančniku z utorom na zadnji strani na maksimalni razdalji 400 mm namestimo pritrdila za steklo. V primeru izvedbe klasične fasade s pokrivnim in pritisnim profilom se slednja privijačita v sredinski utor nosilnega profila s steklitvenim vijakom primerne dolžine, ki jo določa

debelina polnila. Prav tako se med zunanjim tesnilom in steklom zatesni prostor med sosednjima polniloma z butilnim trakom (Slika 42).

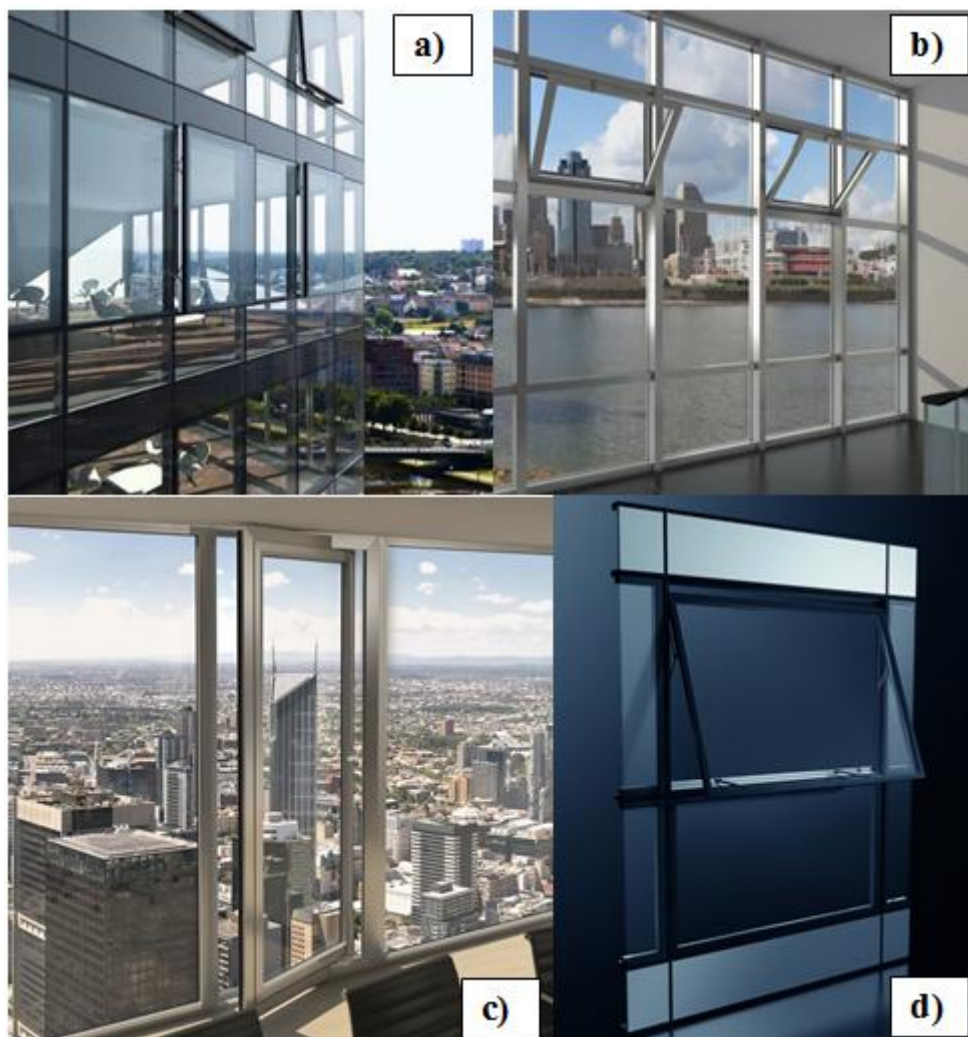


Slika 42: Sestavni deli tipičnega sistema aluminijaste fasade (pridobljeno na <http://www.akootherm.de/systeme/fassaden/at500cc/>)

Prednost tesnjenja z EPDM tesnili (pred gumijastimi) je elastomerna sestava, izredne lastnosti tesnjenja v ekstremnih vremenskih razmerah, temperaturna stabilnost in izredna odpornost proti obrabi, staranju, vremenskim vplivom, ozonu in UV-žarkom.

V aluminijaste fasade se lahko vgradijo različna odpirajoča polja (Slika 43):

- eno- ali večkrilna vrata (navadna, harmoni, drsna),
- klasično odpirajoča okna (vrtljivo nagibna (»Drehkipfenster«), nagibna (»Kipfenster« in »Senkkippfenster«) in vrtljiva (»Drehfenster«)),
- novejša izvedba odpiranja oken (vzporedno (»Parallel-Ausstellfenster«) in sredinsko vrtljiva okna (»Schingfenster«),
- okna, opremljena z elektromotorji za odvod plina in toplote (RWA –»Rauch und Wärme Abzugsystem«).



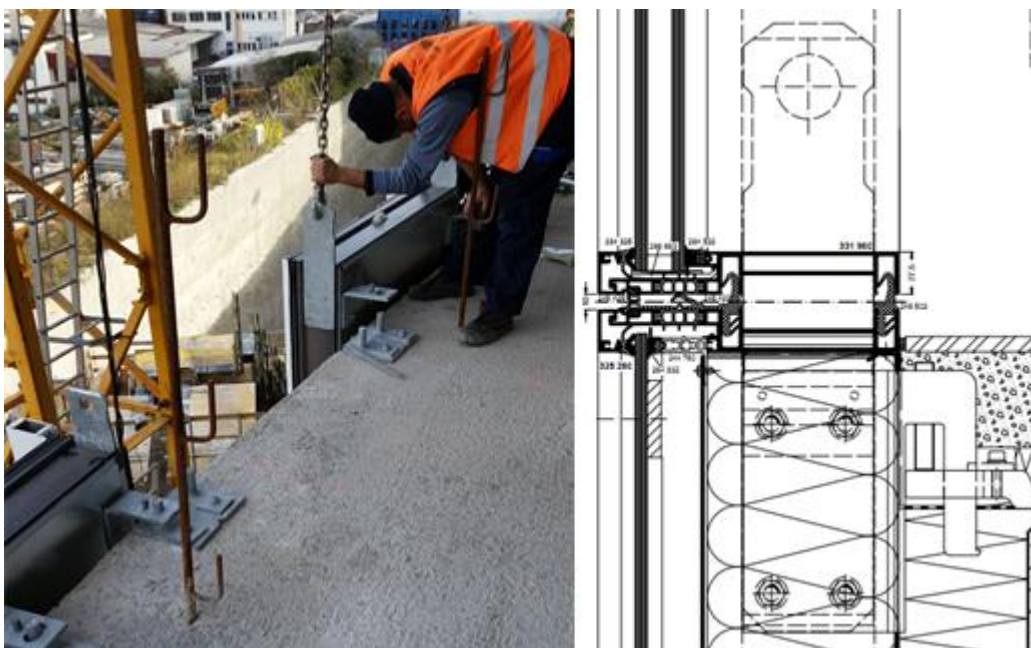
Slika 43: Različni načini odpiranja oken v fasadi: a) vzporedno, b) RWA-nagibno, c) sredinsko vrtljivo in d) nagibno odpiranje spodaj (<https://www.schueco.com/web2/de/architekten/produkte>)

4.4 Sidranje aluminijastih fasad

Aluminijasti fasadni sistemi so sicer res samonosilni, vendar le kot sekundarna nosilna konstrukcija, ki mora biti pritrjena na osnovno primarno nosilno konstrukcijo. Podpore oziroma sidra so torej tisti vezni elementi med obema konstrukcijama, preko katerih se vsa obtežba iz fasade največkrat prenese na etažno ploščo. Tako je potrebno upoštevati silo lastne teže fasadnega sistema in vetrno obremenitev (srk in pritisk), prav tako pa tudi izredne obtežne kombinacije (npr. potres).

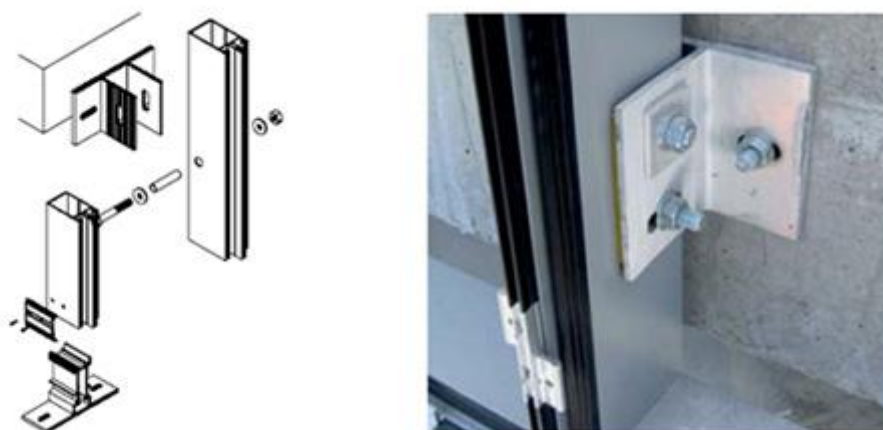
Sidra so največkrat izdelana iz aluminija ali pocinkane jeklene pločevine. Osnovni sidri sta objemno sidro ali konzola in natično sidro ali trn. Trn se uporablja predvsem pri fasadah okenskih sten in na spodnjem sidranju pri nogi objekta, medtem ko se drugod uporablja konzola. Vsak vertikalni profil, ki zgoraj omenjeno obtežbo prenese do sidra, se podpira na vsaj dveh mestih, pri čemer je vsaj eno sidro

nepomično (fiksno), ostala pa pomična (drsna). V primeru okenskih sten se drsni trn navadno pritrdi v preklado in fiksni v tlaku, saj tako zagotovimo, da je steber v tlaku. Nasprotno od tega, pa pri obešenih fasadah, kjer le-ta poteka pred nosilno konstrukcijo, fiksno konzolo največkrat namestimo na zgornjem delu stebra in drsno konzolo spodaj, saj tako dosežemo, da je steber v nategu in ni nevarnosti uklona. Pomembno je tudi, da vertikalne profile, ki si sledijo po višini eden za drugim, primerno dilatiramo (približno 10 mm), vmes pa pritrdimo dva stebra, spojena z vstavnim aluminijastim profilom dolžine približno 300–500 mm. Princip sidranja obešenih fasad je podoben, le oblike sider se razlikujejo.



Slika 44: Sidranje element fasade (Prolupin, 2016a)

Včasih sidranje kombiniramo tako, da imamo na eni strani vertikalnega profila natično sidro (trn), na drugi strani pa objemno (Slika 45). Takšen način uporabljamo takrat, kadar je ena etažna plošča večjih tlorisnih dimenzij od sosednje (zgornje ali spodnje).



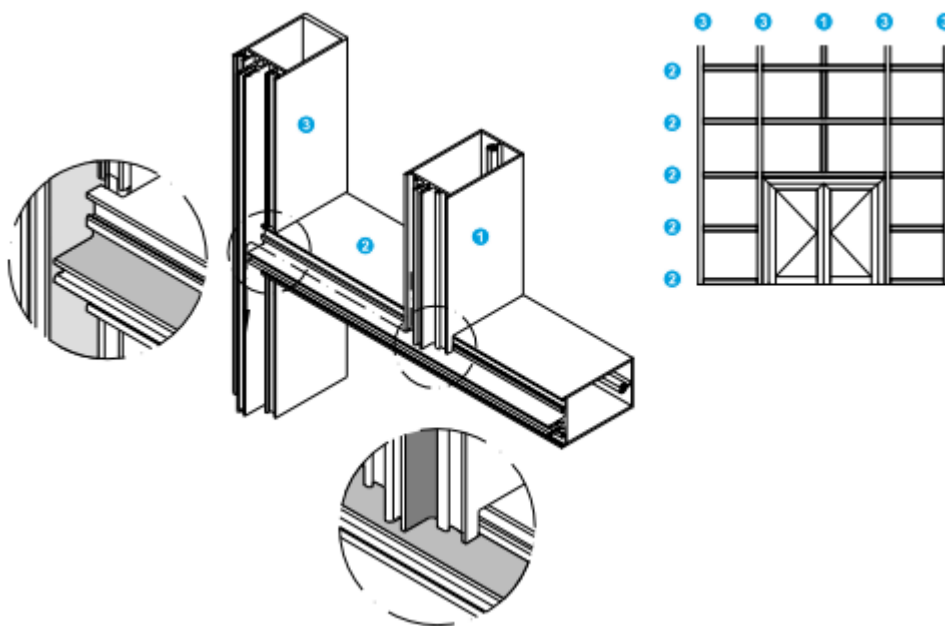
Slika 45: Prikaz obeh osnovnih vrst sider (levo) in izvedba konzolnega sidranja steber-prečka fasade (Prolupin, 2016b)

Eden najpomembnejših elementov sidranja je njegova pravilna montaža. Fiksno sidro ima predpripravljene luknje, primerne premeru vijaka, medtem ko ima drsno sidro te luknje v vertikalni smeri podolgovate (»Langloch«), da je možno dilatiranje stebra. To pomeni, da te luknje niso tam zaradi lažje montaže, ampak je vijak še vedno na točno določeni poziciji, odvisni od zunanjih klimatskih razmer, ki jih mora upoštevati pri montaži.

4.5 Odvodnjavanje in prezračevanje

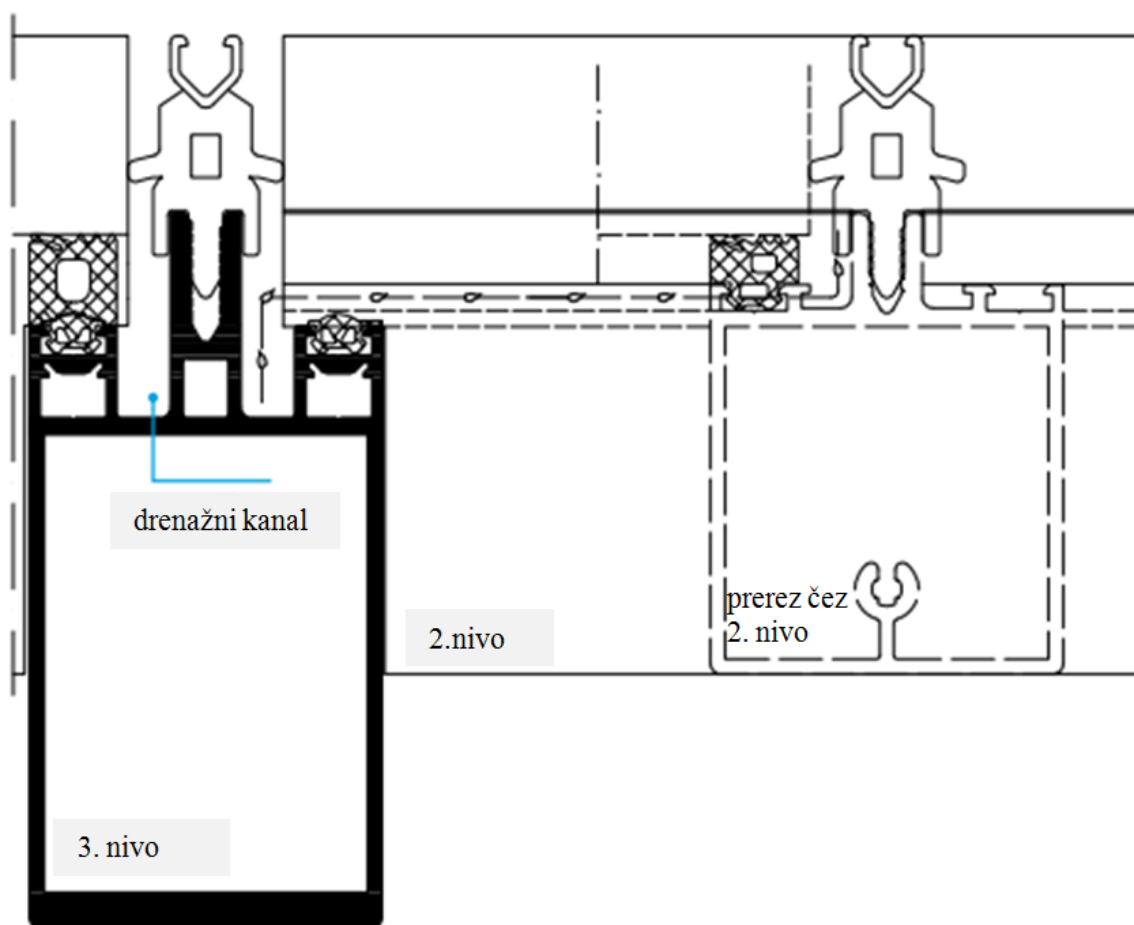
Kondenzacija vodne pare je pojav, značilen za vse fasadne sisteme, saj le-ti ločujejo zunanost od notranosti objekta, pri čemer je lahko temperaturna razlika med slednjima tudi 40 °C ali več. Pri temperaturi rosišča bo zrak dosegel 100-odstotno vlažnost – pri nespremenjeni temperaturi bo določen del te vlage kondenziral. Tega pojava ni možno preprečiti, potrebno pa ga je načrtovati in vlago kontrolirano odvesti iz fasadnega sistema. Vlaga lahko v sistem vdre tudi pri večjih nalivih, saj je sistem nemogoče popolnoma zatesniti.

Odvodnjavanje in prezračevanje aluminijastih fasad je odvisno od izbranega fasadnega sistema. Pri hladnih prezračevanih fasadah je reševanje tega problema enako kot pri kontaktnih fasadah, le da je toplotna izolacija na zunanji strani zaščitena s sekundarno hidroizolacijo in nato še z zunanjim ovojem prezračevane fasade.



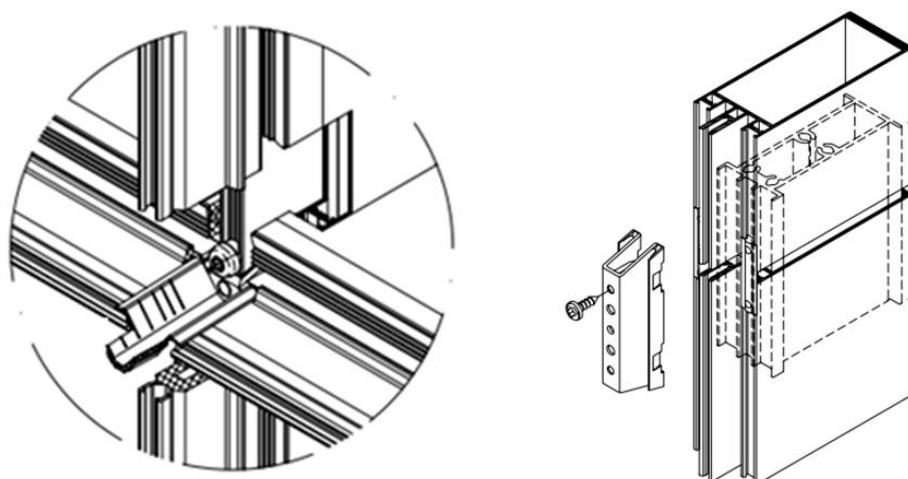
Slika 46: Nivoji steber-prečka fasade (Prolupin, 2016b)

Pri toplih aluminijastih fasadah je potrebno vodo, ki se kondenzira in nabere v kondenčnih kanalih, nadzorovano odvesti navzven, da ne bi prišlo do poškodb tesnil ali celo nosilnih elementov. Pri steber-prečka fasadnem sistemu je pomembna pravilna izvedba nivojev, saj steber in prečka ne ležita na istem nivoju. Ker se prečka rezka in nato vijaki v steber, je za ta del pomaknjena bolj proti zunanosti fasade. Izravnava teh ravnin se izvede z različnimi višinami tesnil. Na mestu spoja je pod prečko nameščeno dodatno EPDM-tesnilo (Slika 47).



Slika 47: Izvedba spoja steber-prečka fasade (Prolupin, 2016b)

Izmed treh nivojev (Slika 46) je osnovni vertikalni profil 3. nivo, horizontalni profil 2. nivo, vertikalni profil, ki se izvede med posameznimi horizontalnimi profili nekje med fasado (npr. nad vrati), pa je 1. nivo. Odvodnjavanje vedno izvedemo od prvega proti zadnjemu nivoju. Pri nekaterih profilacijah za 1. nivo uporabimo horizontalni profil, kljub temu da je pozicioniran v vertikalni smeri. Na koncu torej dovedemo vodo do stebra (3. nivoja), na katerega moramo namestiti posebne elemente za prehod vode na mestih spoja dveh stebrov ter vsaj en drenažnik (kondenčnik ali izlivnik) v višini najnižje prečke na stebri (ali približno na 8 metrov), ki to vodo odvede iz sistema navzven.



Slika 48: Izvedba odvodnjavanja stebra s kondečnikom in preklopom (Prolupin, 2016b)

Nujno potrebno je tudi izravnati parni pritisk iz sistema. To je največkrat izvedeno v obliki drenažnikov ter z odprtinami na spodnji strani pokrivnega profila v primeru izvedbe klasične fasade, kjer slednji služi tudi kot predprostor za izenačevanje pritiska.

V podjetju se največ srečujemo z aluminijasto profilacijo Schüco, ki velja za eno najkvalitetnejših. Ker smo v nadaljevanju opravljali preiskave na preizkušancu profilacije Schüco FW50+ (za izvedbo steber-prečka aluminijaste fasade), smo se v poglavju 4 (Aluminijaste fasade) v veliki meri opirali na interni projektni katalog podjetja Schüco (Prolupin, 2016), ki je namenjen arhitektom v začetni fazi priprave projektov, konstrukterjem in projektantom v fazi izdelave tehničnih rešitev detajlov in delavniških načrtov, proizvodnim inženirjem za pripravo proizvodnje posameznih komponent in monterjem za izvedbo celotnega fasadnega sistema.

5 EKSPERIMENTALNA ANALIZA SEGMENTA STEKLENO-ALUMINIJASTEGA FASADNEGA SISTEMA

V sklopu diplomske naloge smo v laboratoriju Katedre za preizkušanje materialov opravili eksperimentalno analizo segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema, da bi pridobili vpogled v obnašanje preizkušanca pod vplivom kvazi-statične ciklične strižne obremenitve. Na podlagi eksperimentalno dobljenih podatkov smo izdelali numerični model in primerjali vrednosti eksperimentalno dobljenih pomikov glede na dovoljene vrednosti iz standarda o potresno varni gradnji (EC8-1). Končni rezultat naših raziskav bo napoved obnašanja konstrukcije pri horizontalno vsiljenem pomiku.

5.1 Opis in delavniški načrti preizkušanca

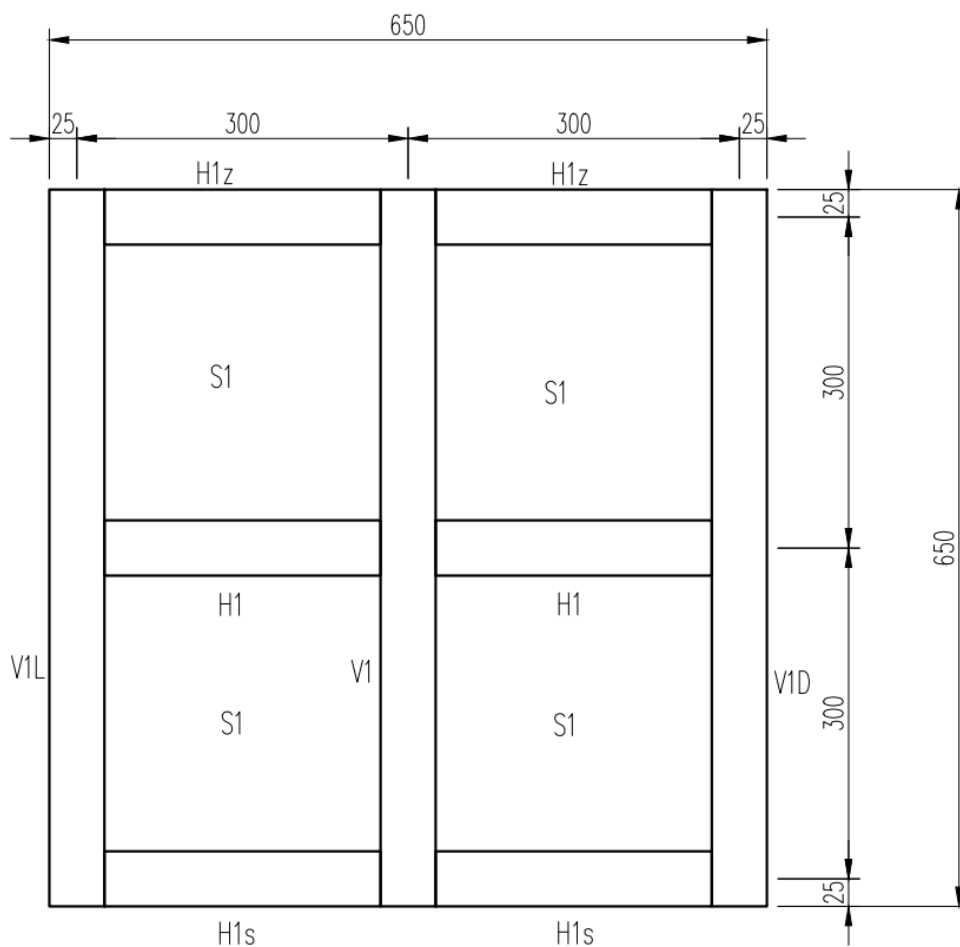
Preizkušanec sem pridobil v podjetju Reflex d. o. o., ki v Podgradu, na sedežu podjetja, proizvaja vse vrste izolacijskih, kaljenih in lepljenih stekel, medtem ko v poslovni enoti Poljčane izdelujejo produkte iz aluminija. V Sloveniji tako veljajo za največjega ponudnika aluminijastih fasadnih sistemov, ki prav tako uspešno konkurira v tujini. Slednje dokazujejo posli, pridobljeni v zadnjih 2 letih, ki smo jih kot zunanji sodelavci oddelka Konstrukcije izvajali tudi sami v podjetju Prolupin d. o. o.: trgovski center MALL OF SPLIT, poslovni in hotelski objekt WEST GATE SPLIT, poslovno-trgovski center MERIDIJAN 16 Zagreb, centralna stavba avstrijskega avto-moto kluba ÖAMTC na Dunaju, poslovni objekt FALKENSTEINER v Beogradu (Slika 49) idr. Podjetje Reflex uporablja za izdelavo svojih fasadnih sistemov izključno profilacijo nemškega podjetja Schüco, ki velja za najmočnejšo in najprestižnejšo (posledično tudi eno najdražjih) podjetje aluminijastih profilacij v Evropi. Na njihove konstrukcijske rešitve smo se v veliki meri upirali tudi pri pisanju 4. poglavja diplomske naloge (*Aluminijaste fasade*).



Slika 49: 1 – Falkensteiner Beograd; 2 – Mall of Split; 3 – Meridijan 16° Zagreb; 4 – West Gate Split

Uporabljena profilacija preizkušanca je Schüco FW50+. Z njo smo izvedli steber-prečka (vertikalna-horizontala) fasadni sistem aluminijaste fasade, pogledne širine 50 mm. Zunanje dimenzije preizkušanca so bile 650 x 650 mm; tako po višini kot širini je bil deljen na 2 rastra.

Vertikale so tisti del fasade, ki vso obtežbo preko sidrnih mest prenašajo na primarno nosilno konstrukcijo. Na vzorcu so 3 vertikale, zunanji dve sta zrcalni in imata rob – na katerem bi se sicer fasada lahko nadaljevala – zaključen s PVC-distančnikom. To je tipična robna vertikala, pri kateri distančnik služi za izenačitev višin na strani, kjer ni polnila, da dobimo zunanjo ravnino fasade poravnano in lahko namestimo pokrivno kapo ter pritisni profil. Enako je s horizontalami, saj sta zgornji in spodnji horizontali izvedeni s PVC-distančniki. Horizontale so na vertikalo spojene z »gumbom« T-spojnikom in vijaki (na sprednjem rezkanem delu horizontale). Za dodatno izolacijo skrbi izolator, ki poteka kontinuirano po sredinskem žlebu horizontal in vertikal.



Slika 50: Montažna shema preizkušanca

Uporabili smo sončnozaščitno izolacijsko steklo sestave 4ESG/20/4, kar pomeni, da je zunanje steklo debeline 4 mm in emajlirano (posledično tudi kaljeno), jekleni distančnik 20 mm in notranje navadno float steklo debeline 4 mm. Stekla so podprta na horizontali z dvema nosilcema stekla, na katerih je še podložna PVC-ploščica.

Preizkušavec (Slika 51) je klasična steber– prečka aluminijasta fasada s pokrivnim profilom, pri čemer so slednji dveh vrst. Na vseh vertikalah in spodnjih dveh horizontalah je pokrivni profil v barvi fasade

in pravokotne oblike, za pritrditev pa potrebuje pritisni profil, v katerega se zatakne. Medtem je na srednjih in zgornjih dveh horizontalah pokrivni profil izveden brez pritisnega profila, z vidnimi vijaki in je črne barve, kar predstavlja imitacijo strukturne fasade.



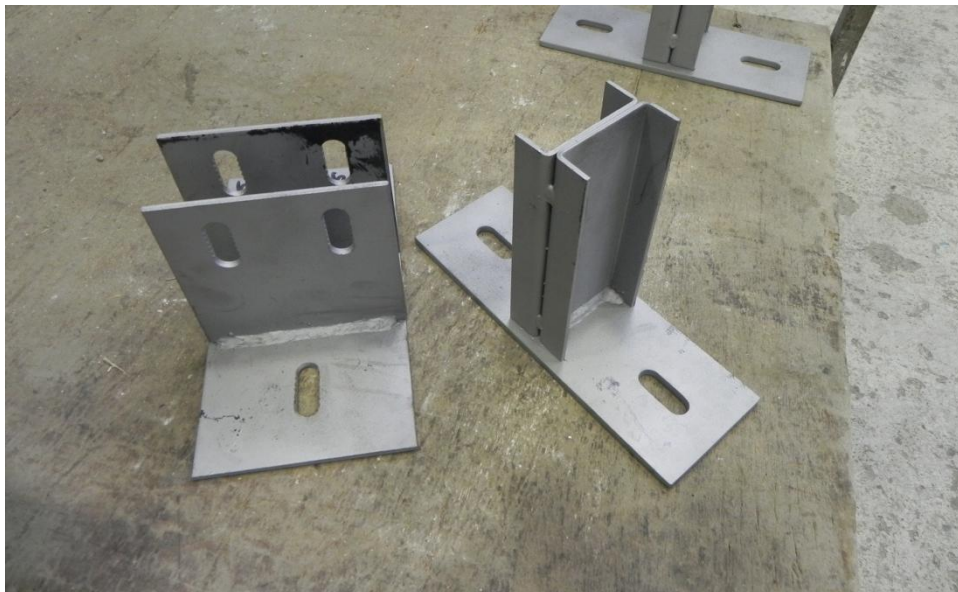
Slika 51: Obravnavani preizkušaneč stekleno-aluminijastega fasadnega sistema

Ob pregledu horizontalnega prereza skozi vzorec vidimo, da je izenačitev višin na robnih vertikalah dosežena (zraven že omenjenega PVC-distančnika) še s posebnim »adapter« aluminijastim profilom. Tega navadno uporabljamo, kadar imamo velike višine tesnil že na horizontalnih profilih (npr. 14 mm in več) – ker bi morali na vertikalni profil nato zaradi sistema izvedbe spoja uporabiti 6 mm višja tesnila, raje uporabimo adapter profil in nižje tesnilo.

Na zunanjo stran stekla smo namestili butilni trak, ki služi kot dodatna zatesnitev in mehanska zaščita pred UV-vplivi. Pravokotni pokrivni profili imajo na spodnjem robu izvrtine za prezračevanje, na samem vzorcu pa ni izvedenega, sicer obveznega, izlivnika za odvodnjavanje in prezračevanje.

Zaradi lažjega sistema pritrdjevanja v preizkuševalni okvir smo uporabili natična sidra (Slika 52). Na voljo smo imeli tudi konzole oziroma objemna sidra, vendar se zanje nismo odločili. Zaradi velikosti (majhnosti) vzorca, smo se odločili, da ne bomo povsem sledili pravilom montaže, zato sidra nismo namestili v vsako vertikalno, temveč smo sidrali samo robni dve. Ob tem smo dobili vpogled v obnašanje okvirnega fasadnega sistema (za primer, če se sidranje ne bi izvedlo na vsakem vertikalnem

profilu). Zgornje natično sidro smo izvedli kot nepomično (fiksno) podporo in jo privijačili skozi profil, spodnje pa kot pomično (drsno) podporo, ob čemer je lahko konstrukcija dilatirala v vertikalni smeri.



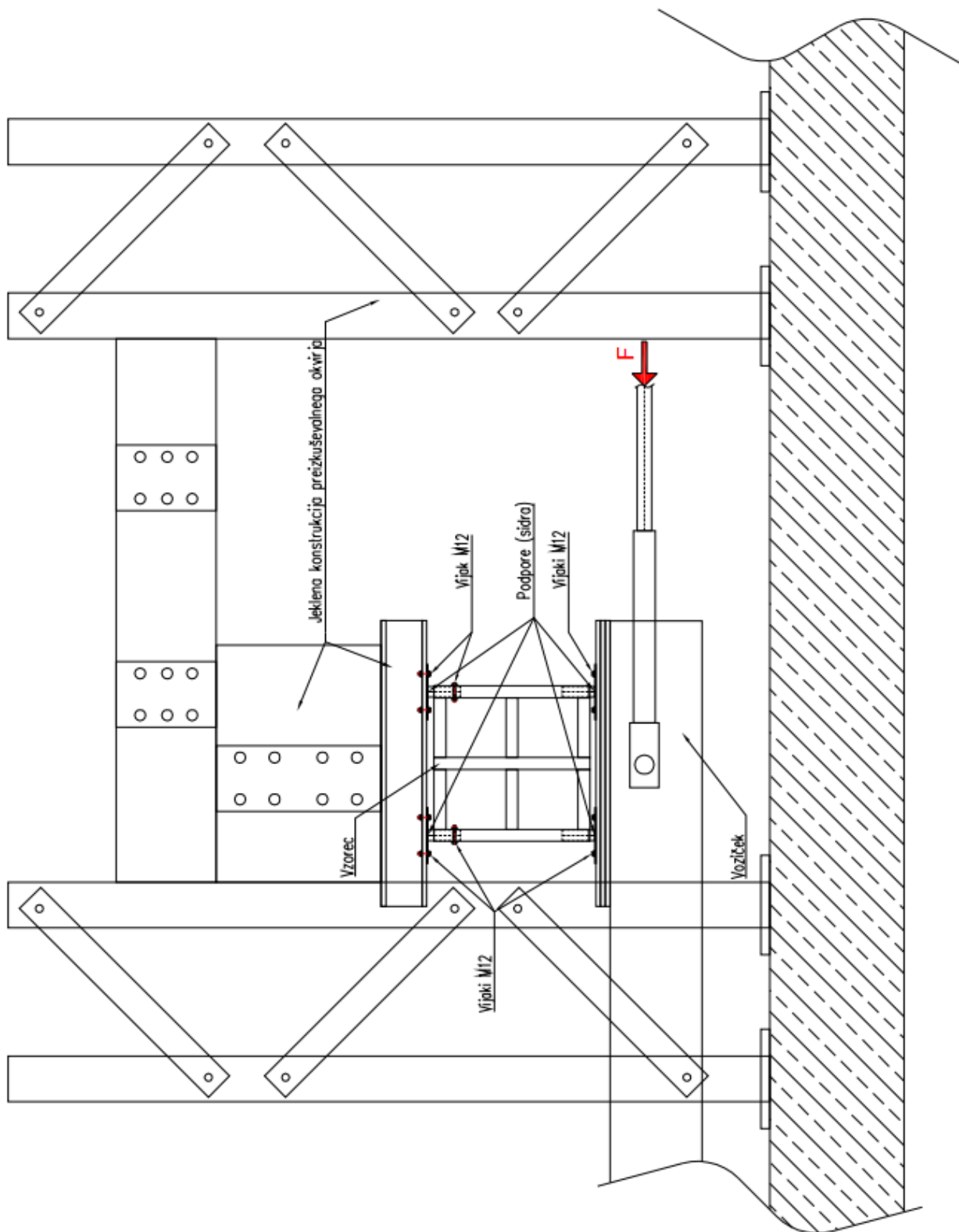
Slika 52: Objemno sidro (levo) in uporabljeno natično sidro (desno)

Najprej sem pripravil načrte v programu podjetja Schüco, *Schücal+*, ki je namenjen izrisu fasad in elementov iz profilov omenjenega podjetja. Nato sem uvozil prereze v program Autocad in tam izrisal delavniške načrte, po katerih se je izdelal vzorec. Pri tem sem se striktno držal pravil konstruiranja Schüco fasadnega sistema po Schüco katalogu, namenjenemu partnerjem podjetja, oziroma natančneje Alukönigstahla, to je podjetje, ki je njihov uradni zastopnik in distributer na območju Avstrije in Balkana. Izpisi iz programa in delavniški načrti vseh sestavnih delov obravnavanega vzorca fasade so diplomski nalogi priloženi kot Priloga 1.

5.2 Opis preiskave in določitev merskih mest

Strižno ciklično preiskavo segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema smo izvedli v strižnem preizkuševalnem okvirju ploskovnih konstrukcij na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani (Slika 53). Sam okvir je bil sestavljen iz fiksne jeklene konstrukcije na vrhu, v katero se vpenjajo preizkušanci, in spodnjega pomičnega dela, sestavljenega iz vozička in nosilca, preko katerih nanašamo na vpet preizkušanec vertikalno in horizontalno obtežbo. V našem primeru smo tudi spodaj preizkušanec fiksno vpeli na jekleno ploščo vozička, ki smo mu vsilili oziroma predpisali časovno opredeljene pomike v horizontalni smeri. Vertikalne obtežbe nismo imeli, saj se tudi v praksi, razen

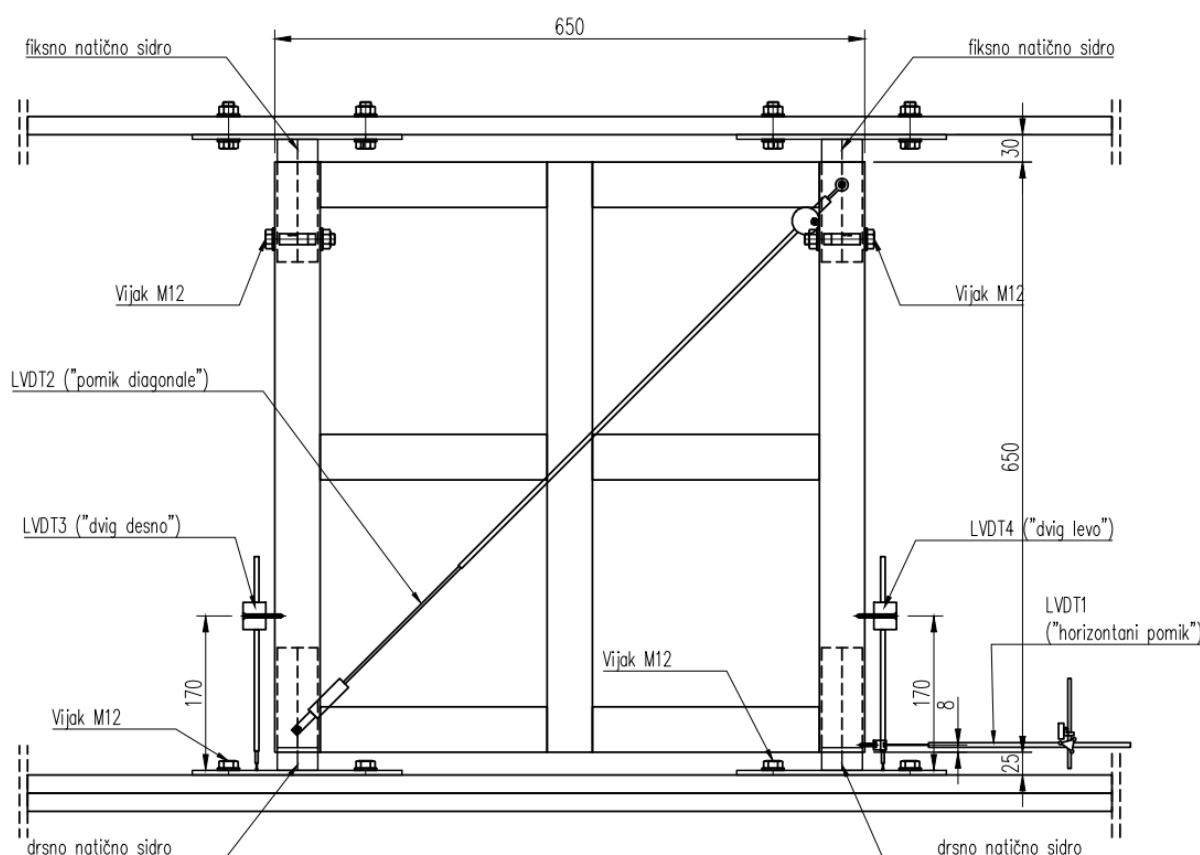
sile lastne teže, ne pojavlja. Sidra so bila pritrjena z dvema vijakoma M12, prav tako je bilo fiksno sidro na vzorec pritrjeno z enim vijakom M12. Skupno so bili torej 4 vijaki M12 spodaj in 4 vijaki M12 zgoraj ter 2 vijaka M12 za spoj sidra z vzorcem. Sidra so bila narejena iz jeklene pločevine, debeline 4 mm, in zaščitena s korocinkom.



Slika 53: Preizkuševalni okvir z vpetim preizkušancem za kvazi-statični strižni preizkus

Preizkušane je bil opremljen s štirimi induktivnimi merilci za merjenje pomikov (Slika 54). Z rezultati njihovih meritev smo zajeli obnašanje segmenta stekleno-aluminijastega vzorca, s čimer smo

lahko identificirali ali predvideli morebitne poškodbe. Induktivni merilec pomikov LVDT2 je meril pomik diagonale vzorca – postavljen je bil 25 mm od obeh robov robnih vertikalnih profilov. Dva induktivna merilca (LVDT3 in LVDT4) sta merila morebitni vertikalni pomik vzorca v odnosu do spodnjih drsnih sider, kjer le-te niso bile mehansko spojene z vertikalnim profilom vzorca. Nato smo na spodnjem robu vertikalnega profila namestili induktivni merilec LVDT1 za meritev horizontalnega pomika, ki je bil sicer vsiljen in podan, ampak v ravnini bata preizkuševalnega okvirja, nekaj decimetrov nižje od merilca.



Slika 54: Merilna mesta obravnavanega preizkušanca (pogled od zadaj)

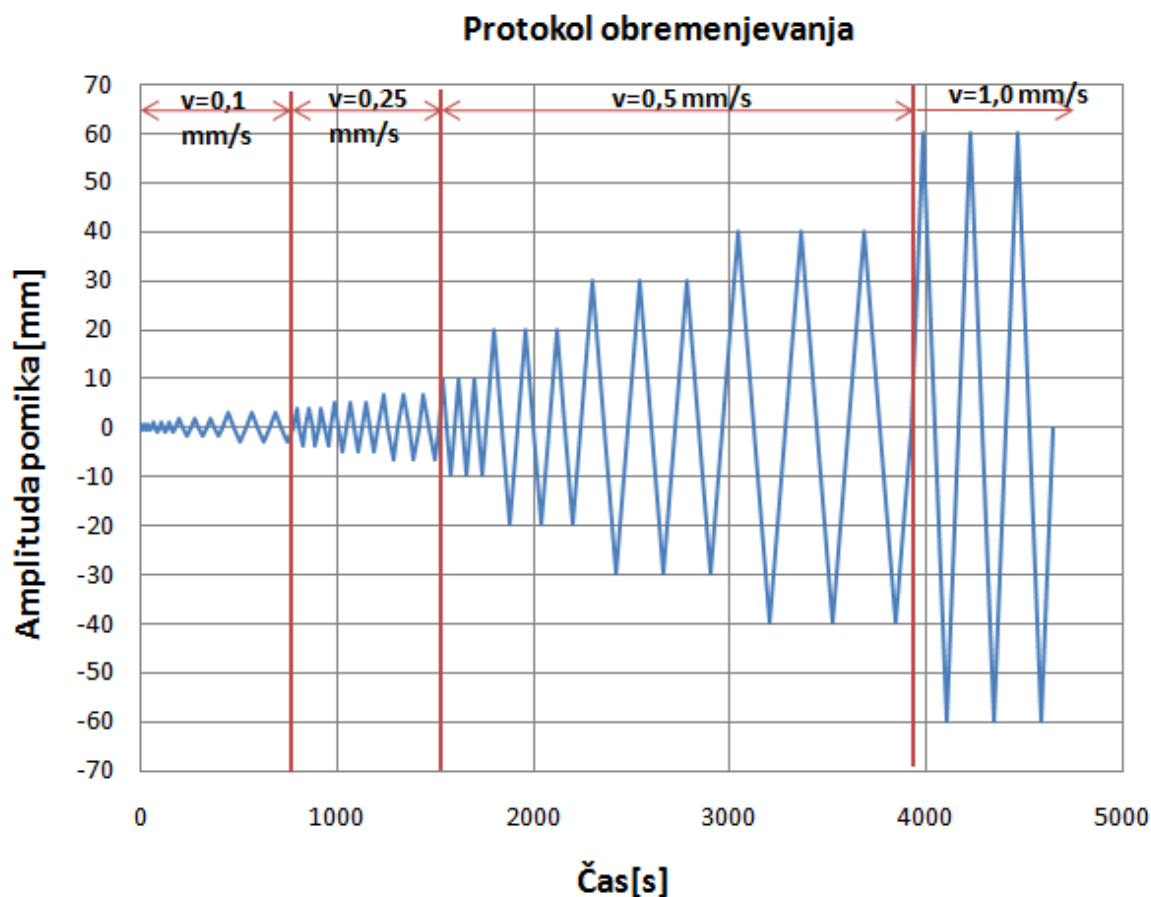
5.3 Protokol obremenjevanja

Cilj obravnavane preiskave je bil identifikacija obnašanja in poškodb med cikličnim strižnim obremenjevanjem stekleno-aluminijastega segmenta fasade. Preiskavo smo izvedli tako, da smo krmilili pomike in spremljali dobljene sile na batu. Za natančnejšo analizo bi potrebovali več (enakih) vzorcev, saj bi lahko tako najprej izvedli monotono strižno porušno preiskavo vzorca, s pomočjo katere bi določili pomik na meji elastičnosti; nato bi skonstruirali protokol cikličnega obremenjevanja. Namesto tega smo ga določili na podlagi izkušenj zaposlenih na Katedri za preskušanje materialov in konstrukcij, kjer se stekleno-aluminijast vzorec fasade še ni preizkušal. V pomoč so nam bili tudi

nekateri protokoli, ki so jih v tujini uporabili za konstruiranje protokola obtežbe okvirnih kovinsko-steklenih konstrukcij. Tako smo začeli z majhno hitrostjo 0,1 mm/s, in sicer amplitude 0,5, 1, 2 in 3 mm. Nato smo na petem koraku povečali hitrost na 0,25 mm/s, amplitude pa so si sledile tako: 4, 5 in 6,5 mm. V osmem koraku smo ponovno povečali hitrost, in sicer na 0,5 mm/s za amplitude 10, 20, 30 in 40 mm. Dvanajsti korak z amplitudo 60 mm in hitrostjo 1 mm/s je bil zadnji (Preglednica 3, Slika 55). Na podlagi preteklih preiskav na KPMK smo vsako amplitudo pomika ponovili trikrat, saj so izkušnje pokazale, da je histerezna zanka stabilna šele po tretjem ciklu.

Preglednica 3: Vhodni podatki za protokol

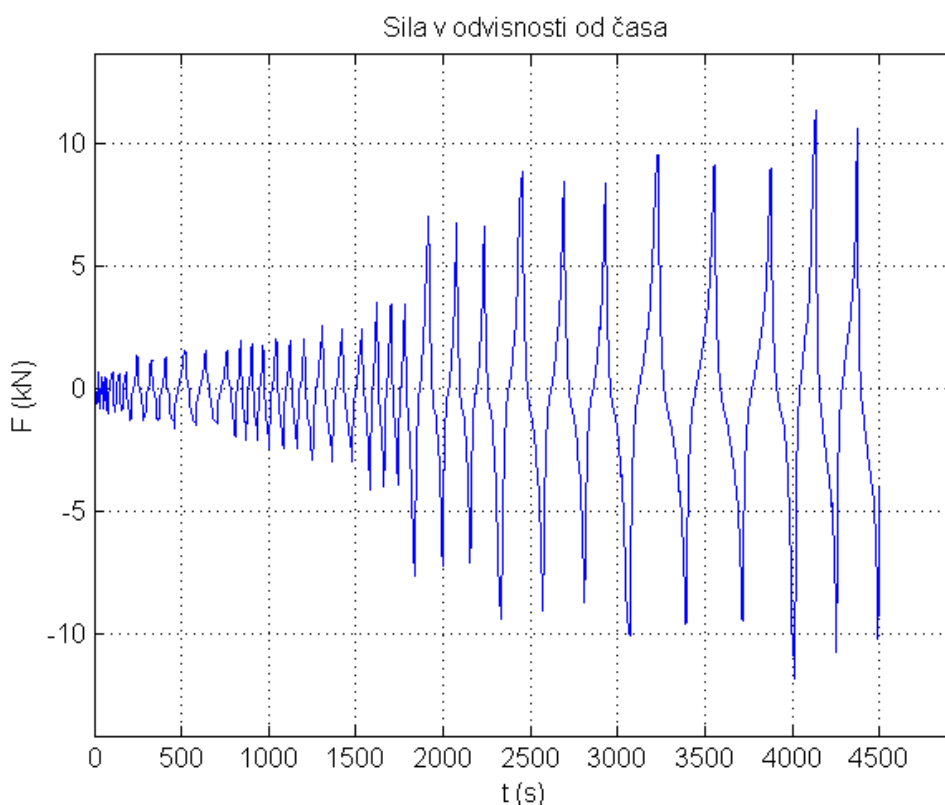
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
s [mm]	0,5	1	2	3	4	5	6,5	10	20	30	40	60
v [mm/s]	0,1			0,25			0,5			1		



Slika 55: Protokol obremenjevanja

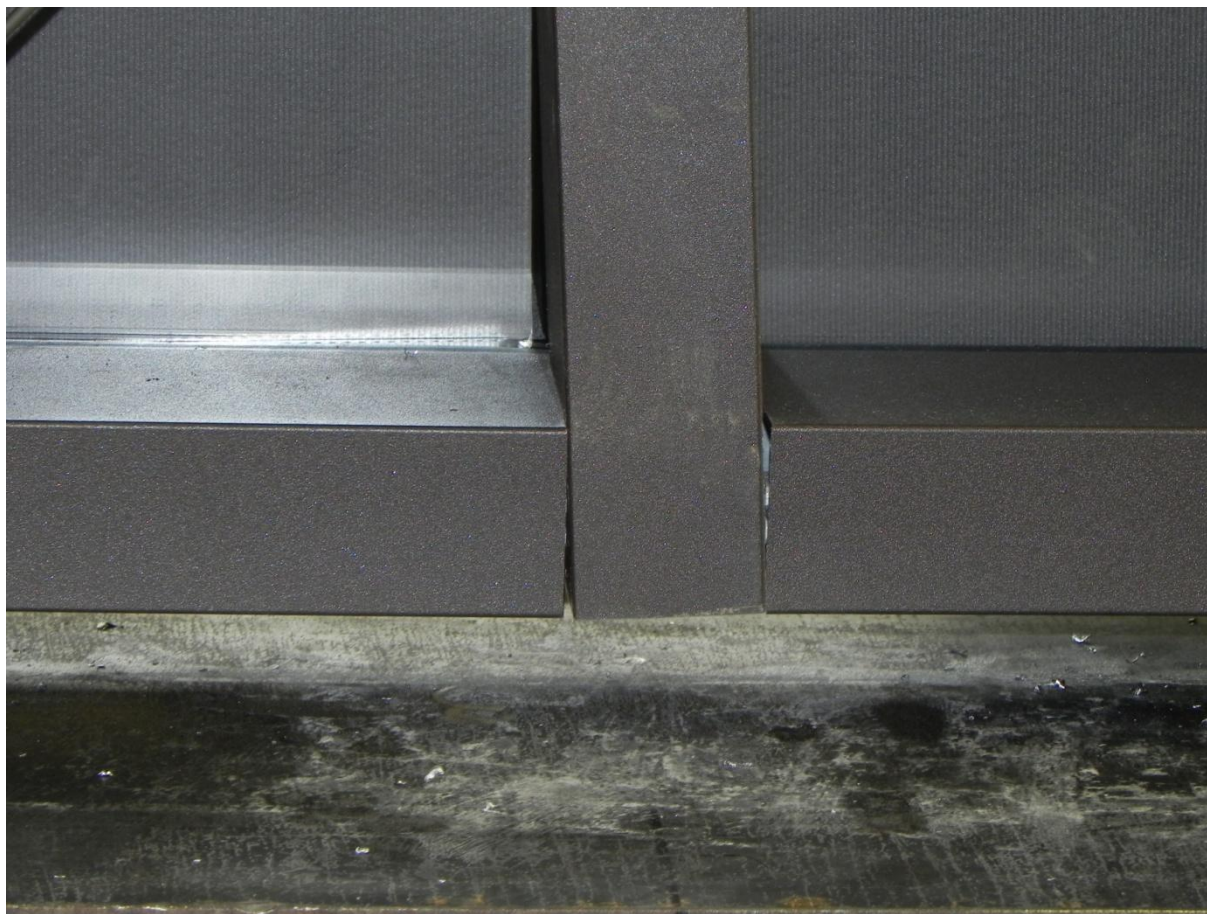
5.4 Kvazi-statična strižna preiskava in rezultati

Preiskavo smo izvedli na osnovi vodenega pomika na preizkuševalnem okvirju. Ob tem smo merili sile na batu, potrebne za vsak pomik. S povečevanjem velikosti pomika so se povečevale tudi sile, zato smo dobili na izgled zelo podobna grafa. Ker smo pomik povečevali zelo počasi in je bila v prvem delu preiskave hitrost zelo majhna, vidnih sprememb vzorca ni bilo. Tudi histerezne zanke so bile tesno skupaj in podobnih oblik. Dobljene maksimalne vrednosti sil so se pojavile pri prvem ciklu zadnje amplitude pomika, ki je znašal 60 mm, in so dosegle vrednosti okoli 11,5 kN za pozitivno in negativno amplitudo.



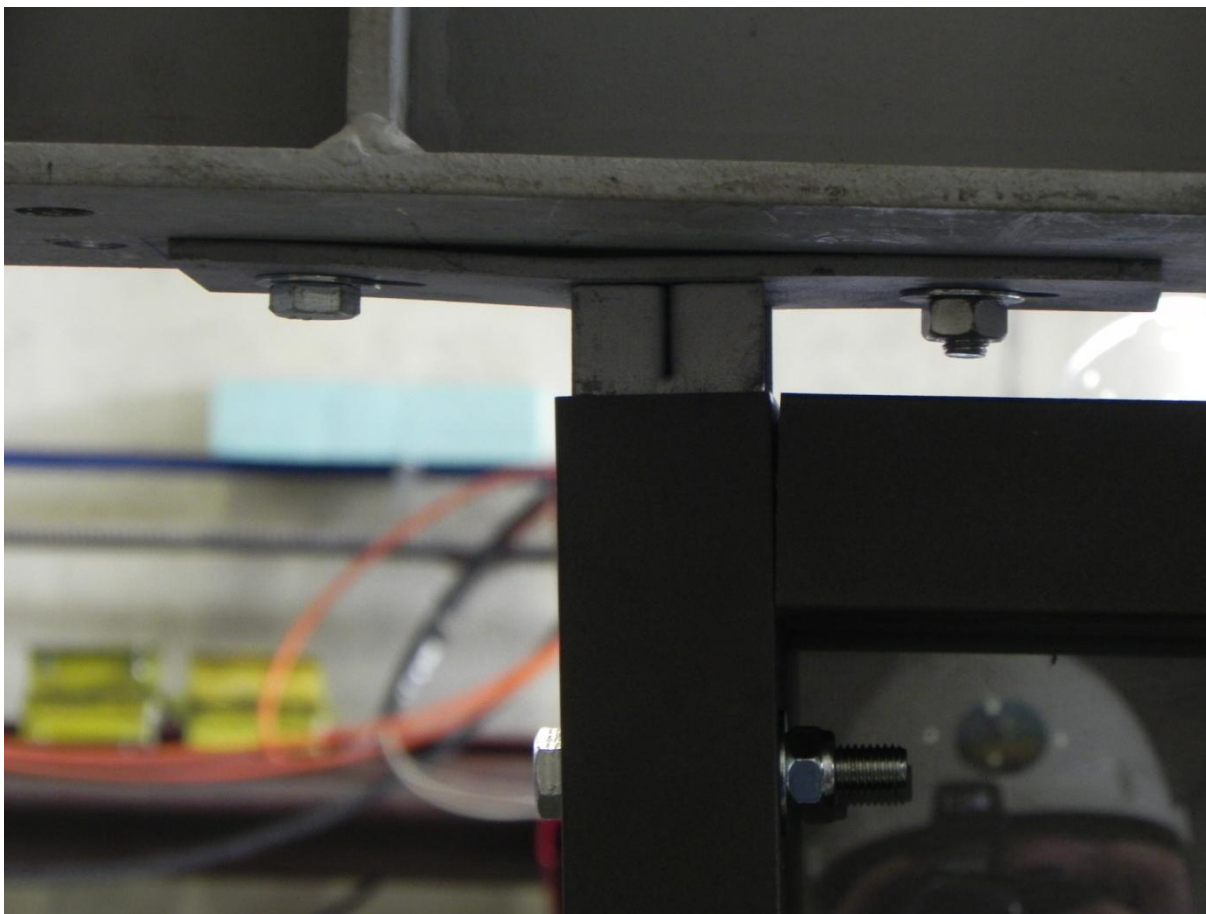
Slika 56: Graf sile v odvisnosti od časa

Ob podrobnem pregledu zgornjega grafa (Slika 56) smo opazili posebnost – graf sil v odvisnosti od časa ima v prvem ciklu vsake amplitude največje vrednosti sil, vendar le-te z vsakim naslednjim ciklom iste amplitude pada. Vzrok za to je v upadu togosti vzorca po doseženem predvidenem pomiku. Pri deveti amplitudi pomika – z vrednostjo 20 mm – je prišlo do prvih vidnih poškodb. Vzorec se je začel v spojih odpirati (Slika 57), ne da bi ob tem izgubil funkcijo nosilnosti. Pojavljalo se je tudi občasno pokanje vzorca.



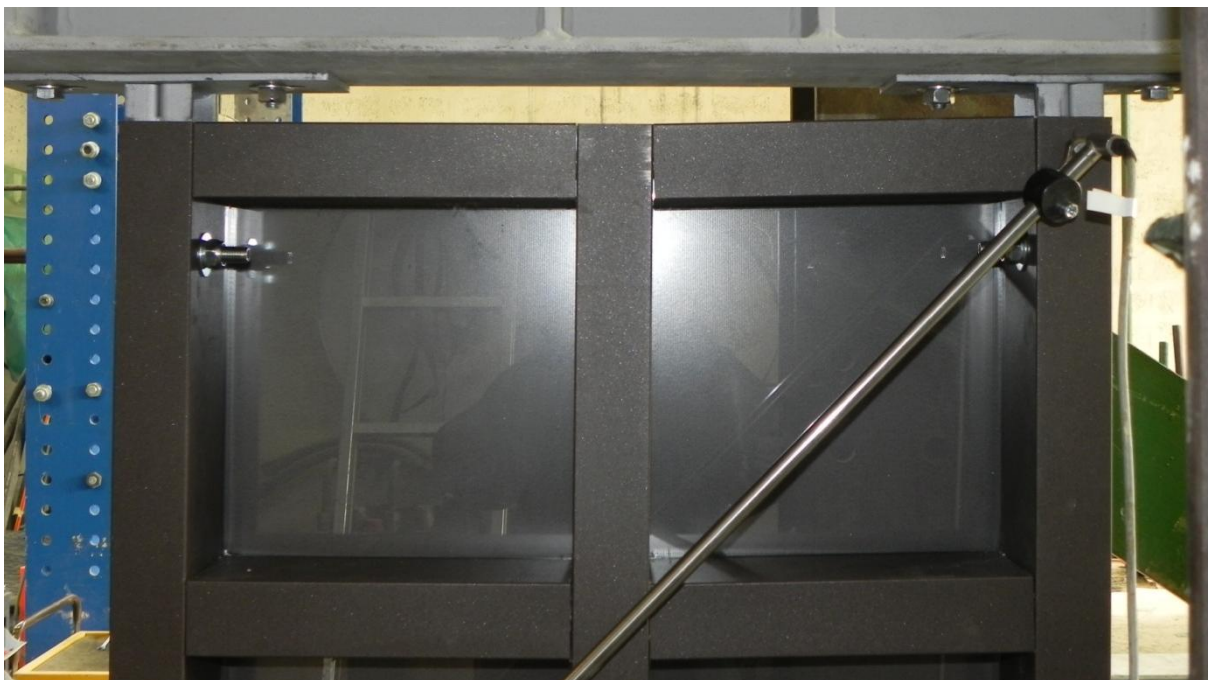
Slika 57: Odpiranje stikov na vzorcu pri pomiku 20 mm (deveta amplituda)

Presenetilo nas je tudi, da je začelo jeklena sidra, ki so bila za tak vzorec predimenzionirana, po tretjem ciklu te amplitude (20 mm) zvižati na eni strani in tlačiti na drugi (Slika 58). Posledično so se pojavile tudi ovalizirane luknje. Pojav je bil bolj viden na zgornjih sidrih, kar je bila posledica vijaka skozi okvir vzorca. Zgornja sidra so tako predstavljala nepomično podporo, medtem ko so imela spodnja sidra morda kak milimeter prostora v aluminijasti vertikali več, saj so bila uporabljena kot drsna podpora.



Slika 58: Deformacije na sidrih

Pri predzadnji amplitudi (40 mm) so se povsili horizontalni profili. To smo tudi pričakovali, saj zaradi narave sidranja vzorca – pri čemer nismo sledili pravilom sredinske vertikalne – nismo vpeli s sidroma, zato se je ta zaradi gravitacijske sile in razrahljanih spojev vertikalno pomaknila navzdol, skupaj z njo pa posledično tudi horizontalni profili (Slika 59). V praksi se sidra vsako vertikalno fasadnega aluminijastega sistema, kar pomeni, da do te deformacije načeloma ne bi moglo priti. To nam tudi pove, da je sidranje vsake vertikalne nujno potrebno, saj zagotavlja globalno nosilnost in stabilnost sistema.



Slika 59: Poves horizontalnih profilov

Zadnja amplituda je bila velika že 60 mm, kar je predstavljalo skoraj 10 % celotne višine in širine vzorca. V tem primeru smo tudi hitrost povečali na 1 mm/s. Med obremenjevanjem smo slišali močno pokanje, sile, potrebne za ciljni pomik, so se povečale skoraj do 12 kN. Vzorec je bil že močno razmajan, stiki odprti, sidra plastično preoblikovana – lahko bi rekli, da smo ga obremenili do maksimuma, saj v praksi takšen najbrž ne bi več mogel opravljati svoje funkcije fasadnega panela učinkovito, vendar ni kazal nevarnosti nekontroliranega razpada in v končni fazi nevarnosti za uporabnike objekta (Slika 60).

EC8 je evropski standard za projektiranje potresno odpornih konstrukcij. Predpisuje zahteve, ki jih je potrebno upoštevati na potresnih območjih, med katera v celoti spada tudi Slovenija. Zraven standarda je potrebno upoštevati še nacionalni dodatek, ki vsebuje vse nacionalno določene parametre. Bistvo standarda ni preprečitev poškodb v primeru potresa, temveč jih omejiti, zaščititi človeška življenja in ohraniti konstrukcijo uporabno. V našem primeru smo tam, kjer je bil fasadni panel pritrjen na osnovno nosilno konstrukcijo, obravnavali panel kotnekonstrukcijski element. EC8 predpisuje naslednje omejitve etažnih pomikov:

- za stavbe, ki imajo na konstrukcijo pritrjene krhke nekonstrukcijske elemente: $d_r \nu \leq 0,005 h$,
- za stavbe z duktilnimi nekonstrukcijskimi elementi: $d_r \nu \leq 0,0075 h$,
- za stavbe, pri katerih so nekonstrukcijski elementi pritrjeni na konstrukcijo tako, da deformacije konstrukcije nanje ne vplivajo: $d_r \nu \leq 0,01 h$.

Pri tem so:

- d_r – projektni etažni pomik,
- h – etažna višina,
- ν – redukcijski faktor. (Wallner, 2012)

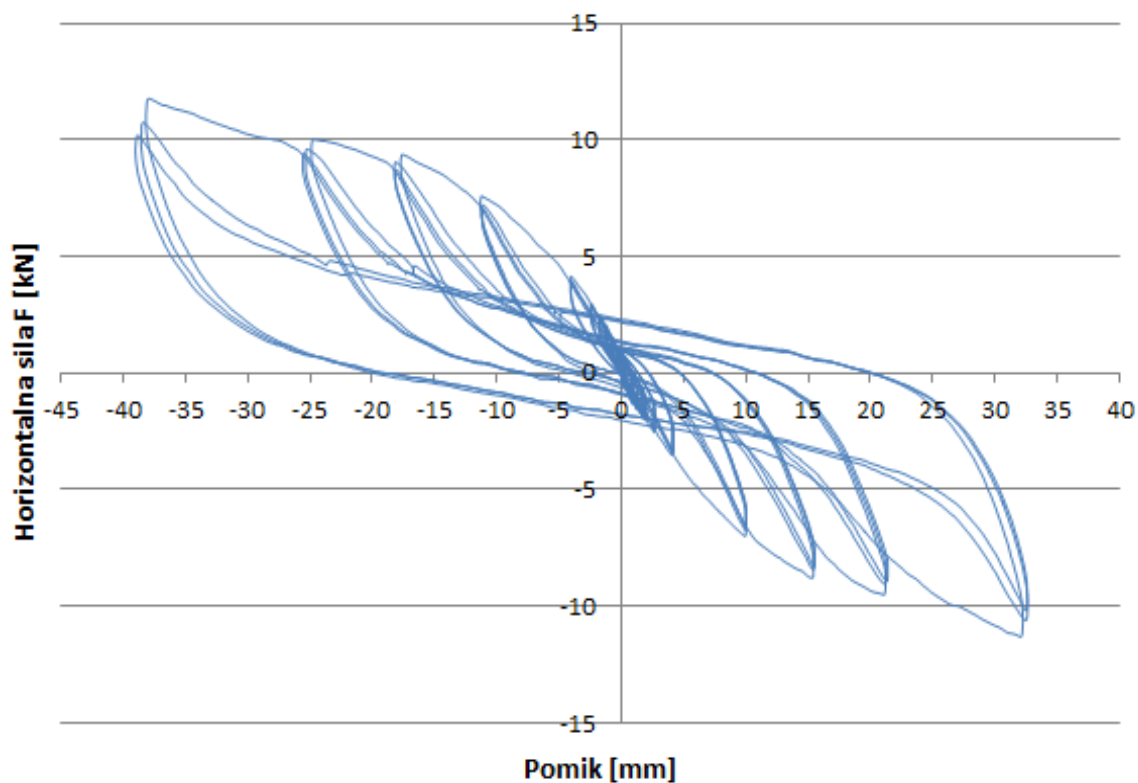
Tako smo ugotovili, da smo naš element obremenili s silo, ki je povzročila 10-krat večji pomik od predpisanega, in to ob sidranju zgolj robnih vertikalnih profilov. To smo storili zavestno, saj smo vedeli, da je vzorec predimenzioniran, pretog in premajhen, da bi ga lahko upoštevali kot relevanten primer. Ker si vzorca nismo mogli izbirati ali financirati sami, smo našo preiskavo prilagodili temu.



Slika 60: Vzorec med zadnjo amplitudo pomika

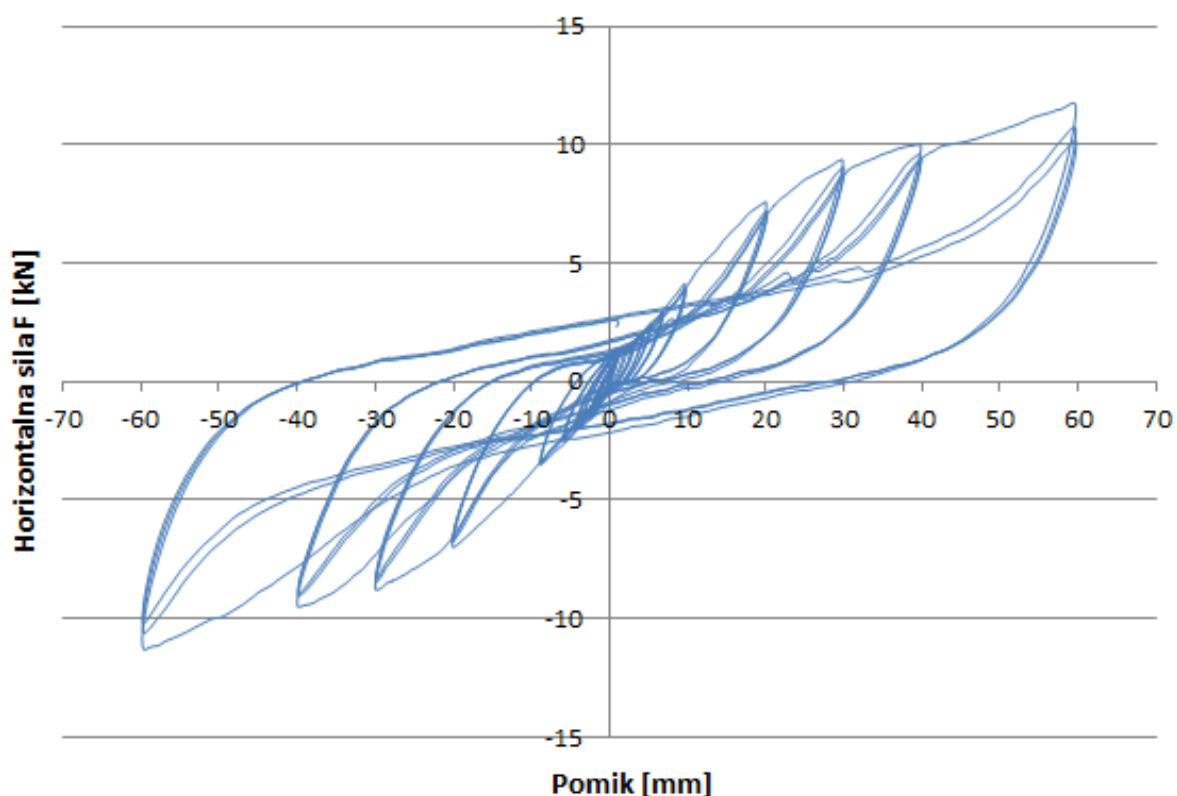
Glavni cilj kvazi-statične strižne preiskave je bil pridobitev histereznega odziva stekleno-aluminijastega segmenta. Tak odziv nam pove, da se vzorec po obremenjevanju ne razbremenjuje po isti poti, niti se ne vrne v osnovno nedeformirano stanje. Na histerežno obnašanje vzorca med drugim

vplivajo upad togosti, duktilnost in disipacija energije. Takšno obnašanje je tudi prikazano na spodnji sliki (Slika 61).



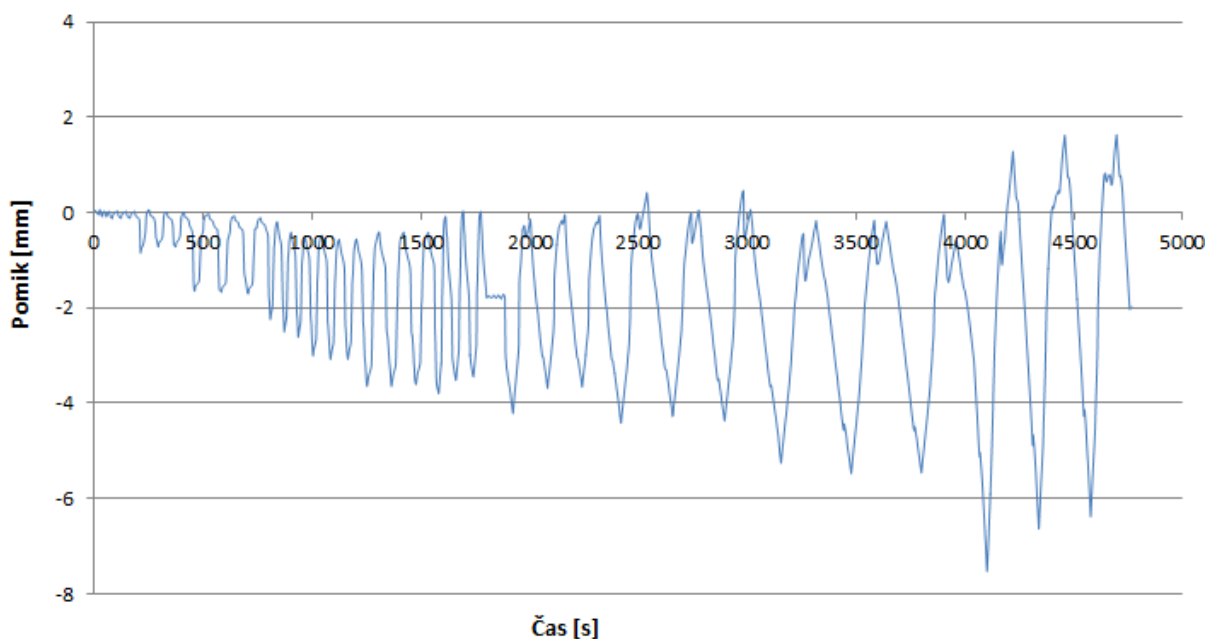
Slika 61: Histerezni odziv vzorca za pomik diagonale, izmerjen z LVDT2

Na grafu vidimo ves čas 3 črte, ki potekajo po podobni liniji. To so trije cikli ponovitev vsake amplitude, kjer linija, ki za določen pomik dosega absolutno največje vrednosti, predstavlja prvi cikel. Zaradi zgoraj omenjenih vplivov vidimo, koliko manj sile je potrebno za doseg istega pomika v drugem ali tretjem ciklu, ki sta si zelo blizu.



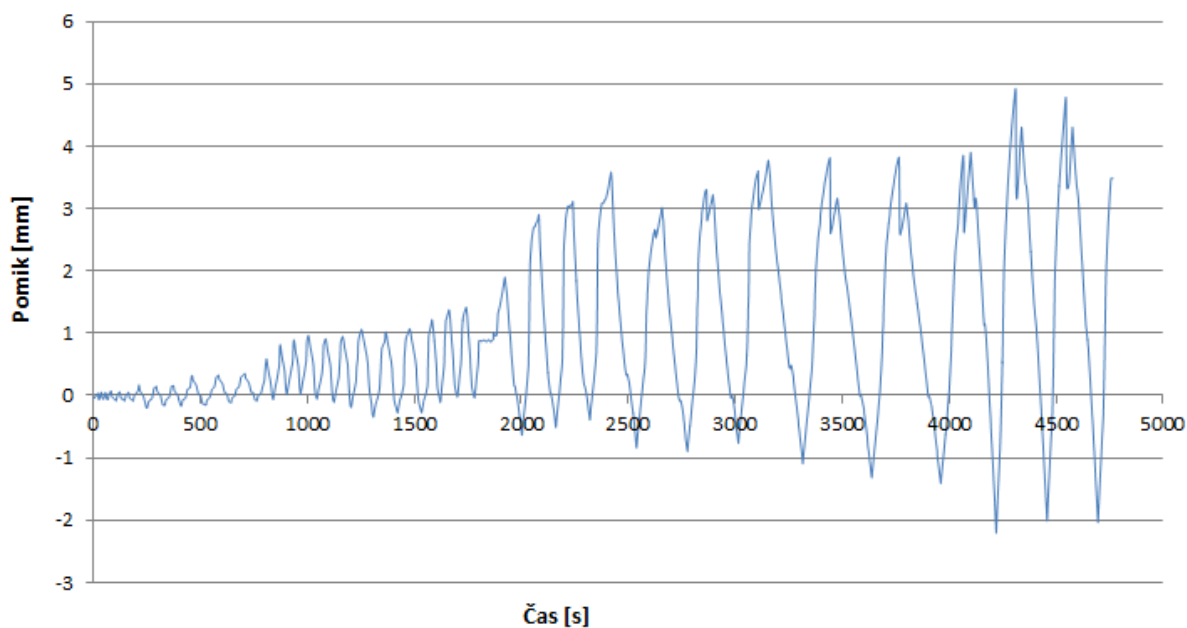
Slika 62: Histerezni odziv vzorca za horizontalni pomik, izmerjen z LVDT1

Če primerjamo vrednosti pomikov na mestih LVDT1 (Slika 62) in LVDT2 (Slika 61), ugotovimo, da so pri posamezni amplitudi dosežene podobne sile, zaradi narave geometrije pa je pomik na diagonali LVDT2 skoraj pol manjši kot na spodnji prečki induktivnega merilca LVDT1. Ker je bil začetni horizontalni pomik (v levo) izmerjen z LVDT1 pozitiven, se je medtem diagonalna mera na LVDT2 skrajšala, zato je bil pomik negativen, grafa histereznega odziva pomikov pa izgledata preko vertikalne osi zrcalna.



Slika 63: Časovni razvoj vertikalnega pomika, izmerjen z LVDT3

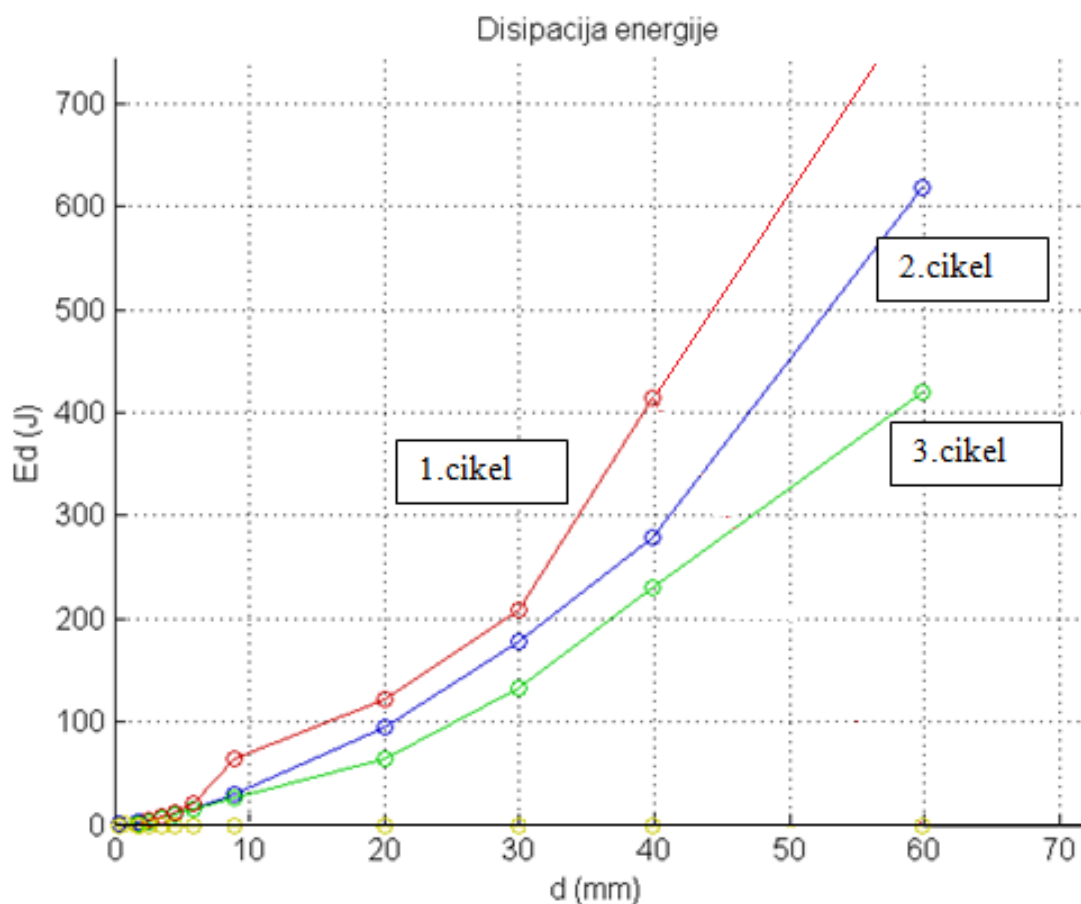
Na Slika 63 in Slika 64 vidimo tudi histerezni odziv preizkušanca za vertikalni pomik, izmerjen z LVDT3 in LVDT4. Ugotovili smo, da so vertikalni pomiki zelo majhni. Ugotovitev je bila v skladu s pričakovanji, saj je bil zgoraj preizkušanec s fiksnim sidrom vpet na preizkuševalni okvir in je bil pomik vzorca praktično onemogočen. So se pa zaradi spodnjih nevijačenih spojev, ki so predstavljali drsno podporo, spodnja sidra lahko tudi premaknila (skupaj z vozičkom). Ti pomiki se v praksi pojavijo vedno s primerom toplotnega raztezanja materiala, ki se na svoji dolžini, največkrat 6-metrskih profilov, razteza nekaj milimetrov. To je tudi razlog za uporabo zgolj 1 mesta fiksnega vpetja in poljubnega števila sidrnih drsnih mest. Prav tako je prišlo na preizkušancu do deformiranja sider, kar je gotovo vplivalo na ta pomik.



Slika 64: Časovni razvoj vertikalnega pomika, izmerjen z LVDT4

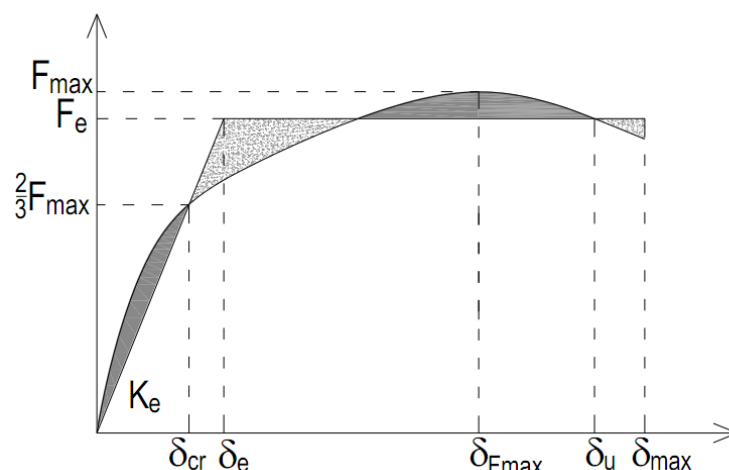
Na grafu časovnega razvoja vertikalnih pomikov vidimo, da se ti povečujejo s časom, kar pomeni, da tudi s silo, ki je bila potrebna za vsiljen horizontalni pomik.

Graf disipacije energije preizkušanca (Slika 65) nam pove, da se količina disipirane energije povečuje z velikostjo pomika. To je posledica vedno manjše togosti spojev, v katerih se nato lahko disipira več energije. Že iz grafa sil v odvisnosti od časa smo ugotovili, da je potrebna največja sila za doseg pomika v prvem ciklu, tako se tudi disipacija energije zmanjšuje od prvega proti zadnjemu, tretjemu ciklu posamezne amplitude.



Slika 65: Disipacija energije

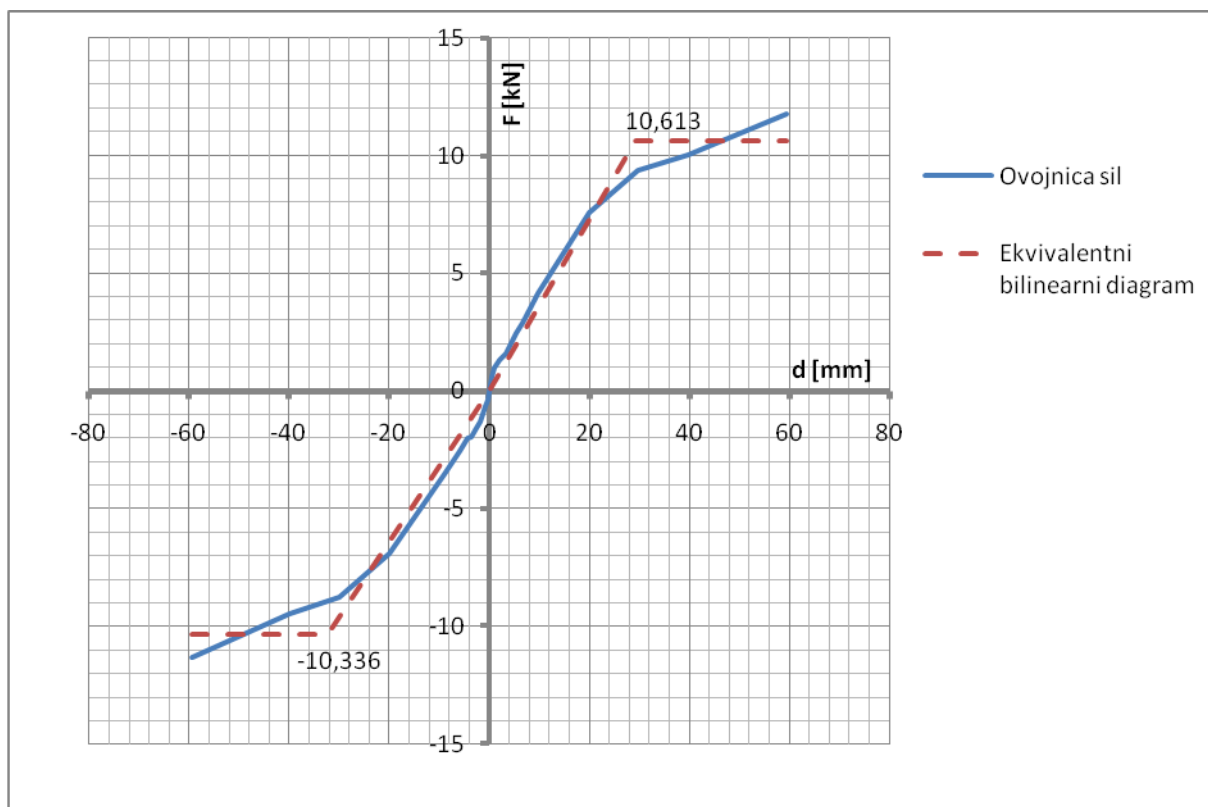
Togost sodeluje pri zagotavljanju stabilnosti in prevzemanju obtežbe ciklično izpostavljenemu preizkušancu. Na podlagi histereznega odziva vzorca smo lahko določili padec togosti in ekvivalentni bilinearni diagram nadomestne togosti. Postopek določitve ekvivalentnega bilinearnega diagrama (Slika 66) poteka tako, da smo najprej na ovojnici histereznega odziva označili silo pri $2/3$ maksimalno dosežene sile F_{\max} , posledično tudi pripadajoči pomik. Nato smo na podlagi enakosti površin pod ovojnico dejanskega histereznega odziva preizkušanca in ekvivalentnega bilinearnega diagrama izračunali sile na meji elastičnosti F_e ter pripadajoči pomik δ_e . (Antolinc, 2014)



Slika 66: Parametri za izvrednotenje bilinearnega diagrama (Antolinc, 2014: str. 107)

Naš graf (Slika 67) je sicer malo drugačen, saj smo obremenjevanje vzorca prekinili, preden je prišlo do porušitve, vendar je bil vzorec kljub temu nesposoben opravljati svoje temeljne funkcije in zahteve po EC8, zato lahko zapišemo spodaj navedeno enačbo.

$$\delta_{F_{\max}} = \delta_u = \delta_{\max} \quad (3)$$



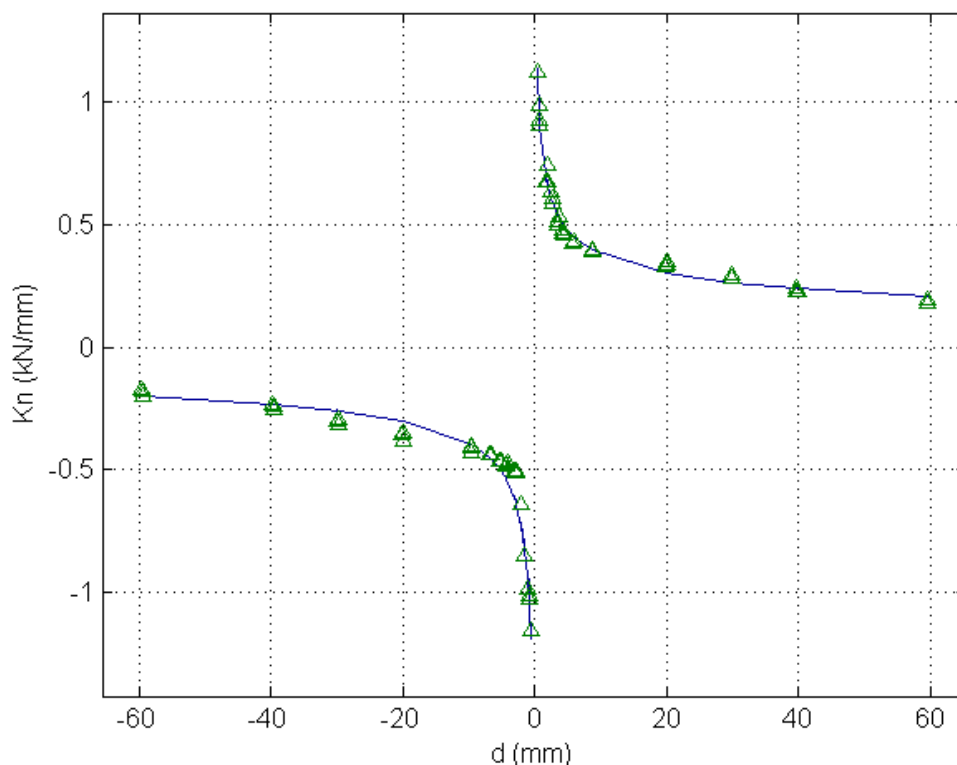
Slika 67: Ekvivalentni bilinearni diagram

Globalno duktilnost ciklično obremenjenega preizkušanca iz vrednotimo na ovojnici histereznega odziva z enačbo

$$\mu = \delta_u / \delta_e. \quad (4)$$

Preglednica 4: Izvrednotenje parametrov bilinearnega diagrama preizkušanca in njegove duktilnosti

	Pozitivna ovojnica	Negativna ovojnica
A [mm²]	476,11	447,36
α [°]	20	17,7
Fmax [kN]	11,77	-11,31
δ (Fmax) [mm]	59,44	-59,476
2/3 Fmax [kN]	7,85	-7,54
Fe [kN]	10,613	-10,336
δ (Fe) [mm]	29,159	-32,387
μ^+	2,04	/
μ^-	/	1,84



Slika 68: Upadanje pozitivnih in negativnih togosti

Iz Slika 68 je razvidno, da togost zelo hitro upada že pri majhnih amplitudah. Večino togosti je do pomika 20 mm že upadlo; to pa je tudi amplituda, pri kateri so se pojavile prve vidne poškodbe na vzorcu. Element se več kot očitno hitro plastificira, nato pa se togost ne spreminja več dosti. Razlog je iskati v togo spojenem elementu iz aluminija, ki pa kljub vsemu dopušča velike deformacije in pomike brez porušitve.

Togost celotne konstrukcije izračunamo iz maksimalne nosilnosti in pripadajočega pomika.

$$k = F/u \tag{5}$$

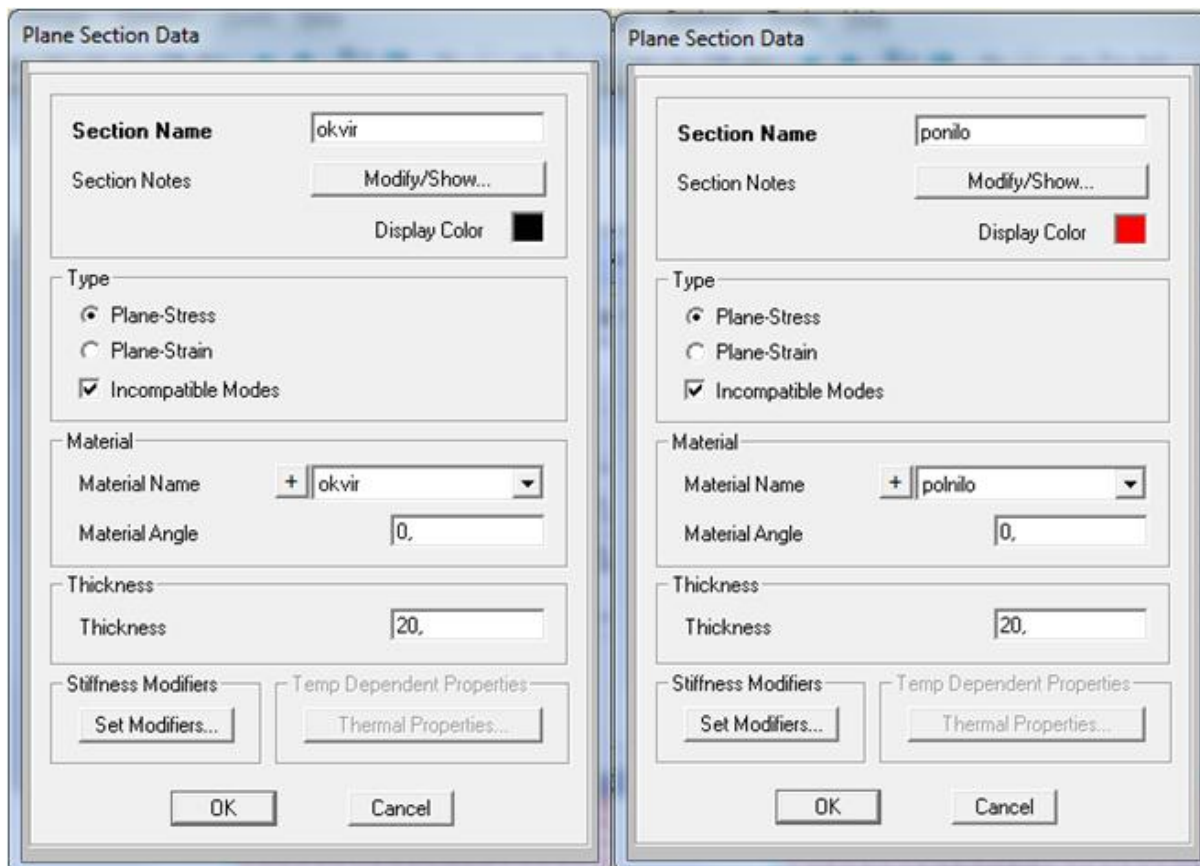
Za izračun nadomestne togosti v elastičnem delu obnašanja preizkušanca smo uporabili vrednost sile na meji elastičnosti F_e in pripadajoči pomik δ_e (Preglednica 4). S pomočjo enačbe (5) dobimo nadomestno togost ($k = 0,364$ kN/mm) za linearni del obnašanja preizkušanca.

6 NUMERIČNA ANALIZA SEGMENTA STEKLENO-ALUMINJASTEGA FASADNEGA SISTEMA

V tem poglavju smo najprej predstavili numerični model preizkušane vzorca stekleno-aluminijastega fasadnega sistema. Nato je predstavljena zasnova z materialnimi in geometrijskimi karakteristikami preizkušane vzorca, sledijo še rezultati numerične analize, ki dokazujejo pravilnost izbranih karakteristik, saj smo le-te modelirali na osnovi eksperimentalno dobljenih rezultatov prejšnjega poglavja. To je veljalo za osnovo modelu, s katerim smo želeli simulirati obnašanje segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema realnih dimenzij. Naša glavna motivacija je bila, da ugotovimo, kako bi se obnašal vzorec večjih dimenzij v realni fasadi ter kakšni bi bili pomiki in dovoljene obremenitve, da še vedno ustreza evropskemu standardu za projektiranje potresno varnih konstrukcij (EC8).

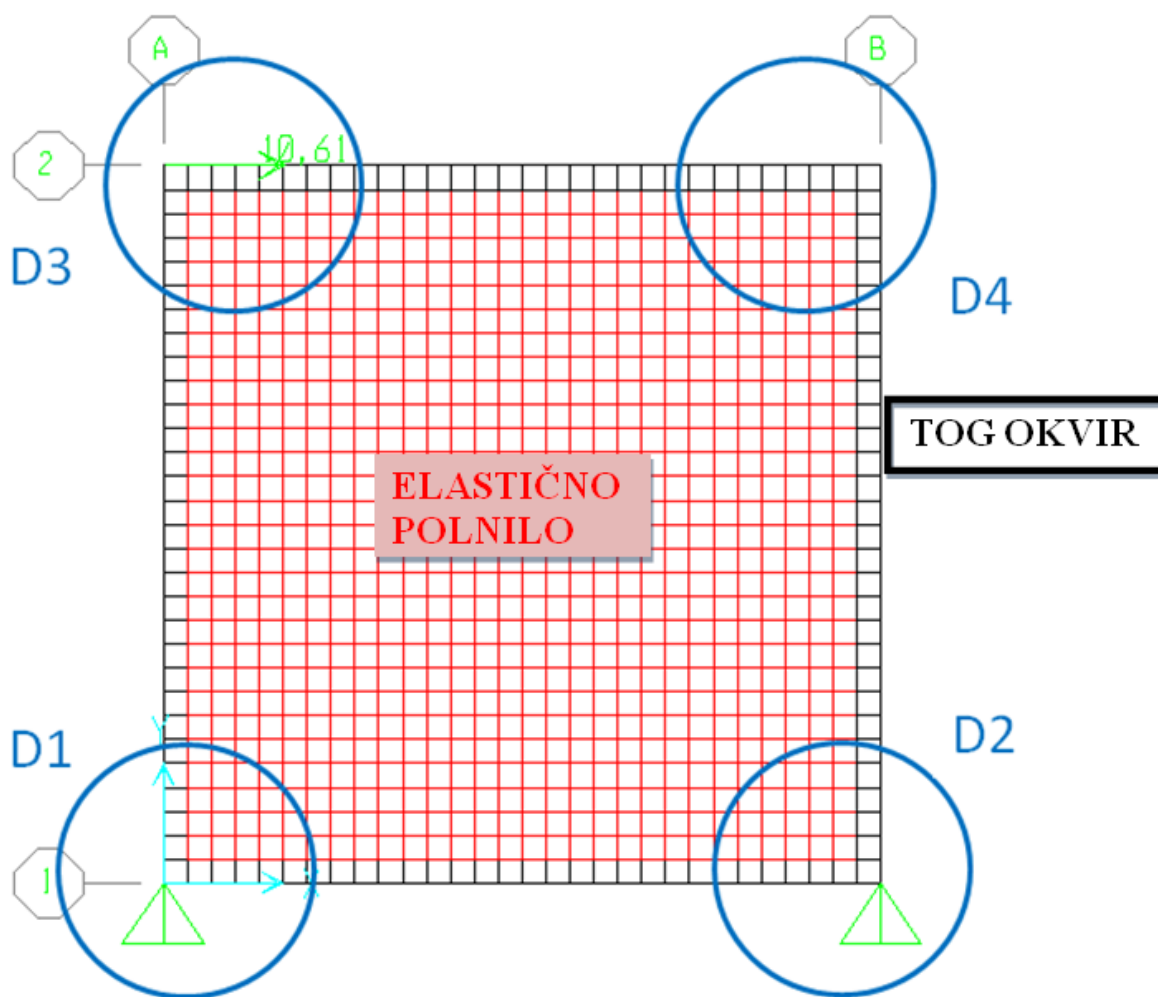
6.1 Zasnova in geometrija numeričnega modela preizkušane vzorca

V programu SAP2000 smo najprej modelirali posplošen model našega preizkuševalnega vzorca. Odločili smo se za model ravninske ploskovne konstrukcije, širine 20 mm. Eksperimentalno smo mu določili takšne nadomestne karakteristike materiala in prereza, da je zadostil našim dobljenim rezultatom nadomestnega bilinearnega diagrama v elastičnem območju (Slika 67). Da bi pridobili poenostavljen realni model, smo morali naš ploskovni element sestaviti s kombinacijo končnih elementov zelo togega okvirja, ki potekajo okoli polnilnih končnih elementov z manjšim modulom elastičnosti. Za jasnejši prikaz smo jih tudi grafično ločili z različnimi barvami. S črno barvo smo označili končne elemente togega okvirja in z rdečo končne elemente elastičnega polnila (Slika 70).



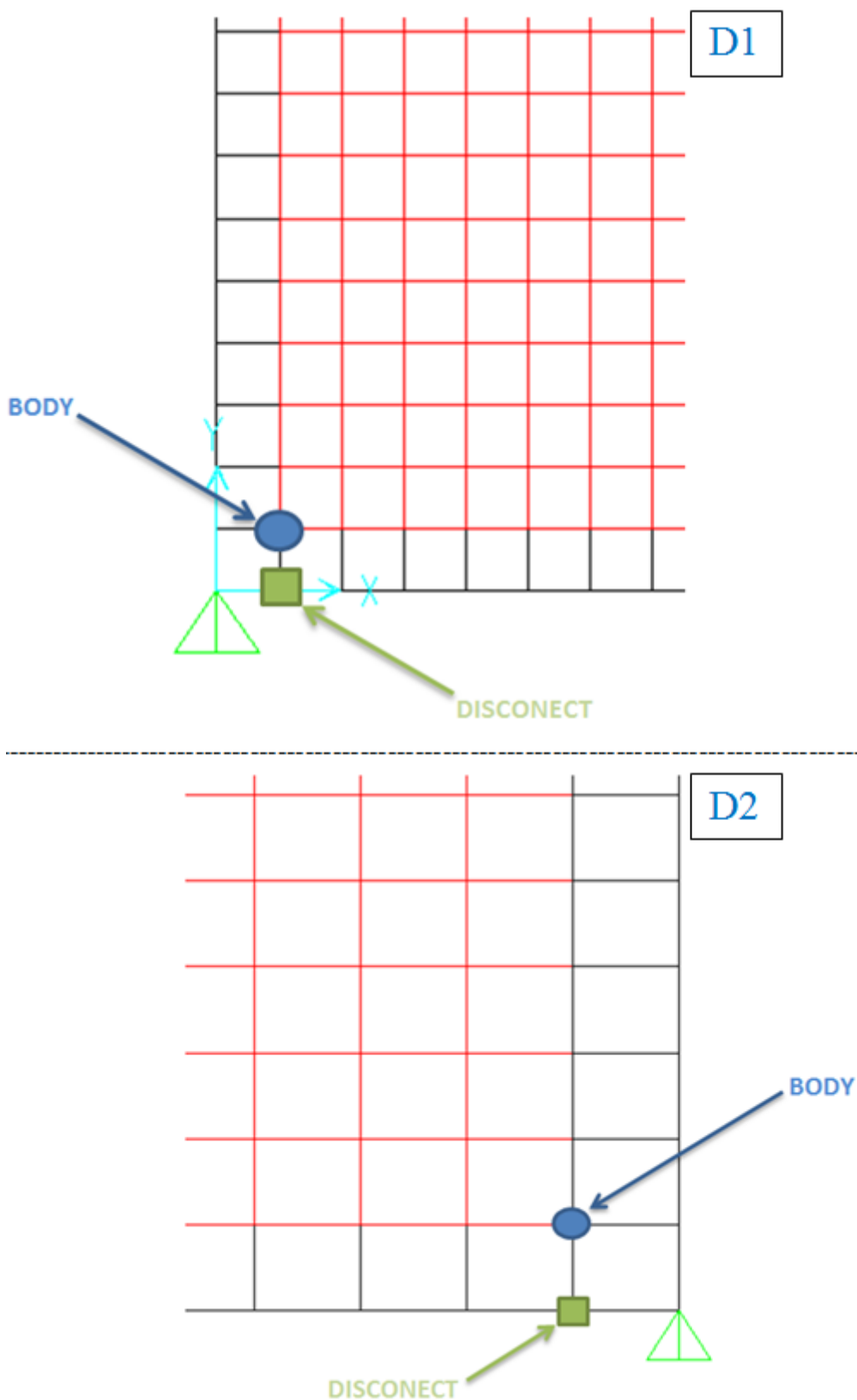
Slika 69: Karakteristike prereza vzorca fasade

V programu SAP2000 smo si najprej izrisali mrežo dimenzij 650 x 650 mm in nato modelirali ploskovni element (Plane Stress) s predhodno izbranimi karakteristikami prereza (Slika 69). Nato smo našemu vzorcu dodali na spodnjih vogalih nepomične podpore. V zgornjem levem vogalu smo nanegli s parametrično analizo določeno nadomestno silo $F_e = 10,61$ kN. Vzorec smo nato razdelili na mrežo končnih elementov kvadratne oblike, s stranico približno 20 mm (Slika 70).

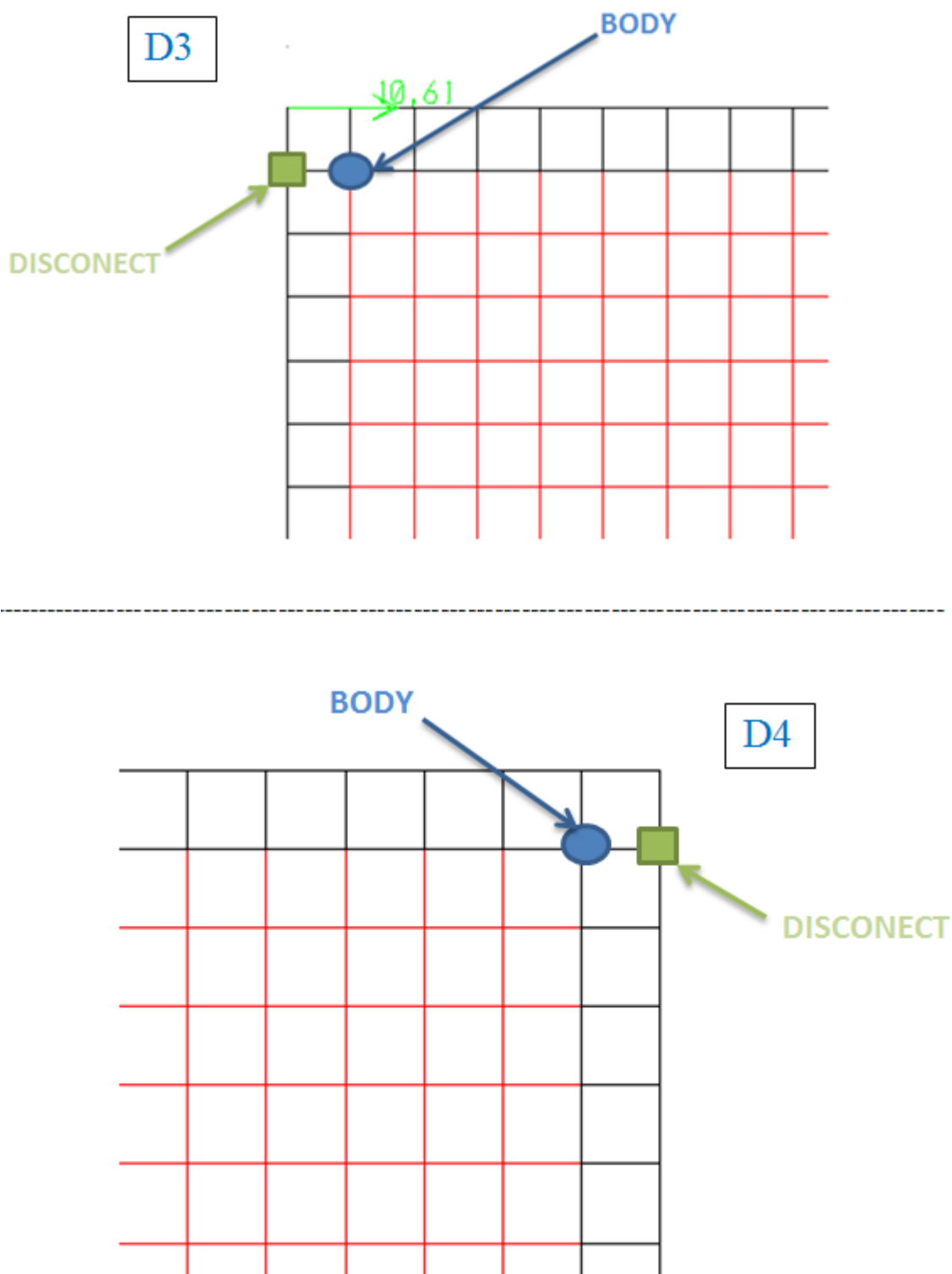


Slika 70: Geometrijska zasnova modela za preizkušani vzorec

Najprej smo s poljubnimi materialnimi karakteristikami iskali pravilno razmerje togosti med okvirjem in polnilom, da bi dobili ustrezno deformacijsko obliko modela, pri katerem se deformacije čim enakomerneje porazdelijo in ne pride do koncentracij napetosti. V osnovnem modelu so se nam na mestih podpor in vnosa sile dogajale prevelike lokalne deformacije. Tako smo si pomagali z ukazoma »Body« in »Disconnect«. Ukaz »Body« ohrani razdaljo med izbranimi vozlišči tudi v deformirani obliki. Dejansko se vez med stikovanimi končnimi elementi giblje kot togo telo. Ukaz »Disconnect« pa končne elemente razveže med seboj, s čimer dosežemo na mestu izbranega vozlišča dva – med seboj nepovezana – vozlišča.

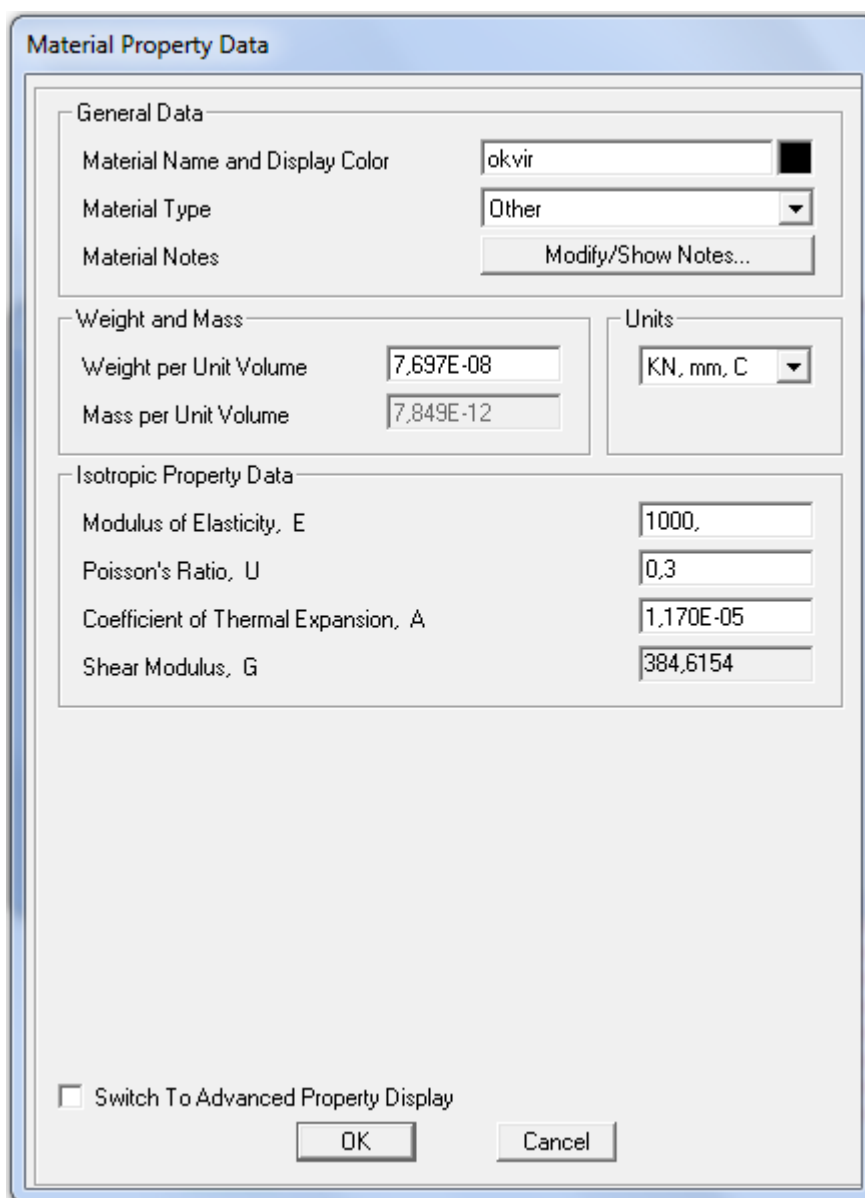


Slika 71: Detajlnější pogled na mrežo končnih elementov ob spodnjih vpetih točkah modela: detajl D1 (zgoraj) in D2 (spodaj)



Slika 72: Detajlnjši pogled na mrežo končnih elementov v zgornjih točkah modela: detajl D3 (zgoraj) in D4 (spodaj)

Ko smo dobili ustrezno razmerje togosti in zadovoljivo obliko deformacij, smo morali te vrednosti prilagoditi našim, s parametrično analizo dobljenim rezultatom (Preglednica 4). To je pomenilo, da se je morala naša konstrukcija pri horizontalni obtežbi 10,61 kN premakniti za približno 29,2 mm. To smo dosegli s spreminjanjem materialnih karakteristik numeričnega modela.



Slika 73: Nadomestne materialne karakteristike okvirja numeričnega modela

Za material končnih elementov okvirja smo uporabili tip »Other« in mu spremenili elastični modul E na vrednost 1000 N/mm² (Slika 73). Nato smo definirali še materialne karakteristike končnih elementov polnila. Ponovno smo izbrali tip materiala »Other« in mu prilagodili elastični modul. Odgovarjajoča vrednost je znašala 0,044 N/mm² (Slika 74).

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	polnilo ■
Material Type	Other
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7,697E-08
Mass per Unit Volume	7,849E-12
Units	
	KN, mm, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	0,044
Poisson's Ratio, U	0,3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	76,9031
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Slika 74: Nadomestne materialne karakteristike polnila numeričnega modela

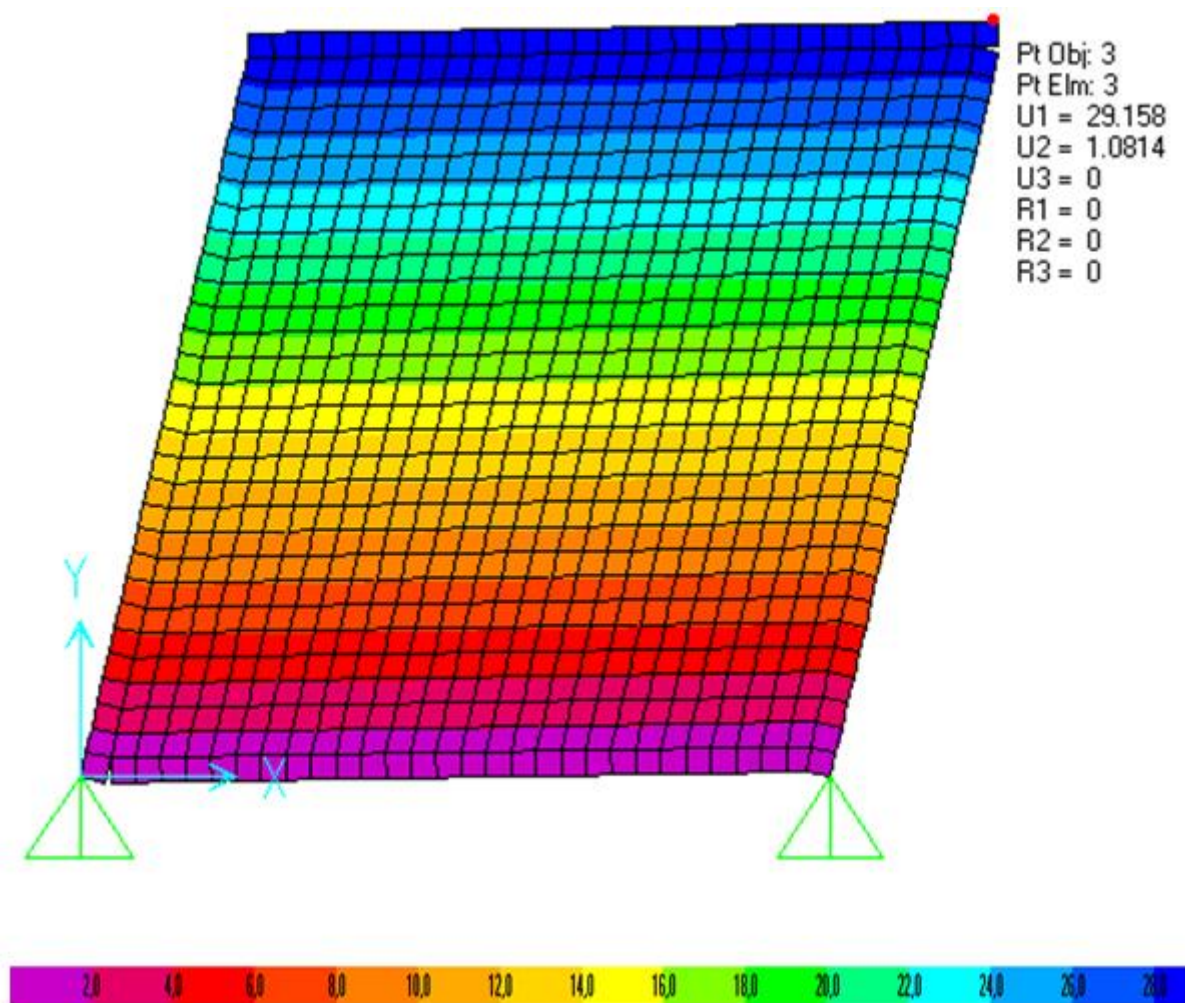
6.2 Rezultati numerične analize modela preizkušane vzorca

Z zgoraj predpisanimi nadomestnimi materialnimi lastnostmi numeričnega modela (Slika 73 in 74), smo dobili zelo zadovoljiv približek rezultatom našega vzorca.

Pomiki so bili glavni parameter naše preiskave – torej najpomembnejši in edini primerjalni parameter eksperimentalne in numerične analize. Konstrukcijo smo obravnavali v elastičnem delu, kjer so rotacije majhne, konstrukcija bi se pa po razbremenitvi vrnila v prvotno stanje. S parametrično analizo smo dobili vrednosti pomikov v odvisnosti od horizontalne sile. Te smo s pomočjo nadomestnih togosti opisali v numeričnem modelu in dobili enake vrednosti pomikov. Tako smo ob horizontalni sili

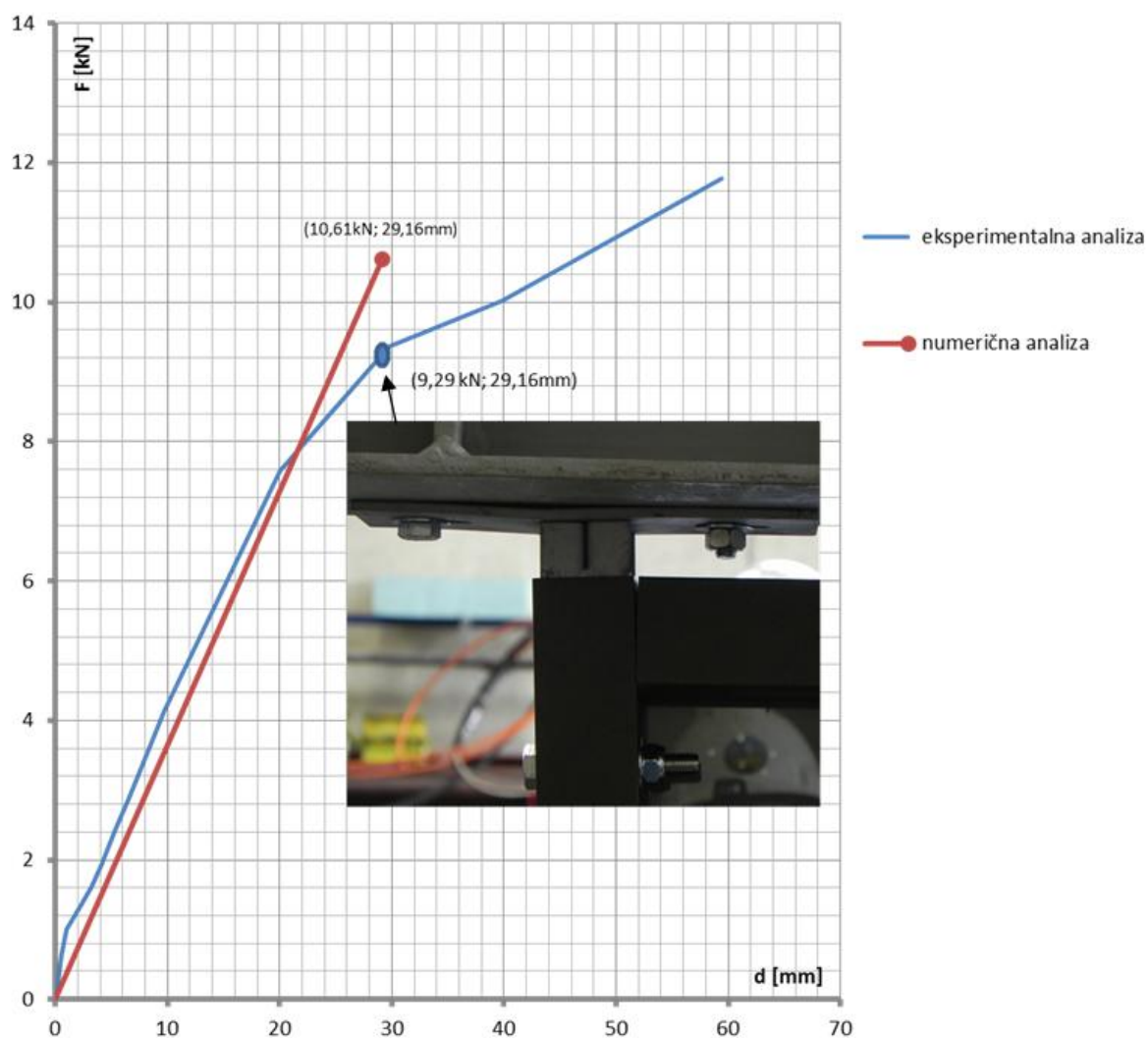
10,61 kN dobili horizontalni pomik skrajne desne točke deformiranega modela 29,16 mm, kar je natančno toliko, kot smo iz vrednotili že v Preglednica 4 (Slika 75).

Pomiki se z višino modela enakomerno povečujejo do vrha, kjer so logično največji, saj je horizontalna sila predpostavljena v zgornji levi točki modela. To je tudi nivo največje oddaljenosti modela od same točke vpetja, kjer vidimo vijolično barvo in do horizontalnih pomikov seveda sploh ne pride.



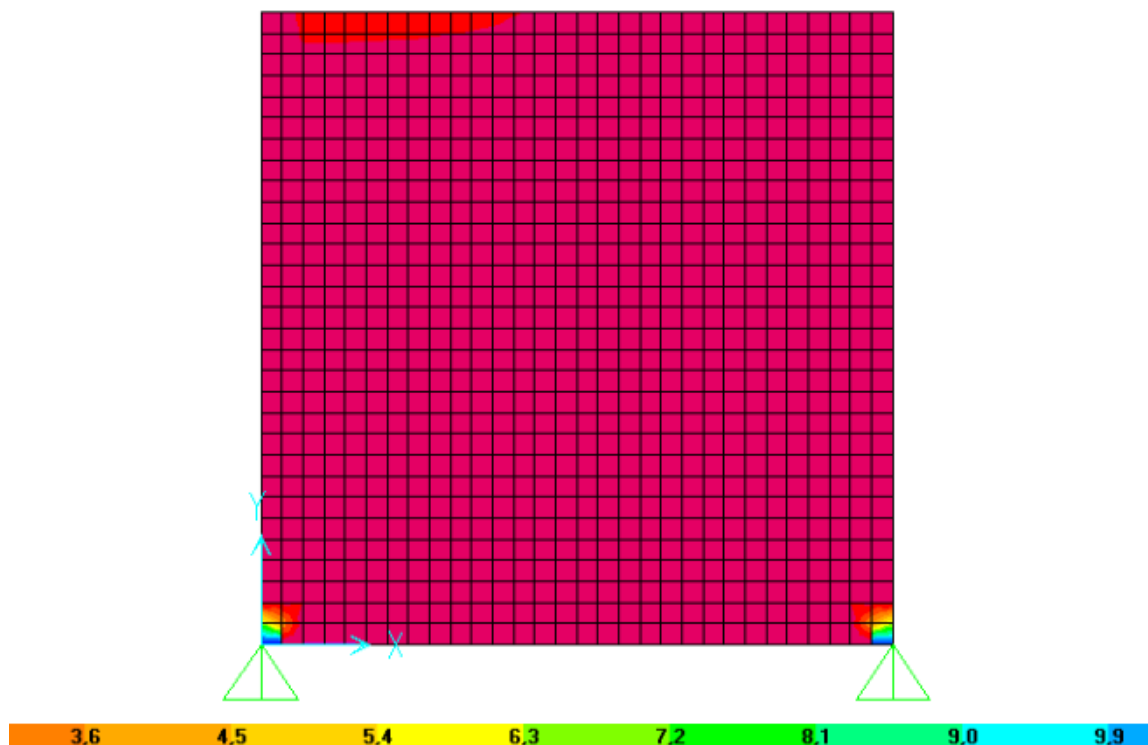
Slika 75: Graf horizontalnega pomika U1-modela ter pomiki in zasuki zgornje desne točke ob horizontalni obtežbi 10,61 kN

Sedaj smo lahko primerjali pomik modela pri numerični analizi s pomikom vzorca fasade pri eksperimentalni analizi. Pomik istih vrednosti ($u = 29,16\text{mm}$) se je pri eksperimentu zgodil pri 10. amplitudi, po okoli 2400 sekundah, in sicer ob delovanju horizontalne sile $F = 9,29\text{ kN}$ (Slika 76).



Slika 76: Primerjava grafa horizontalne sile (F) in pomika etaže na LVDT1 (d) eksperimentalne in numerične analize

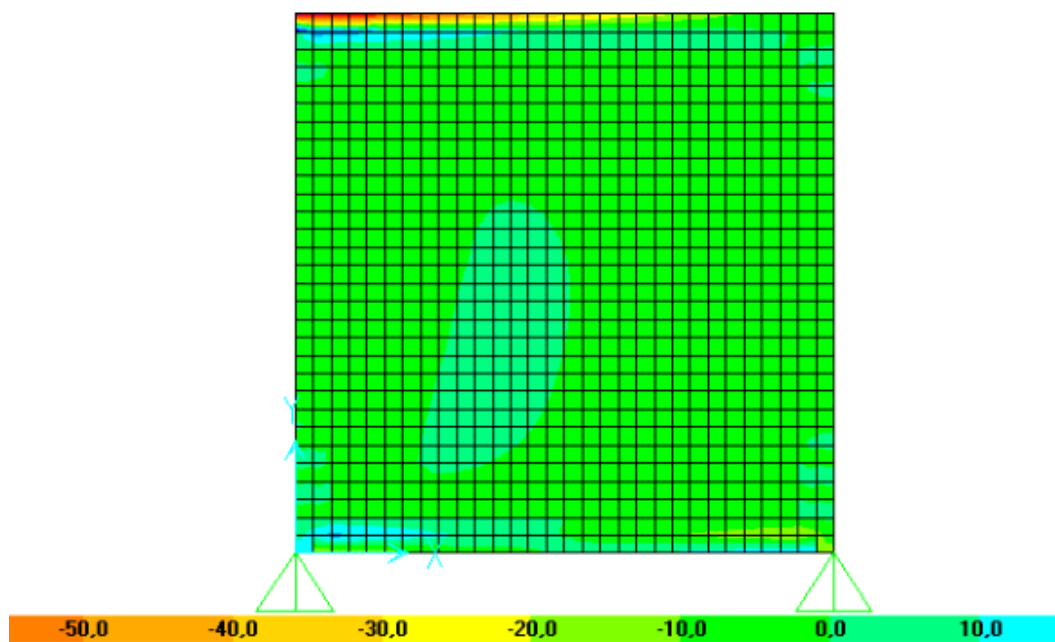
Pri tem pomiku je že prišlo do odpiranja spojev preizkušanca in deformacij sider, kar vidimo na priloženi sliki grafa (Slika 76). Večjih poškodb na vzorcu po približno polovici preiskave še vedno ni bilo zaznati. Na tem mestu je začel vzorec prehajati v nelinearno elastično območje, čemur se v naši diplomski nalogi ne bomo posvetili, saj smo se omejili zgolj na linearni del obnašanja stekleno-aluminijastega fasadnega panela.



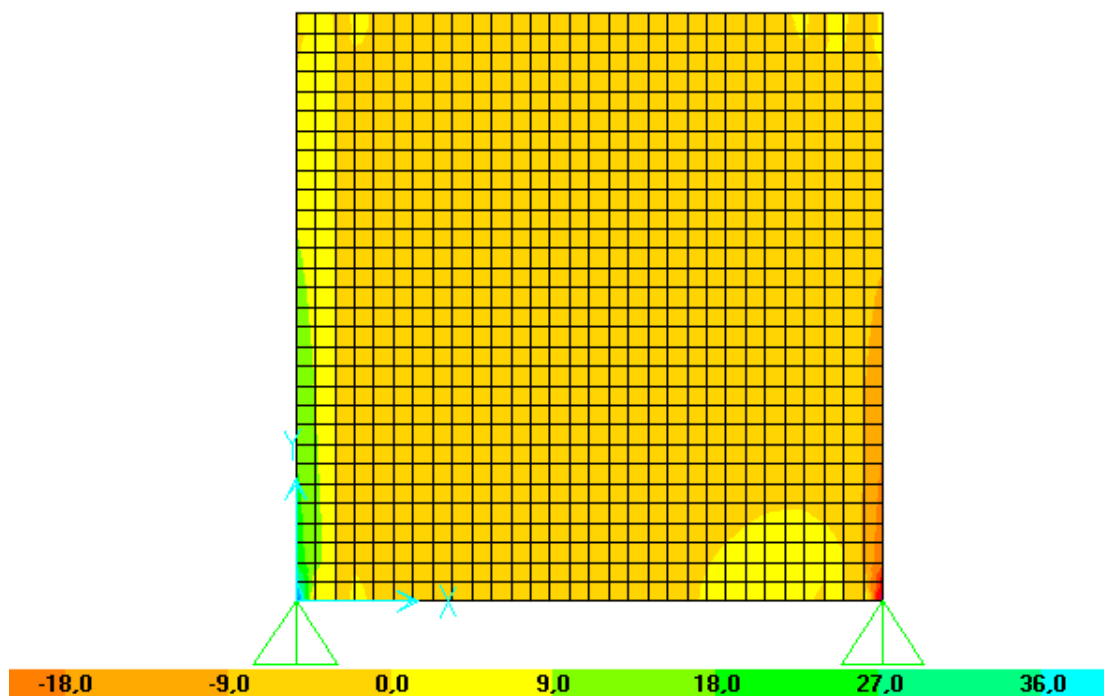
Slika 77: Razporeditev napetosti S12 ob horizontalni obtežbi 10,61 kN numeričnega modela

Na Slika 77 je prikazana razporeditev strižnih napetosti na numeričnem modelu, iz katere je jasno razvidno, da strižne napetosti prevzamejo podpore, na preostalem območju pa so le-te zanemarljive.

Na Slikah 78 in 79 vidimo tudi razporeditev glavnih napetosti na numeričnem modelu. Glavne napetosti S11 so na mestu vnosa obtežbe negativne in največje, medtem ko se glavne napetosti S22 večinoma razporedijo pravokotno na smer obtežbe v ravnini podpor. Tako so na isti strani vnosa obtežbe pozitivne, medtem ko so na nasprotni strani negativne.



Slika 78: Razporeditev napetosti S11 ob horizontalni obtežbi 10,61 kN numeričnega modela



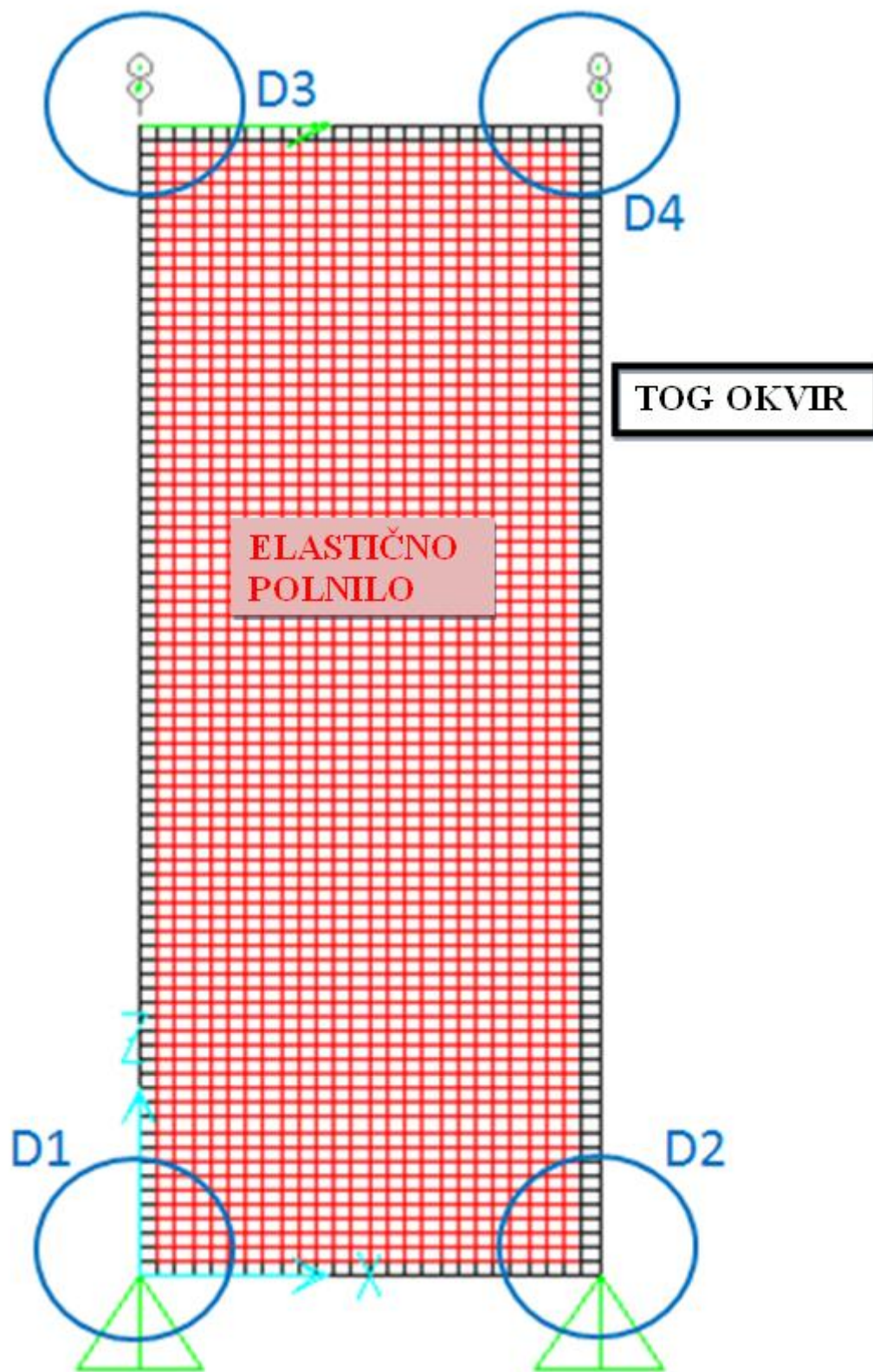
Slika 79: Razporeditev napetosti S22 ob horizontalni obtežbi 10,61 kN numeričnega modela

6.3 Zasnova in geometrija numeričnega modela stekleno-aluminijaste fasade v realnosti

V naravi so takšne steber-prečka fasade nameščene pred etažnimi ploščami, kar pomeni, da so najmanj etažnih višin, ki pri poslovnih objektih zaradi vseh inštalacij znašajo približno 3 metre. Horizontalni rastri stebrov so največkrat širin 1000–1500 mm. Torej je razmerje širina:višina med 1:3 in 1:5. Da bi vsaj približno izvedeli, kakšen je odziv takšne konstrukcije z realnejšimi dimenzijami, smo se odločili pripraviti numerični model z realnimi dimenzijami in enako elastičnostjo kot jo ima naš vzorec.

Izbrali smo dimenzije – višino 3250 mm in širino 1300 mm. S programom smo ponovno izrisali konstrukcijo in jo razdelili na končne elemente (Slika 80).

Zasnovo modela smo ponovno sestavili iz togega okvirja in elastičnejšega polnila enakih materialnih karakteristik – kot pri preizkušanjem vzorcu. Geometrijsko gledano smo z ukazoma »Disconnect« in »Body« sprostili ali povezali enake točke, zato so detajli od D1 do D4 enaki kot pri modelu vzorca (Slika 80).

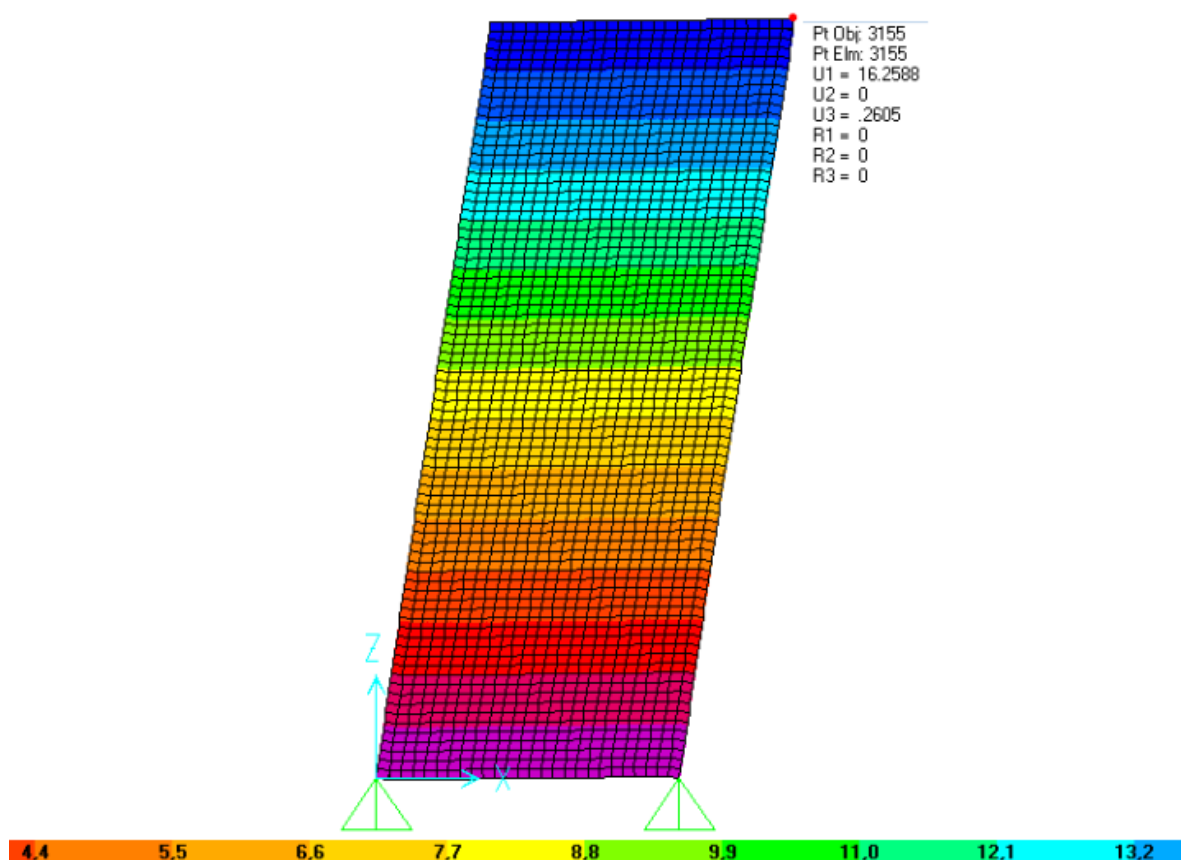


Slika 80: Numerični model fasade v realnosti

Upoštevali smo, da EC8 dovoljuje za stavbe, ki imajo na konstrukcijo pritrjene krhke nekonstrukcijske elemente, pomik, manjši od $0,005 h$. Tako znaša za naš primer horizontalni pomik 16,25 mm, iskali pa smo silo, ki je potrebna za mejni pomik.

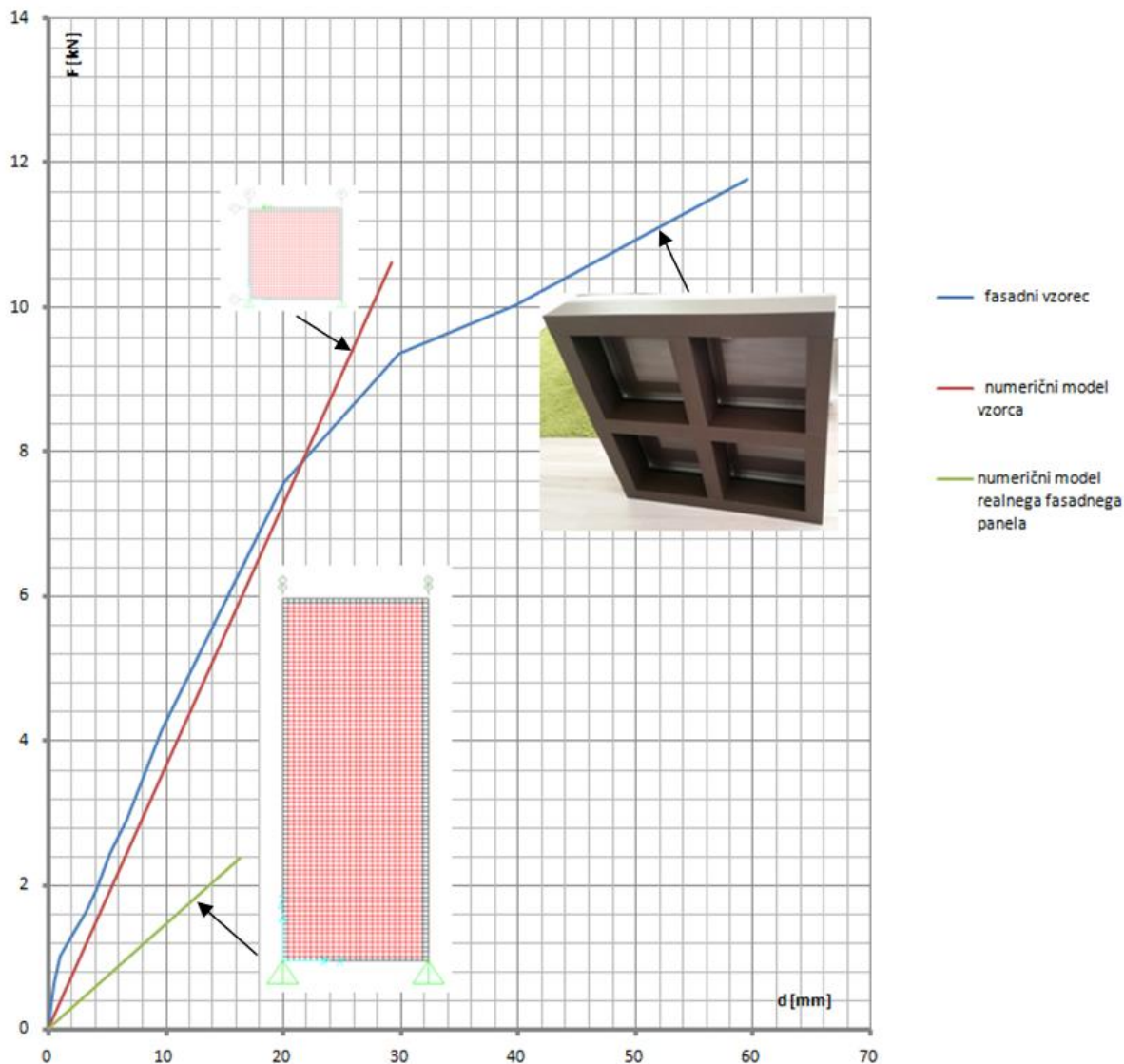
6.4 Rezultati in komentar numerične analize modela stekleno-aluminijaste fasade v realnosti

Dobljena vrednost kritične horizontalne sile, ki bi povzročila mejni pomik 16,25 mm, je $F = 2,38 \text{ kN}$.



Slika 81: Horizontalni pomik numeričnega modela pri horizontalni obtežbi $F = 2,38 \text{ kN}$

Na zgornji sliki (Slika 81) vidimo horizontalne pomike, dobljene s pomočjo numerične analize modela fasade ob upoštevanju realnih izmer fasadnih elementov, ki so primerljivih karakteristik sistema kot pri modelu vzorca. Dobljena vrednost horizontalne sile za povzročitev mejnega pomika se nam zdi realna, saj moramo upoštevati, da je naš vzorec visok 3,25 m in visok le 1,3 m. Gre torej za spodaj vpet ozek element, ki ga moramo – da bi povzročili pomik zgolj 0,016 m v zgornji desni točki – potisniti s silo 2,38 kN, kar je ekvivalentno približno 243 kg.



Slika 82: Graf horizontalne sile/etažnega pomika na LVDT1 eksperimentalnega vzorca in obeh numeričnih modelov

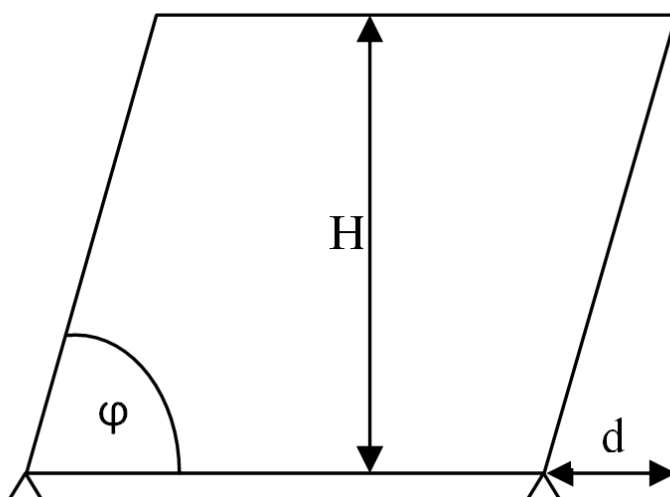
Primerjava grafa odvisnosti horizontalne sile (F) in etažnega pomika, merjenega na LVDT1 (d) tako za preizkušanece kot oba numerična modela (Slika 82), nam še enkrat potrjuje, da smo pravilno zmodelirali naše numerične modele in preizkušanece obravnavali v linearno-elastičnem območju. Togost konstrukcije numeričnega modela fasadnega vzorca sledi dejanski togosti preizkušancea na

eksperimentu, medtem ko je togost numeričnega modela realnih dimenzij bistveno manjša, kar je posledica drugačnega razmerja stranic modela.

Na koncu lahko še izračunamo zasuke po enačbi

$$\Phi = \arctg (H/d), \quad (6)$$

pri čemer je H višina in d pomik elementa (vzorca).



Slika 83: Rotacije konstrukcije

Za numerični model (φ_r) večjih dimenzij znese

$$\varphi_r = \arctg(3250/16,25) = 89,7^\circ.$$

Da bi ugotovili, kdaj so se takšni zasuki zgodili pri eksperimentu (φ_e), moramo ugotoviti pomik, ki bo zagotavljal enakost rotacij.

$$\varphi_r = \varphi_e \tag{7}$$

$$d_e = (H_e * d_r) / H_r = 3,25 \text{ mm} \tag{8}$$

Ugotovili smo, da se zasuk, ki bi povzročil mejni pomik po EC8 na fasadnem panelu realnih dimenzij, na eksperimentalnem vzorcu zgodi že pri 3,25 mm horizontalnega pomika. Do takšnega pomika je prišlo pri 1. ciklu 5. amplitude, ko se na vzorcu niso pojavile še prav nobene poškodbe. Tako lahko predvidevamo, da bi naš vzorec realnih dimenzij ustrezal pogojem in zahtevam EC8 po varnosti in stabilnosti krhkih elementov v primeru delovanja ciklične strižne obremenitve.

Seveda pa moramo tukaj upoštevati vse predpostavke in poenostavitve, ki smo jih zajeli z nadomestno togostjo oziroma elastičnim modulom med numerično analizo. Pri tem nismo upoštevali zdrsa v podpori, saj je bil zaradi netočnosti izdelave zagotovo možen pomik nekaj milimetrov.

Zaradi vseh zgoraj naštetih dejstev poudarjamo, da je rezultat zgolj ocena za naš primer s točno določenimi karakteristikami, obtežbami in predpostavkami ter ga ni možno posplošiti.

7 ZAKLJUČEK

Aluminijaste fasade so zelo pogosti fasadni sistem, predvsem na večjih (poslovnih) objektih. Osnova takšnega fasadnega sistema je aluminij, ki je odličen konstrukcijski material, lahek in trajen. Za samo recikliranje aluminija se porabi le 5 % energije v primerjavi s prvo proizvodnjo, ki je sicer draga in energetska potratna, a ko aluminij enkrat stopi v cikel, dejansko ne izstopi več iz njega – v nobeni fazi ne postane odpadke. To je tudi razlog, da je dobil naziv »zelena kovina«. Z uporabo aluminija se tako zmanjšuje količina komunalnih odpadkov in uporaba odlagališč za odpadke, ohranjajo se naravni viri ter pridobiva dodatni zaslužek. Polnilni fasadni elementi so lahko iz aluminija, največkrat pa iz stekla, ki z naprednimi procesi proizvodnje, raznimi nanosi in spajanjem v izolacijske zasteklitve zagotavlja odlično toplotno, sončno in zvočno zaščito. Velike steklene površine ustvarjajo kvalitetno delovno in bivalno okolje uporabniku v notranjih prostorih objekta. Hkrati je steklo mogoče 100-odstotno reciklirati in znova uporabiti. Recikliranje odpadnega stekla je učinkovit postopek, pri katerem ne nastajajo stranski proizvodi, reciklirano steklo pa ne izgublja na kakovosti.

Kot študent organizacijsko-tehnološke smeri in zaposlen v projektivnem biroju, ki se ukvarja s konstruiranjem steklenih-aluminijastih fasad, sem svoje znanje želel nadgraditi. Tako je predstavljala moj osnovni cilj pisanja diplomske naloge razčlenitev tipov aluminijastih fasad in njihova tehnološka izvedba. Za izvedbo aluminijastih fasad je potrebno veliko tehnološkega znanja izbranega fasadnega sistema. Poznamo različne izvedbe: glede na koncept konstrukcijskega sklopa, lego v konstrukciji, konstruktivno izvedbo in zunanji videz fasade. Kljub temu, da proizvajalci aluminijaste profilacije nudijo vedno boljše podporo svojim uporabnikom in konstrukterjem, pa potrebujejo poglobljeno znanje konstrukcijskih detajlov spojev, nosilnosti, gradbene fizike (toplotne in zvočne izolativnosti, varnosti, kondezacije, odvajanja parnega tlaka ipd.) in tehnologije (možnost izdelave v proizvodnji in kasneje montaže na terenu). Z odločitvijo o opravljanju diplomskega dela skupaj s Katedro za preizkušanje materialov in konstrukcij smo prišli na idejo, da bi mojo zasnovo razširili in dopolnili z eksperimentalno analizo vzorca ob horizontalni obtežbi. Pridobil sem manjši vzorec segmenta stekleno-aluminijastega fasadnega sistema, na katerem smo izvedli eksperiment kvazi-statične ciklične strižne obtežbe. S tem smo pridobili vpogled v odziv takšnega panela na horizontalno obtežbo. Na osnovi eksperimentalne smo izvedli še numerične analize. Pomembno je poudariti, da smo obravnavali le linearni del obnašanja konstrukcije. Eksperimentalno dobljene rezultate smo opisali tako, da smo s parametrično analizo modela določili ustrezne nadomestne materialne karakteristike. Najprej smo izdelali numerični model, ki smo ga validirali glede na preizkušani fasadni segment, da smo z njim lahko kasneje opisali obnašanje modela večjih dimenzij, kakršne se pojavljajo v realnih fasadnih sistemih. Ploskovni element smo razdelili na tog okvir in elastično polnilo ter mu določili nadomestni modul elastičnosti, s čimer smo opisali togost konstrukcije. Nato smo izdelali numerični model enakih materialnih karakteristik in večjih dimenzij, da smo pridobili vrednosti največjih pomikov, ki smo jih

nato lahko primerjali tako z eksperimentalnim kot tudi z osnovnim numeričnim modelom, ki ga je opisoval. Pomik numeričnega modela večjih dimenzij smo omejili tako, da je zadostil pogojem potresno varne gradnje po *Evrokodu 8*. Namen standarda je v primeru potresa zaščititi človeška življenja, omejiti škodo in zagotoviti, da ostanejo konstrukcije uporabne. Rezultat naših preiskav je odpor (sila F) konstrukcije, ki jo le-ta nudi pri mejnem pomiku. Ugotavili smo, da togost večje konstrukcije pade, saj obravnavamo precej višji element, zato so manjši tudi zasuki in posledično notranje obremenitve ter poškodbe elementa. Čeprav smo naš predimenzioniran eksperimentalni vzorec obremenili z mnogo večjim pomikom od računsko mejnega, je ta v obravnavanem linearno elastičnem območju še vedno zadoščal zgoraj naštetim zahtevam standarda. Ko smo numeričnemu modelu predpisali mejni pomik po standardu, smo dobili tudi njegove zasuke. Slednje smo lahko primerjali z eksperimentalnim modelom in ugotovili, da se pri teh zasukih ne pojavijo še prav nobene poškodbe.

V Sloveniji živimo v času nenehnih kriz in naravnih nesreč. Že kar nekaj let se spopadamo z gospodarsko krizo, ki je največje posledice pustila ravno v gradbeništvu. Veliko je propadlih podjetij in še več brezposelnih – tako fizičnih delavcev kot izobraženega kadra z leti izkušenj. Prodor na trg dela je mladim inženirjem gradbeništva zelo težek: boj za prosta delovna mesta je neizprosno, delo naporno in celodnevno, nadure največkrat samoumevne, a neplačane, (vsaj začetni) zaslužek slab, pogoji dela težki itd. Nato nas vsako leto prizadene še katera izmed naravnih nesreč: toča, suša, pozeba, žled, potresi, poplave itd. Zaradi vseh zgoraj omenjenih dejstev je prihodnost gradbeništva prav gotovo v trajnostnem razvoju in gradnji »zelenih«, energijsko varčnih objektov, ki bodo varni tudi na potresno ogroženih območjih, med katere spada Slovenija skoraj v celoti. Projektiranje potresno varnih objektov je ena izmed pomembnejših vej gradbeništva. Izvaja se veliko preizkusov in testiranj za pripravo novih predpisov in standardov, zato upamo, da smo z opravljenimi preiskavami odprli nekatera nova vprašanja in doprinesli k razvoju znanja na področju potresno varne gradnje v povezavi s stekleno-aluminijastimi fasadnimi paneli kot tudi na področju tehnološke razčlembे aluminijastih fasad.

VIRI

Aberšek, B. 1995. Tehnologija in obdelava gradiv. Radovljica, Didakta: 330 str.

Aluminij. Wikipedia.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Aluminij> (Pridobljeno 18. 11. 2015.)

Aluminij v gradbeništvu. 2011. Finance 102/2011.

<http://gradbenistvo.finance.si/313622/Aluminij-v-gradbeni%C5%A1tvu> (Pridobljeno 18. 11. 2015.)

Antolinc, D. 2014. Uporaba steklenih panelov za potresno varno gradnjo objektov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Antolinc): 168 str.

Bračko, M. 2008. Aluminijaste fasade. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba M. Bračko): 85 str.

Grobovšek, B. Uporaba stekla v gradbeništvu

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT155.htm> (Pridobljeno 18. 11. 2015.)

Gutnik, T. 2015. Steklo kot konstrukcijski material. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Gutnik): 89 str.

Hajdinjak, R. 2009. Gradimo s steklom. Gornja Radgona, REFLEX d. o. o.: 367 str.

Haldimann, M., Luible, A., Overend, M. 2008. Structural Use of Glass. Zürich, International Association for Bridge and Structural Engineering: 215 str.

Medved, J., Mrvar, P., Pirnat, M., idr. 2014. Procesna metalurgija neželeznih kovin: z računalniškimi primeri in praktikumom. Ljubljana, Oddelek za materiale in metalurgijo, Naravoslovnotehniška fakulteta.

Metalka. Arhitekturni vodnik

<http://arhitekturni-vodnik.org/?object=126&mode=1> (Pridobljeno 15. 01. 2016.)

Način pridobivanja aluminija. Talum

<http://www.talum.si/2013-09-18-05-43-17/na%C4%8Din-pridobivanja> (Pridobljeno 21. 12. 2015.)

Prolupin d. o. o. 2016a. Interni projektni katalog Schüco: Bestell- und Fertigungsbroschüre, Ausgabe 02.2011. Osebna komunikacija (15. 3. 2016.)

Prolupin d. o. o. 2016b. Interni projektni katalog Schüco: Bestellkatalog 2-1, Fassaden (FW 50+ / FW 60+), Ausgabe 10.2013. Osebna komunikacija (15. 3. 2016.)

Prolupin d. o. o. 2016c. Interni projektni katalog Schüco: Fertigungskatalog 2-1, Fassaden (FW 50+ / FW 60+), Ausgabe 10.2013. Osebna komunikacija (15. 3. 2016.)

Reflex d. o. o.

<http://www.reflex.si/si/> (Pridobljeno 20. 04. 2016.)

Schüco Aufsatzkonstruktionen. 2009. Schüco Prospekt 598/ 453/ 12/2009.

SchücoElementfassaden. 2009. Schüco Prospekt 598 455/ 12/2009.

Sennott, R. S. 2004. Encyclopedia of 20th century architecture. New York, London, Fitzroy Dearborn: 1525 str.

Vrhovnik, A. 2011. Aluminij, material prihodnosti. Finance 102/2011.

<http://gradbenistvo.finance.si/313623/Aluminij-material-prihodnosti> (Pridobljeno 8. 10. 2015.)

Wallner, R. 2012. Uporaba programa SAP2000 za projektiranje jeklenih okvirnih stavb po standardu Evrokod 8. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Wallner): 83 str.

Zbašnik Senegačnik, M. (ur.). 2005. Steklene fasade. Zbornik predavanj strokovnega izpopolnjevanja, 17. 6. 2005, Plečnikova predavalnica Fakultete za arhitekturo. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 63 str.

Žarnić, R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 67–74 str.

PRILOGE

A. SESTAVA IN NAČRTI STEKLENO-ALUMINIJASTEGA PREIZKUŠANCA

A.1 KRATKA OBLIKA SESTAVNICE PREIZKUŠANCA (»SchüCal«)

**Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1**

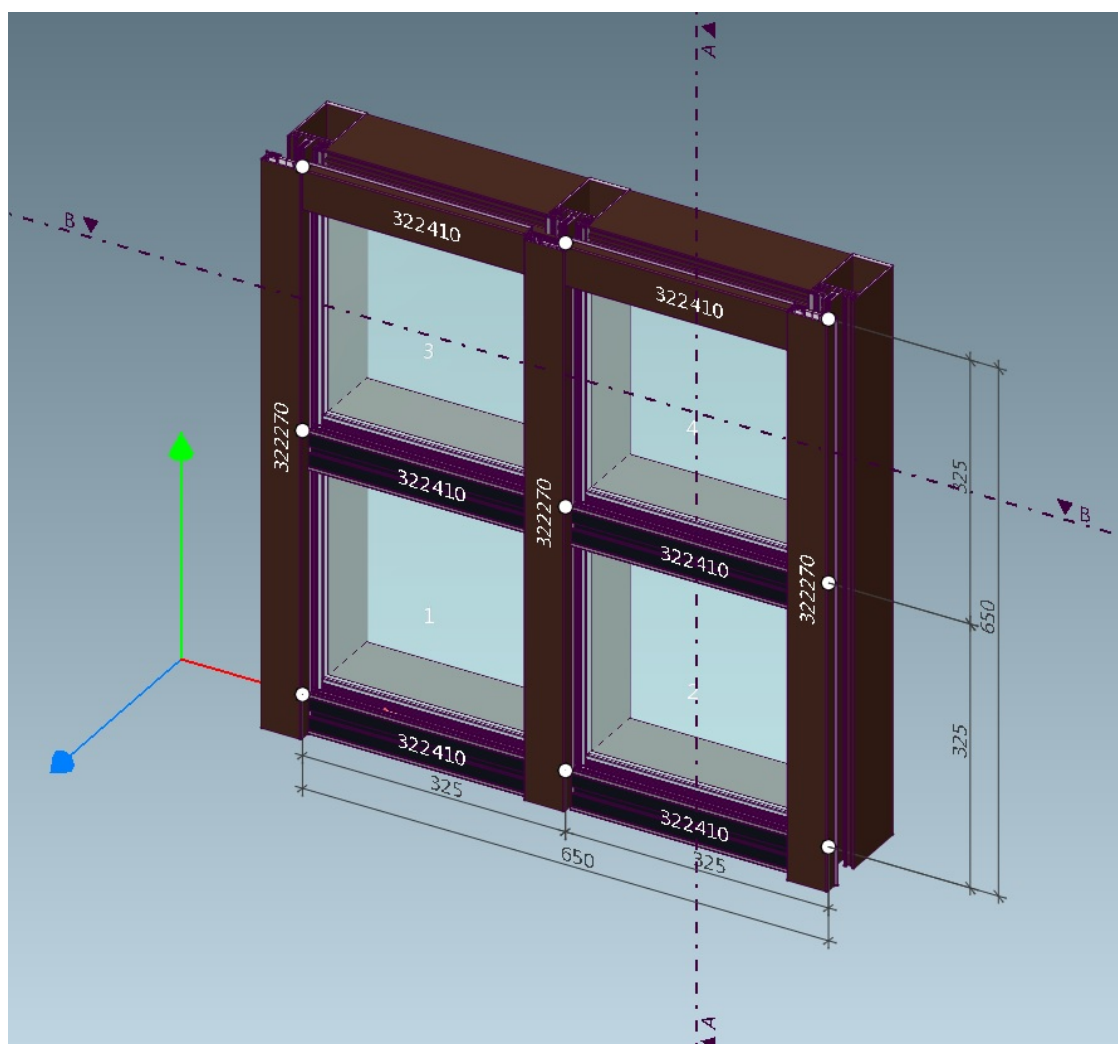
Številka projekta:	ROK - diploma	Naslov projekta:	vzorec
Številka pozicije:	Vzorec1	Opis pozicije:	fasada
Profilni sistem:	Schüco FW 50+	Kos:	1
Datum izdelave:	1.12.2015 (Administrator)	Letzte Änderung:	21.3.2016 (Adm)
Skupna širina:	650,0 mm	Skupna višina:	650,0 mm
Površina znotraj:	Pulverbeschichtet Divers ohne Perlglimmer RAL 8011 Nussbraun	Površina zunaj:	Pulverbeschichtet Divers ohne Perlglimmer RAL 8011 Nussbraun
Teža na kos:	18,686 kg	Skupna teža:	18,686 kg

Parametri elementa

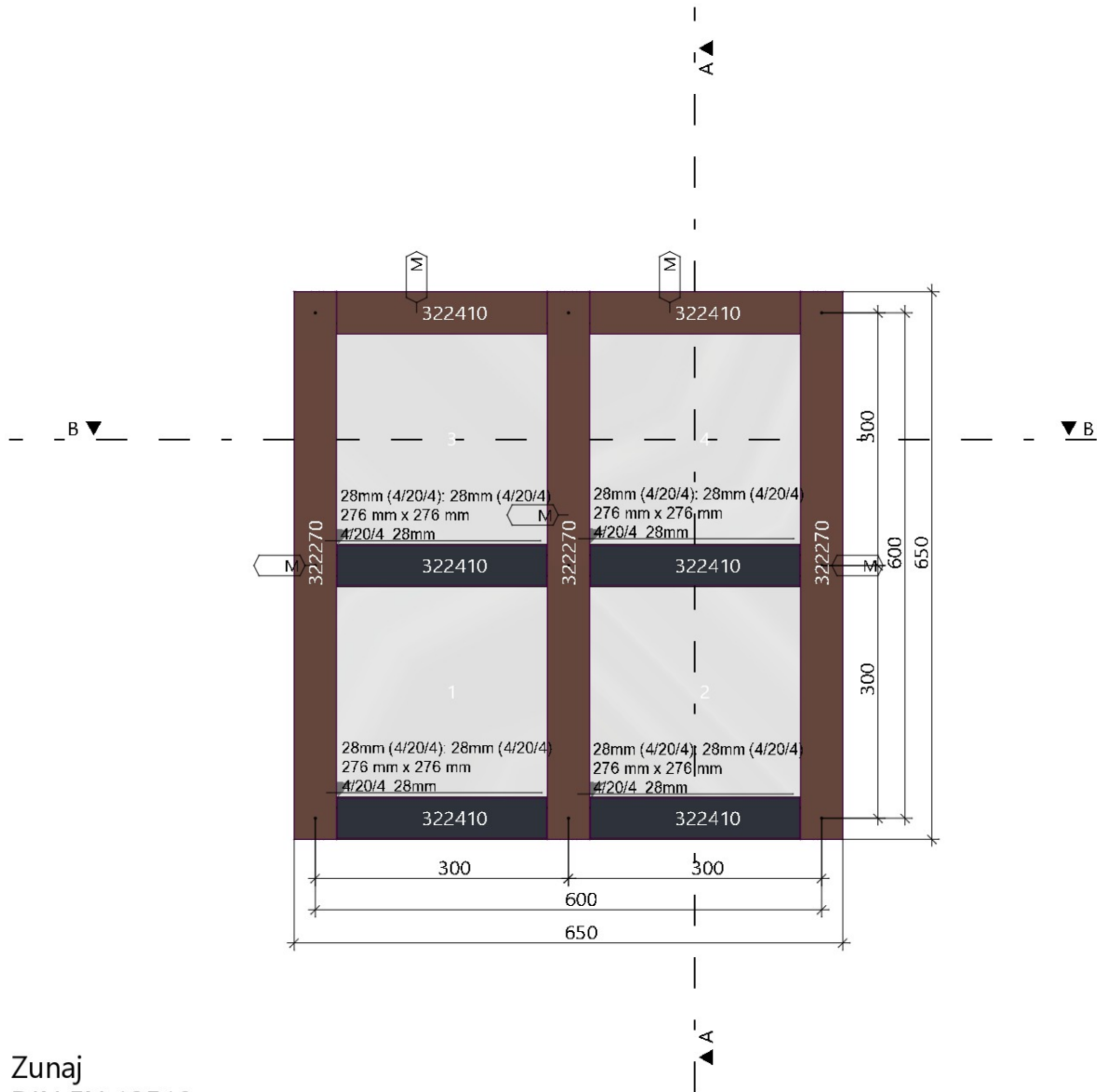
Število polj Š:	5	Število polj V:	2
Širina rastra:	600,00	Višina rastra:	600,00
Bodeneinstand Hauptprofil:	0,00	Deckeneinstand Hauptprofil:	0,00
Bodeneinstand Nebenprofile:	0,00	Deckeneinstand Nebenprofile:	0,00
Sicherheitsklasse:	brez		

U-vrednost

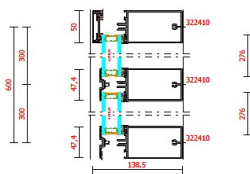
Skupaj (Ucw):	2,7 W/(m²K)	Profili (Um/Ut/Uf):	2,1 W/(m²K)
Steklo (Ug):	1,1 W/(m²K)	Randverbund Glas (Psi):	0,13 W/mK (Diverse)



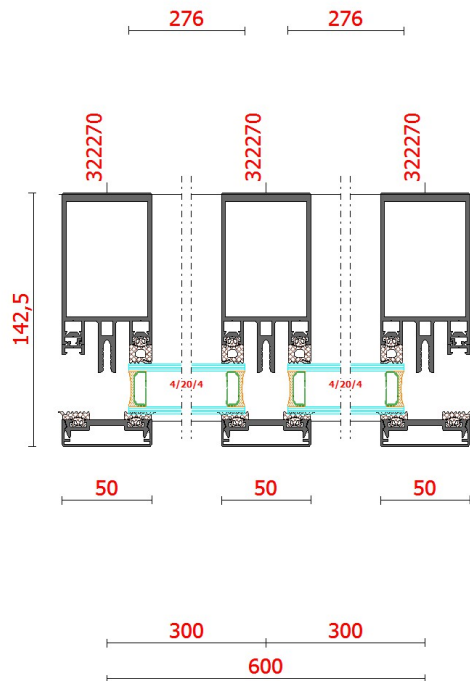
**Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1**






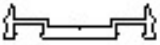
Zunaj
DIN EN 12519



A

Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1

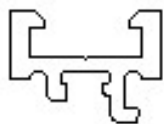
B

Tek. Št.	Kos	Art. Št.	Delna oznaka	Mera	Prez
Steber					
			 Pfosten 85 mm		
1	1	322270	Steber	650,0	90,0 / 90,0
			 Deckschale 15mm		
2	1	112720	Pokrivni profil steber	650,0	90,0 / 90,0
			 Glasanlagedtg 5mm re		
3	1	246476	Glaskanlagedtg 5mm re	1,3	lfdm
			 Andruckprofil Gest.		

Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1

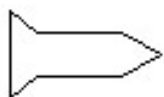
4	1	112710	Pritisni profil steber	650,0	90,0 / 90,0
5	6	226081	T-spojnik		
6	6	205082	Vijak		

7	1	322270	Steber	650,0	90,0 / 90,0
----------	----------	---------------	---------------	--------------	--------------------



Glasfalzverkl.6mm

8	1	323120	GLASFALZVERKL.6MM	650,0	90,0 / 90,0
---	---	--------	-------------------	-------	-------------



Senkblechs. B3,9x13

9	1	205080	Vijak		
---	---	--------	-------	--	--



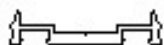
Deckschale 15mm

10	1	112720	Pokrivni profil steber	650,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	------------------------	-------	-------------

Artikelgruppe Gume 246476

Glasanlagedtg 5mm re

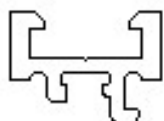
11	1	246476	Glasanlagedtg 5mm re		
12	1	246476	Glasanlagedtg 5mm re	0,7	lfdm



Andruckprofil Gest.

13	1	112710	Pritisni profil steber	355,0	90,0 / 90,0
14	3	226081	T-spojnik		
15	3	205082	Vijak		

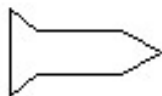
16	1	322270	Steber	650,0	90,0 / 90,0
-----------	----------	---------------	---------------	--------------	--------------------



Glasfalzverkl.6mm

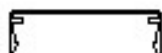
Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1

17	1	323120	GLASFALZVERKL.6MM	650,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	-------------------	-------	-------------



Senkblechs. B3,9x13

18	1	205080	Vijak		
----	---	--------	-------	--	--



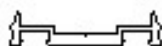
Deckschale 15mm

19	1	112720	Pokrivni profil steber	650,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	------------------------	-------	-------------



Glasanlagedtg 5mm re

20	1	246476	Glasanlagedtg 5mm re	1,3	lfdm
----	---	--------	----------------------	-----	------



Andruckprofil Gest.

21	1	112710	Pritisni profil steber	650,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	------------------------	-------	-------------

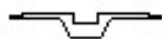
22	3	226081	T-spojnik		
----	---	--------	-----------	--	--

23	3	205082	Vijak		
----	---	--------	-------	--	--

Precka

Riegel 90 mm

24	4	322410	Precka	280,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	---------------	-------	-------------



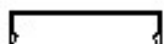
Glasandruckpr FW50+

25	4	328780	Riegeldeckschale	248,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	------------------	-------	-------------

			Pulverbeschichtet Divers ohne Perlglimmer RAL 9011 Graphitschwarz		
--	--	--	--	--	--

26	16	205827	Sonderblechschaube		
----	----	--------	--------------------	--	--

27	2	322410	Precka	280,0	90,0 / 90,0
----	---	--------	---------------	-------	-------------

**Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1**

Deckschale 12mm

28	2	160620	Riegeldeckschale	249,0	90,0 / 90,0
29	4	218704	Haltefeder		



Glasanlagedtg 5mm re

30	2	246476	Glasanlagedtg 5mm re	0,5	lfdm
----	---	--------	----------------------	-----	------



Andruckprofil Gest.

31	2	112710	Riegelandruckprofil	245,0	90,0 / 90,0
32	8	205827	Sonderblechschraube		

Oprema

Dichtung

33	1	244602	Zunanje tesnilo	1,0	lfdm
----	---	--------	-----------------	-----	------



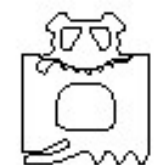
Dichtung

34	1	224842	DICHTUNG	1,3	lfdm
----	---	--------	----------	-----	------



Glasanlg.Dichtg. 5mm

35	1	224821	Notranje tesnilo	2,1	lfdm
----	---	--------	------------------	-----	------

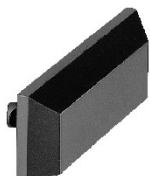


Glasanl.Dtg. 11mm RS

36	1	244295	Notranje tesnilo	2,7	lfdm
37	8	266661	Nosilec stekla		

Sestavnica - Kr. oblika
(ROK - diploma)/Vzorec1

38 8 244588 Dichtungsendstück



Entwaesserungskappe

39 4 208694 Entwässerungskappe

40 8 225028 Vijak

41 6 244763 Falzdichtstück

42 6 225083 Vijak

43 1 288046 Butilni trak

2,5

lfdm

44 15 205831 Vijak

45 4 228434 Montažno držalo

Glasscheiben

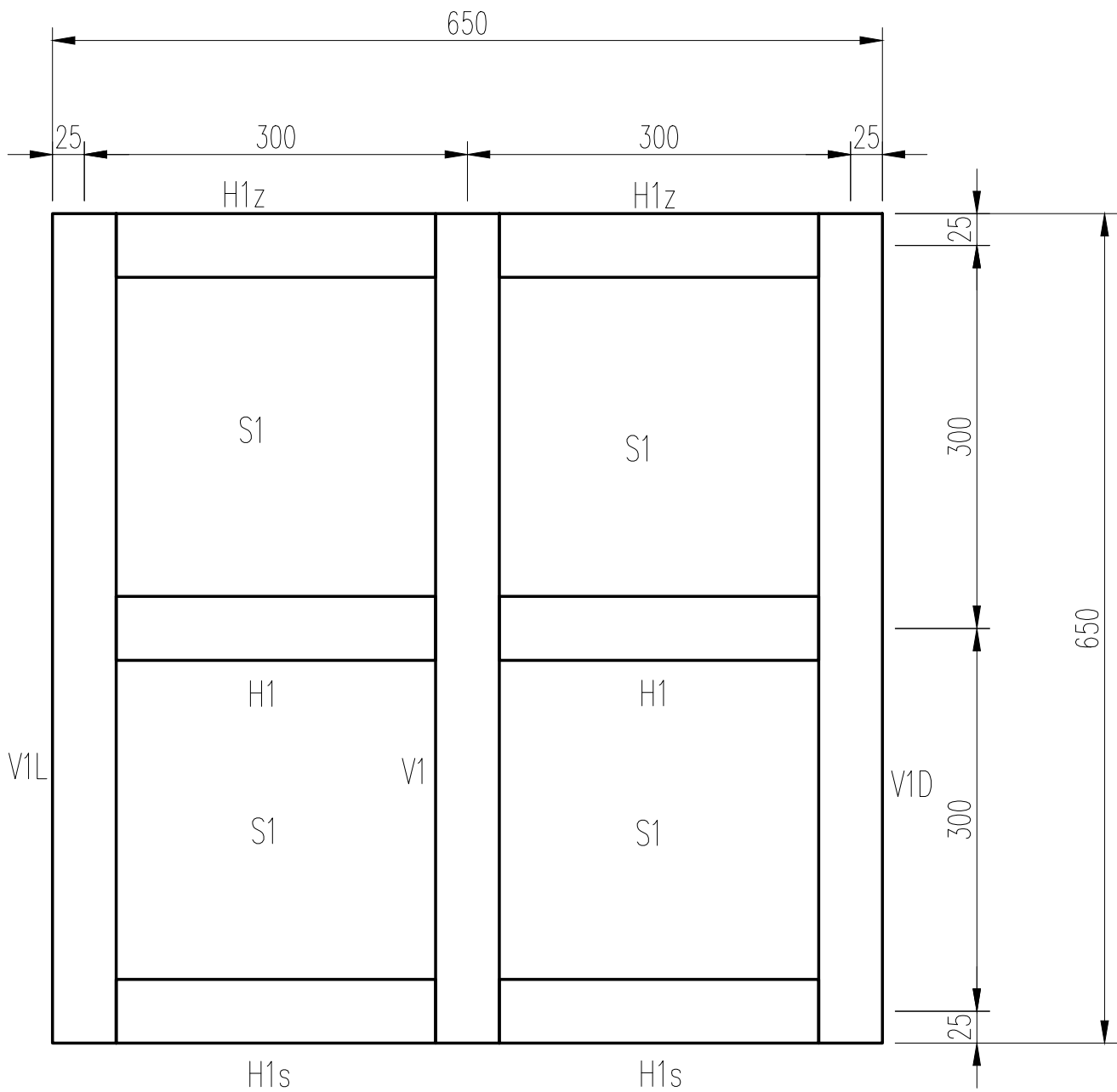
Tek. Št.	Kos	Tip stekla	Sestava stekla	Debelina st.	Širina/Mera	Višina/Kot
46	4	28mm (4/20/4)	4/20/4	28	276,0	x 276,0

Die vom Programm ermittelten Angaben auf dieser Ausgabeliste sind auf Richtigkeit zu überprüfen!

Bitte beachten Sie die zugehörigen Hinweis- oder Fehlerlisten.

A.2 DELAVNIŠKI NAČRTI PREIZKUŠANCA

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

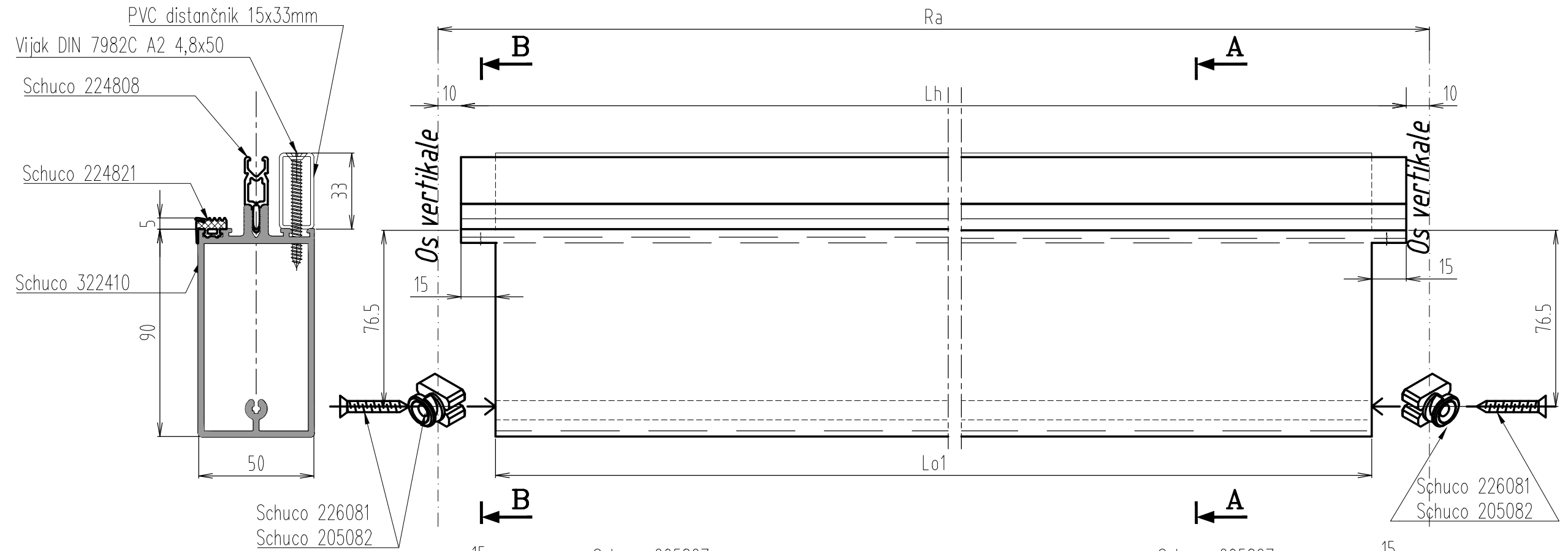


Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

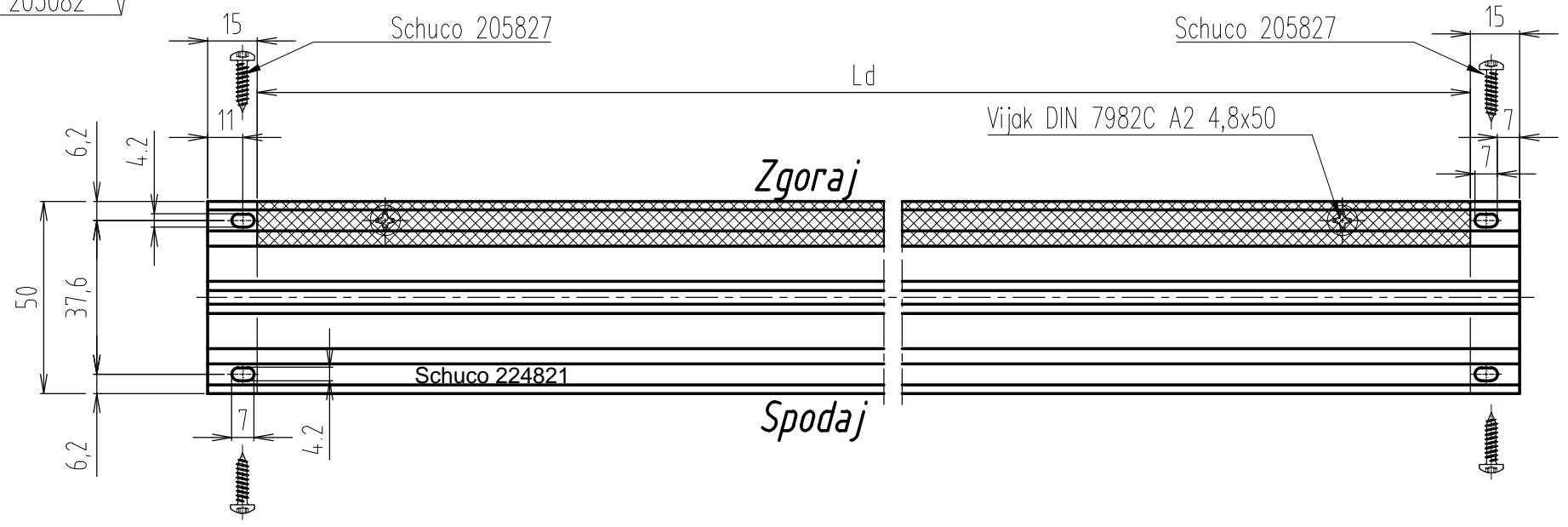
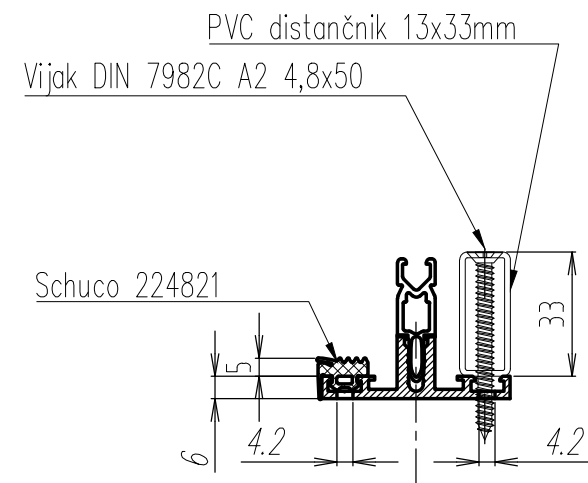
Št.projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Risai/Gezeichnet/Drawn:
Specifikacija/Spzifikation:		Vzorec Diploma		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Rok Stričič
Pozicija/Position: Mont.schema		REFLEX		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Merilo/Massstab/Scale: 1:5
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:				Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Datum/Date: 27.12.2015

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

PREREZ A-A



PREREZ B-B



Izdelava:

barvano RAL 8011

POZ	kom.	Ra (raster)	Lh	Lo	Ldis
H1z	2	300	280	250	250

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Projekat/Projekt No.:	Projekat/Projekt No.:	Projekat/Projekt No.:
Specifikacija/Specification:	Specifikacija/Specification:	Specifikacija/Specification:
S. matric/Part No./Dwg. No.:	S. matric/Part No./Dwg. No.:	S. matric/Part No./Dwg. No.:

Vzorec/Diploma

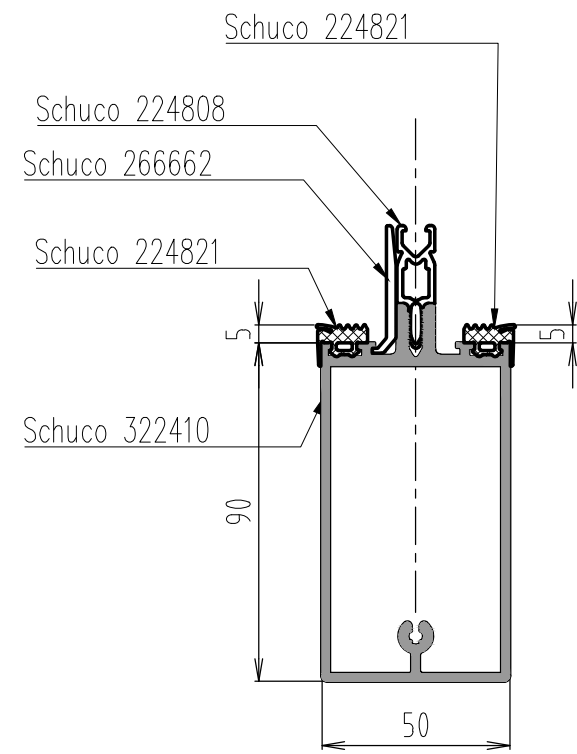
REFLEX

Rok Skizic/Announcement Date: 15.12.2015

Mastaba/Scale: 1:2

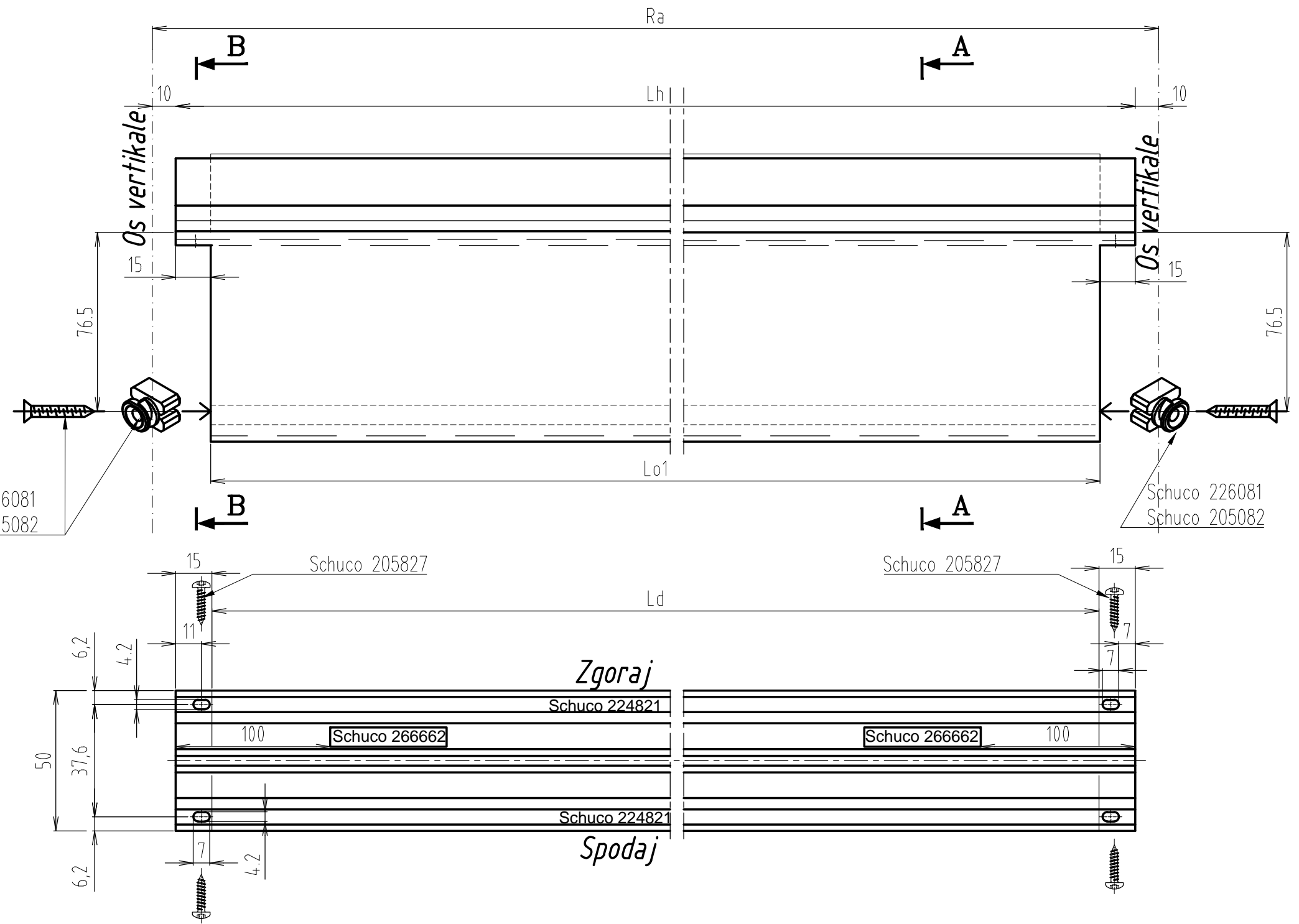
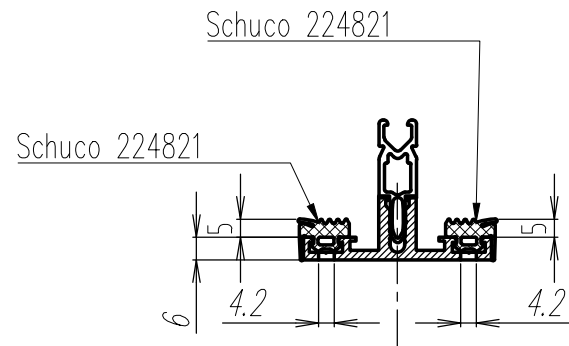
This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

PREREZ A-A



Schuco 226081
Schuco 205082

PREREZ B-B



Izdelava:

barvano RAL 8011

POZ	kom.	Ra (raster)	Lh	Lo
H1	2	300	280	250

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

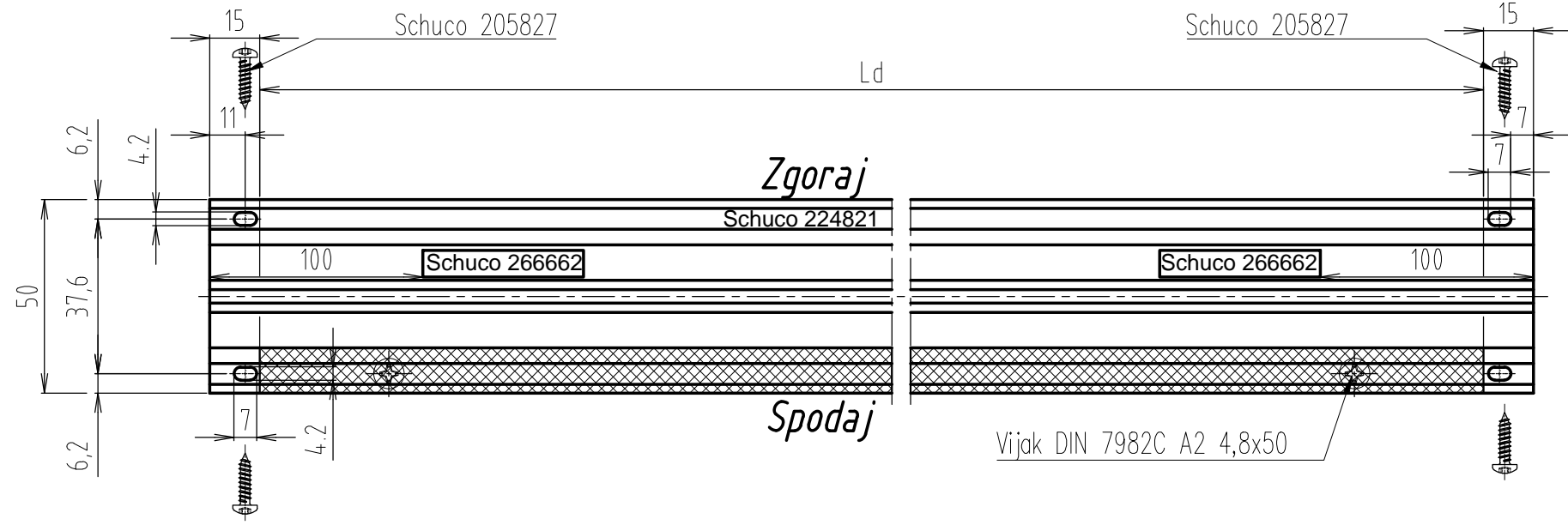
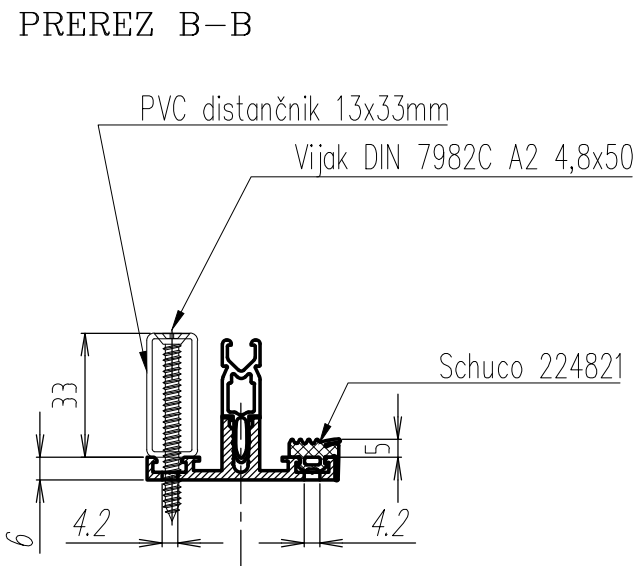
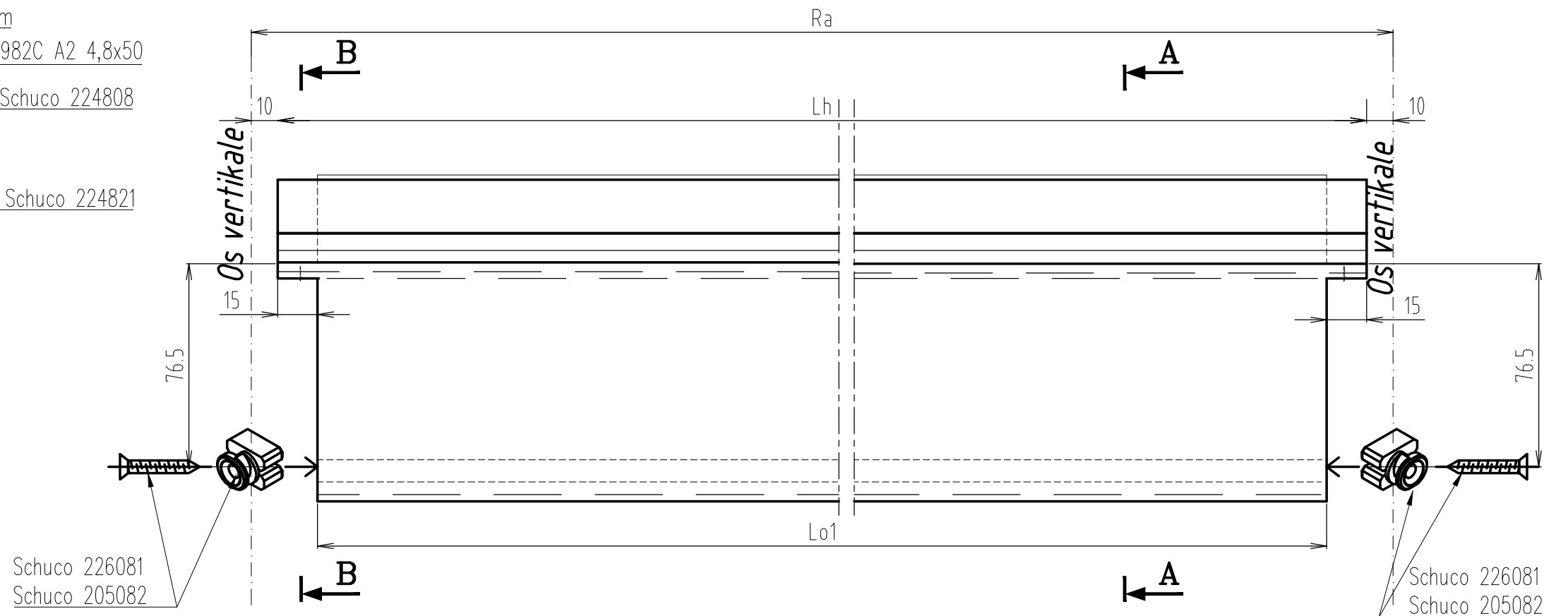
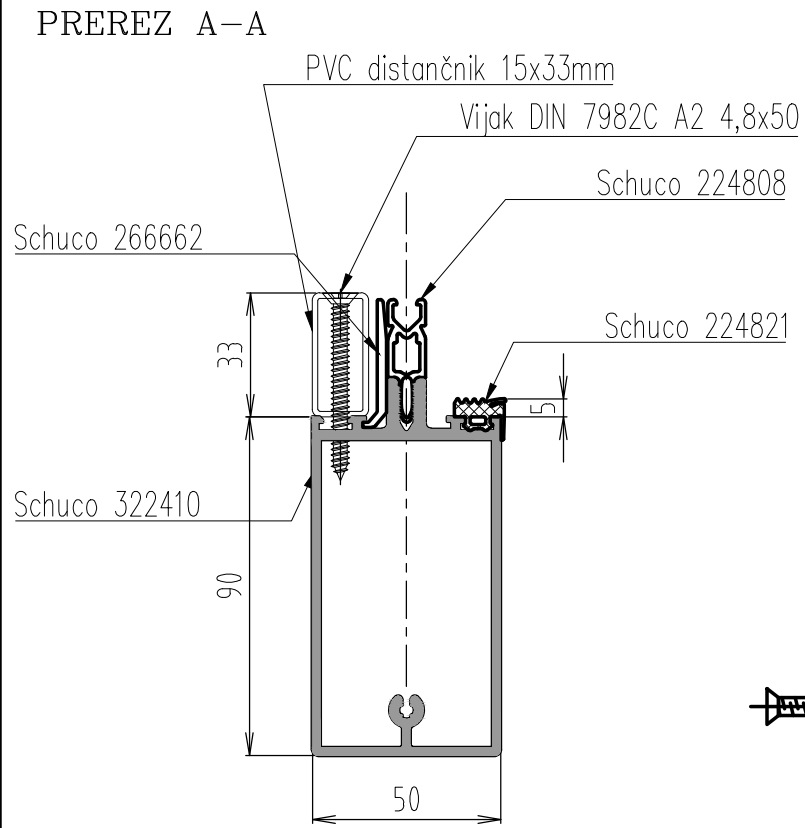
Projekat/Dizajn: Rok Strizic
Datum/Dat: 15.12.2015

Projekat/Dizajn: Rok Strizic
Datum/Dat: 15.12.2015

Vzorec Diploma
REFLEX

Projekat/Dizajn: Rok Strizic
Datum/Dat: 15.12.2015

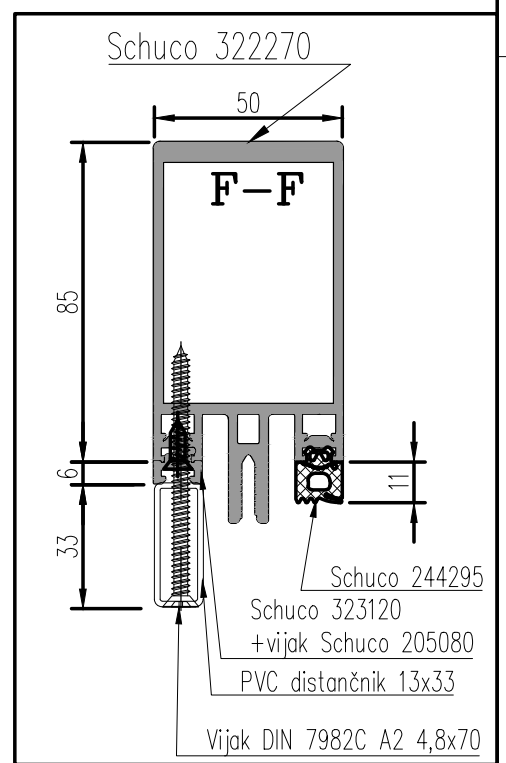
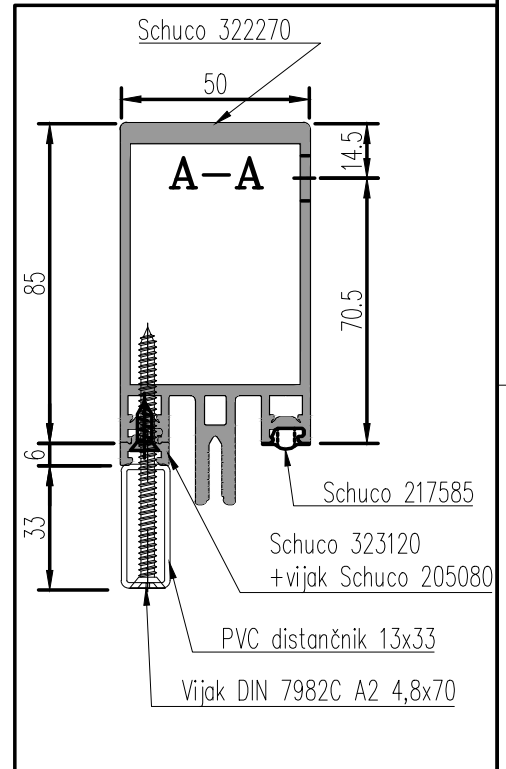
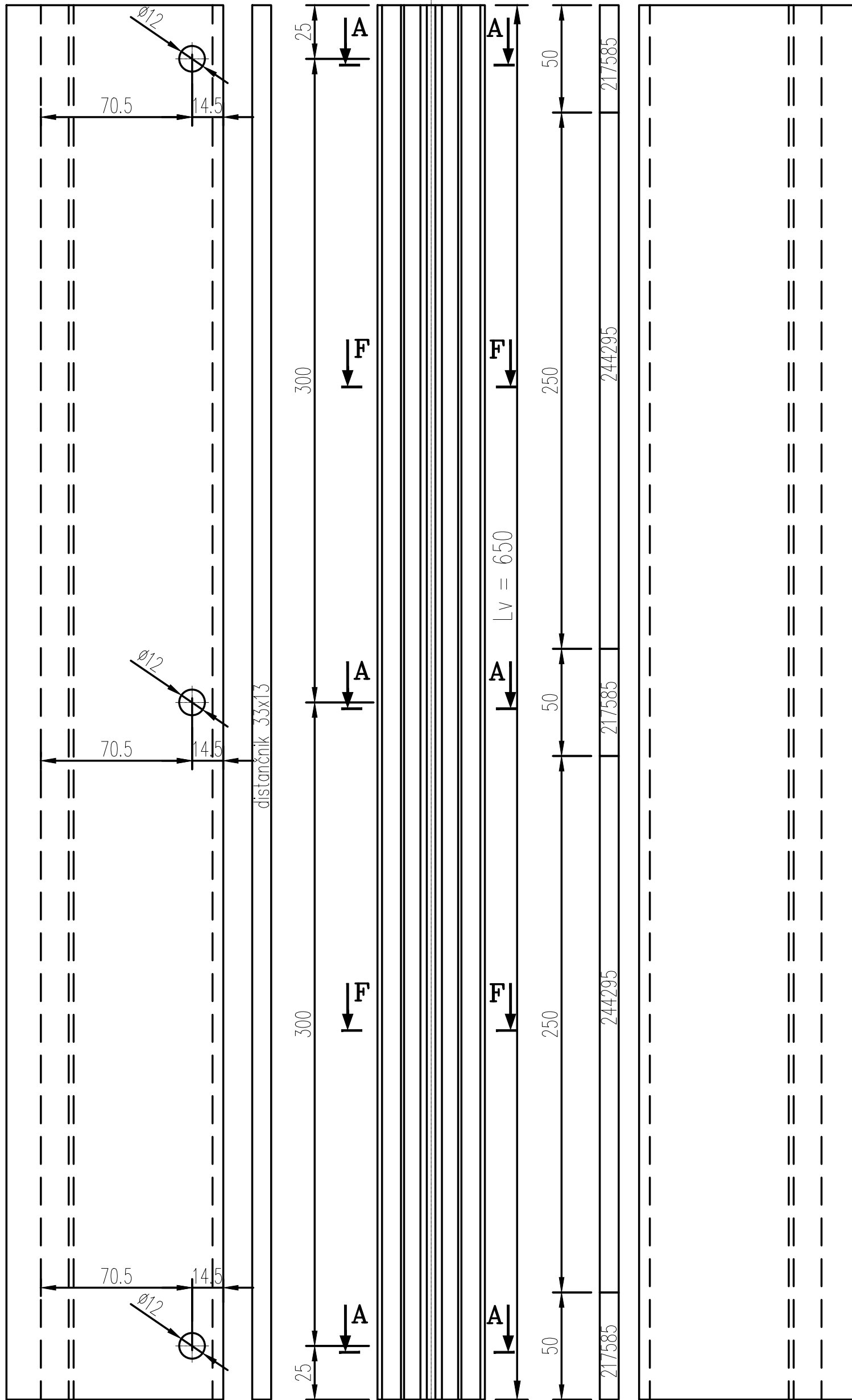
This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



Izdelava:

barvano RAL 8011

POZ	kom.	Ra (raster)	Lh	Lo	Ldis
H1s	2	300	280	250	250

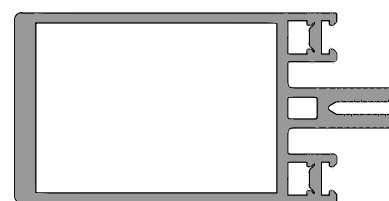
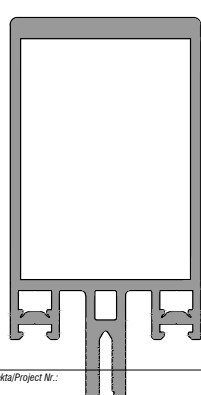
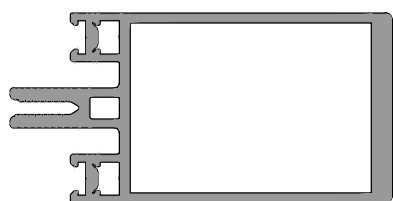
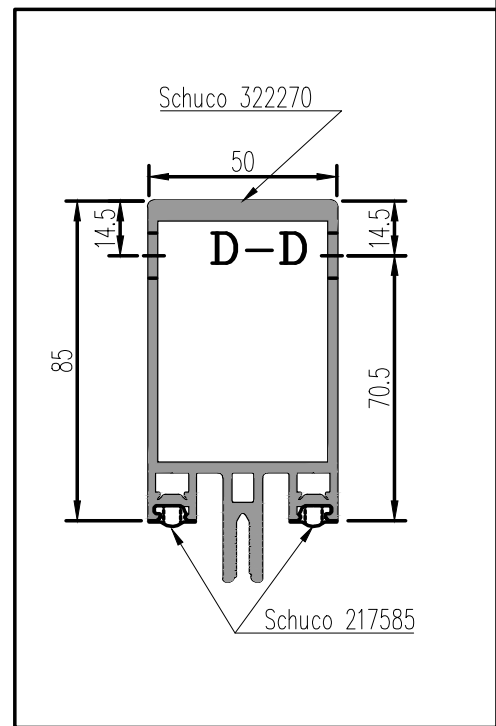
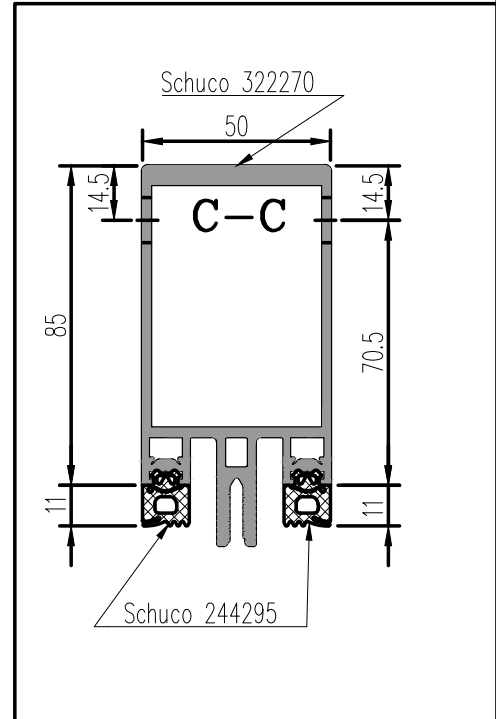
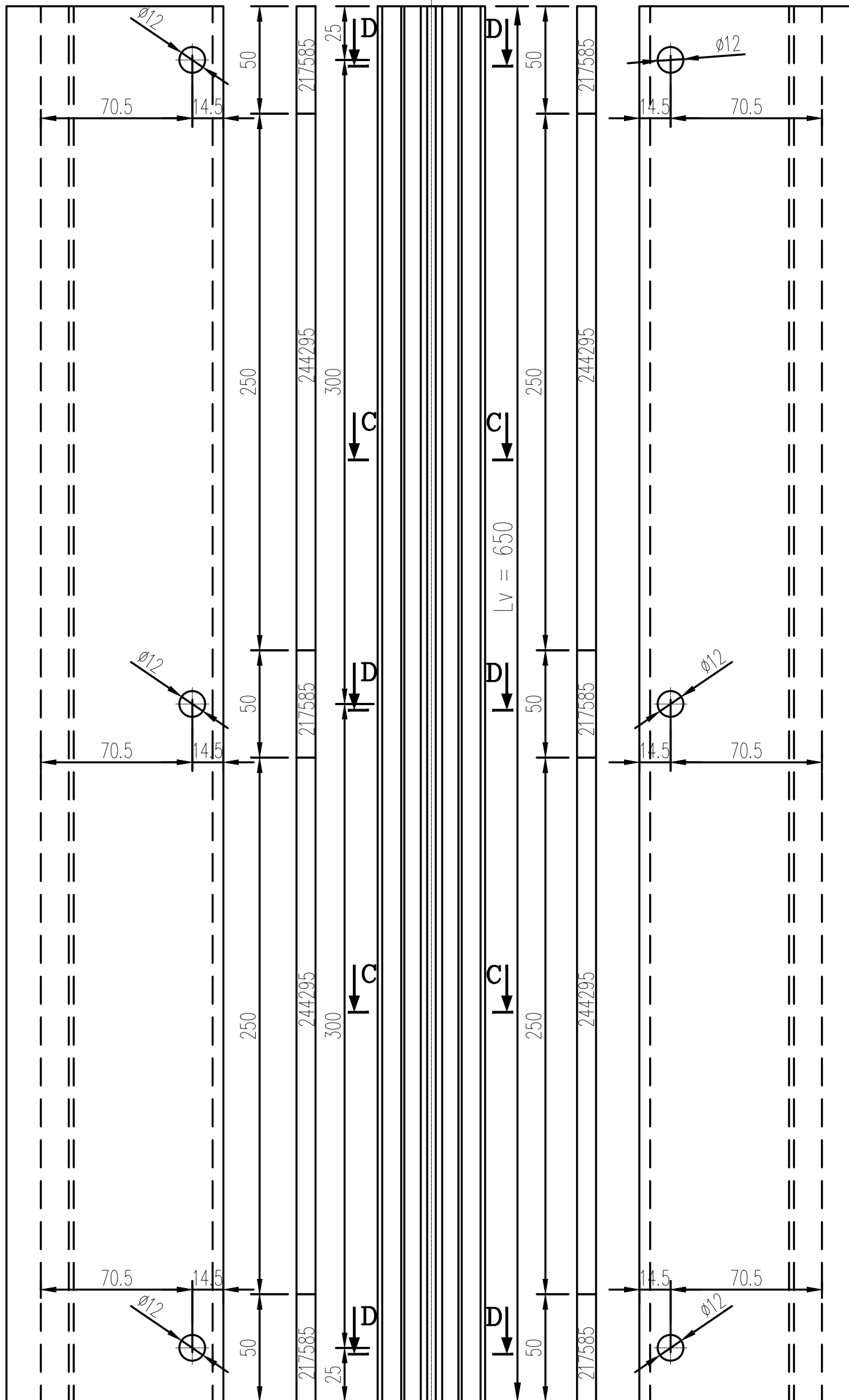


barvano RAL 8011

Vertikalna: V1L
Izdelati: 1kos

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project No.:		Projekt/Project:		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Risatelj/Gezeichnet/Drawn:	
Specifikacija/Specification:		Vzorec Diploma		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Rok Stričič	
Št. risbe/Plan No./Dwg No.:		Ver V1L		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Merilo/Massstab/Scale:	
		REFLEX		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Datum/Date:	
								05.12.2015	



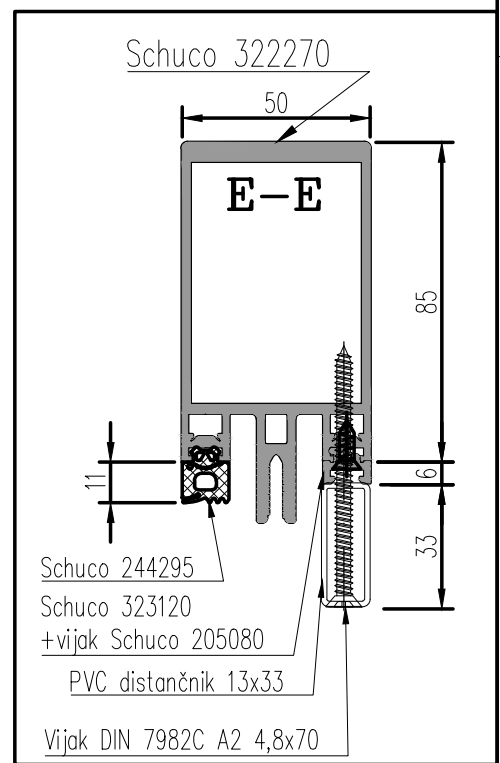
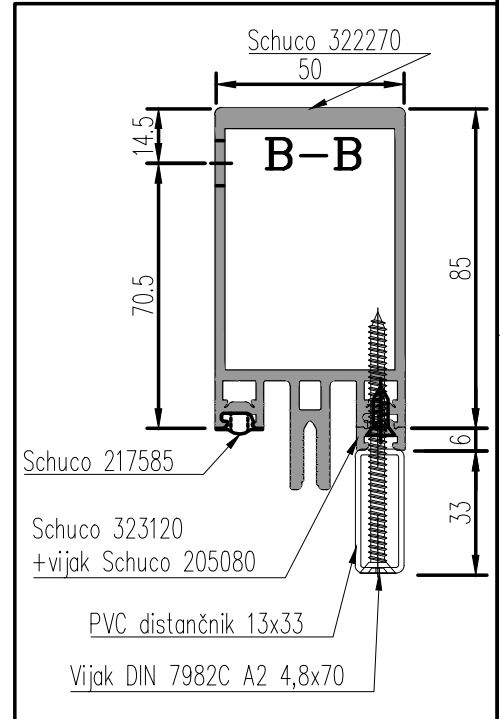
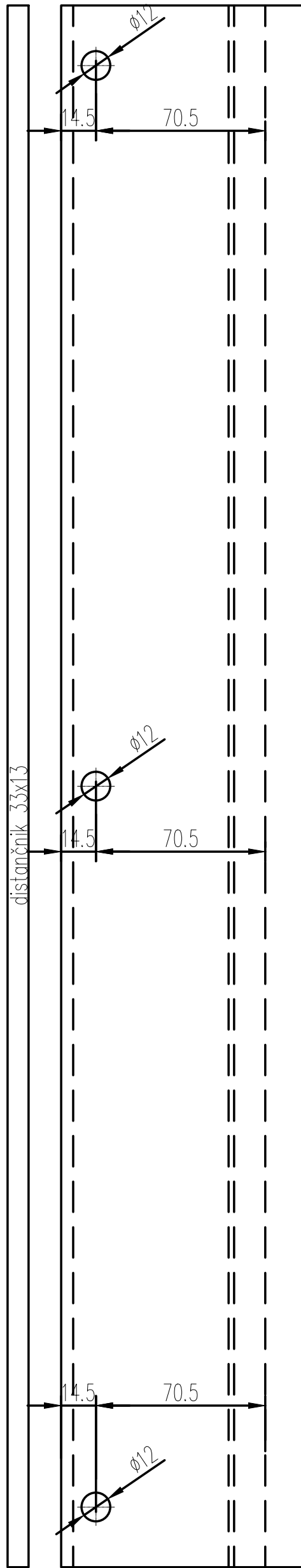
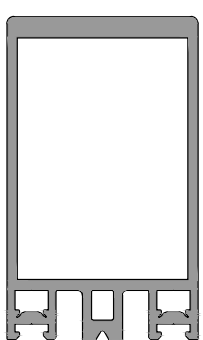
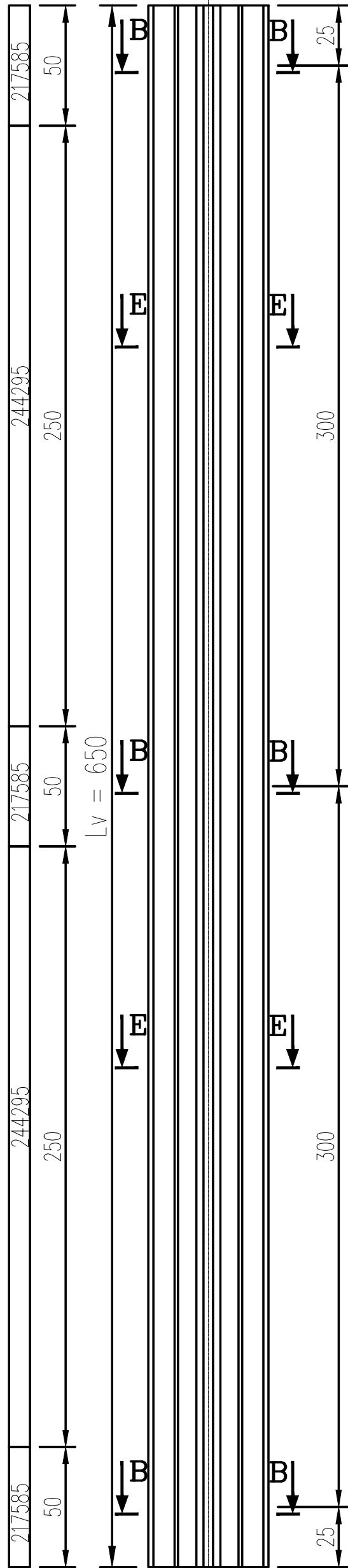
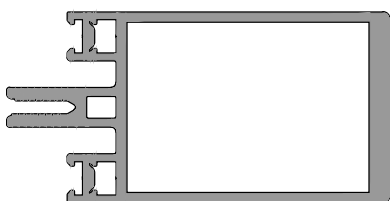
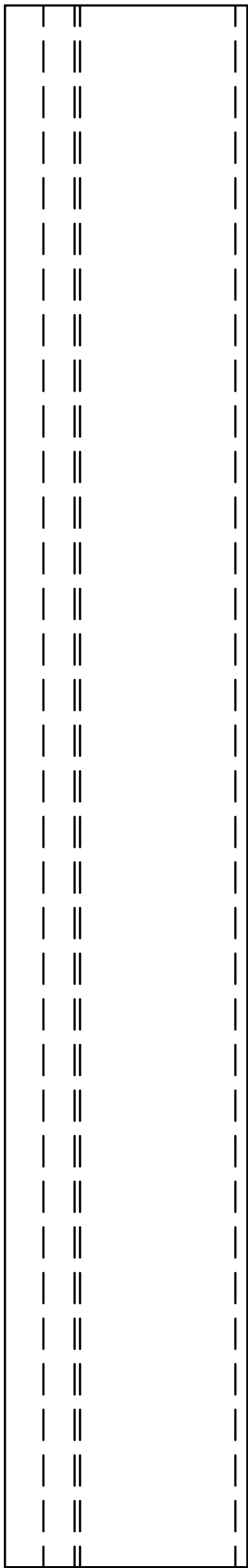
barvano RAL 8011

Vertikalna: V1
Izdelati: 1kos

Tolerance/Toleranz: SIST ISO 2768-m

Sj. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Ris. /Gezeichnet/Drawn:	
Specifikacija/Specification:		Vzorec Diploma		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Rok Strizic	
Sj. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Ver V1		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Merilo/Masstab/Scale:	
		REFLEX		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Datum/Date:	
								05.12.2015	

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



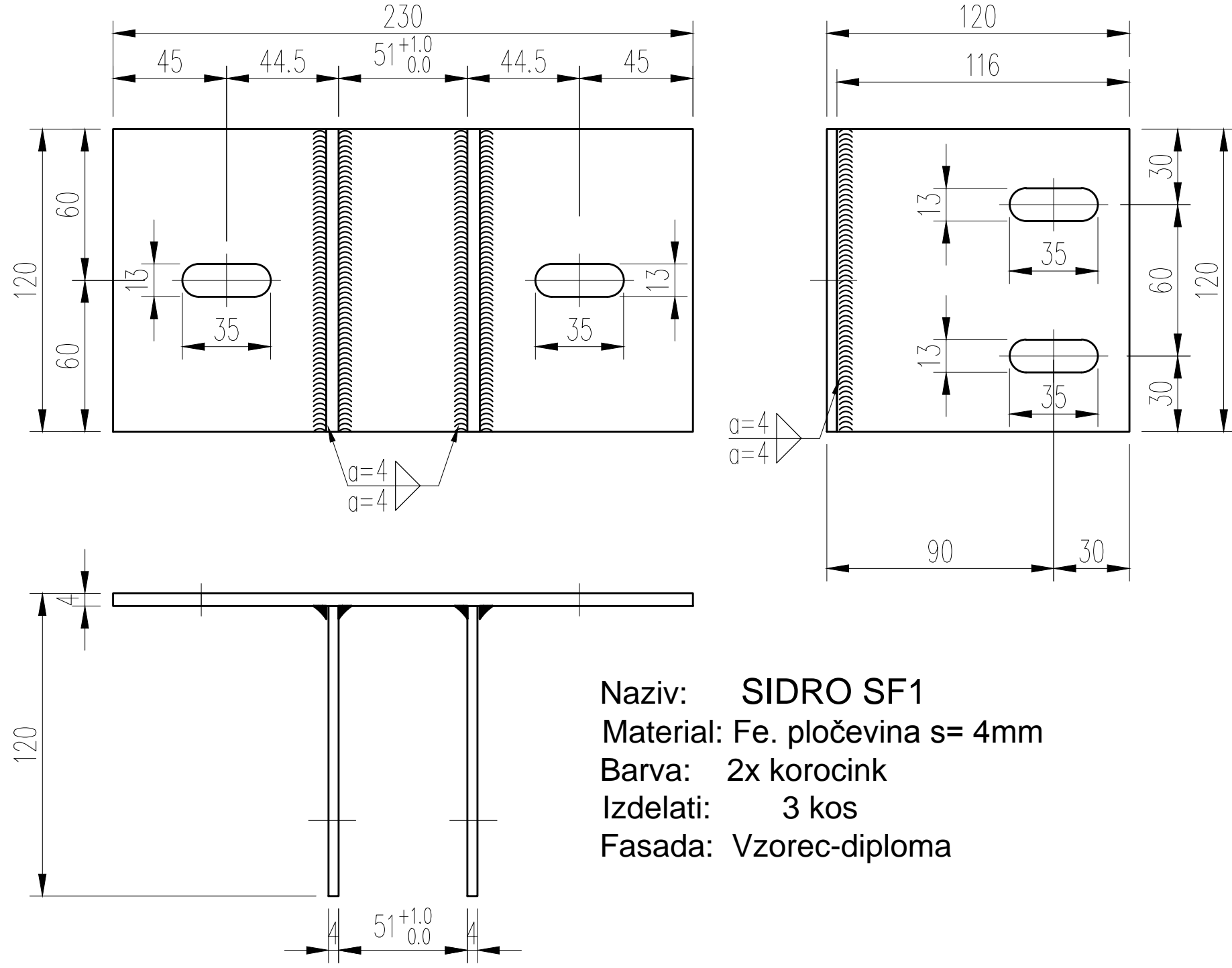
barvano RAL 8011

Vertikalna: V1D
Izdelati: 1kos

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Sj.projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Risav/Geszeichnet/Drawn:	
Specifikacija/Specification:		Vzorec Diploma		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Rok Stričič	
Sj. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Ver V1D		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Merilo/Massstab/Scale:	
		REFLEX		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Datum/Date:	
								05.12.2015	

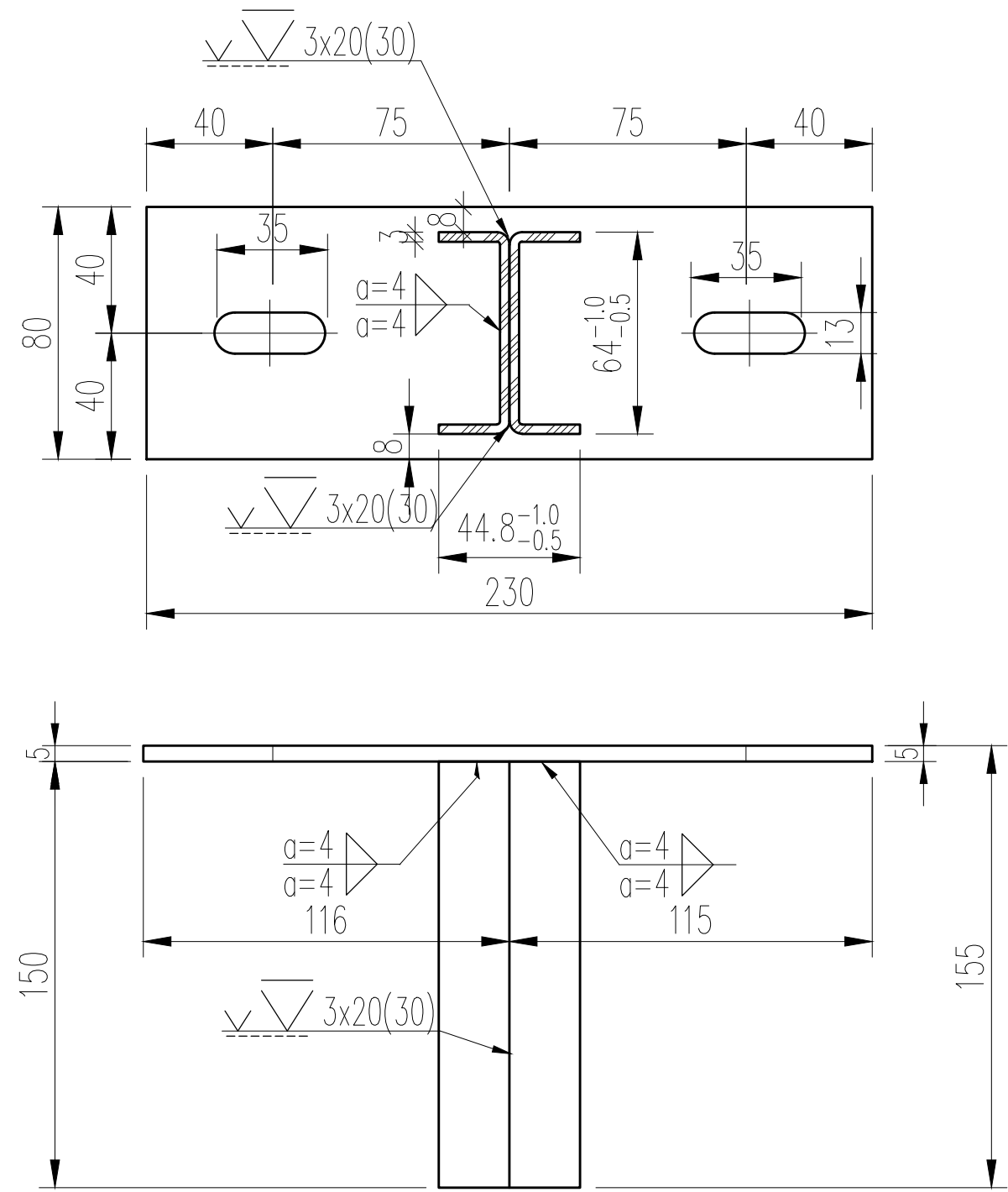
This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



Naziv: SIDRO SF1
Material: Fe. pločevina s= 4mm
Barva: 2x korocink
Izdelati: 3 kos
Fasada: Vzorec-diploma

S. projekta/Project No.:		S. projekta/Project No.:		S. projekta/Project No.:		S. projekta/Project No.:		S. projekta/Project No.:	
Specifikacija/Specification:		Specifikacija/Specification:		Specifikacija/Specification:		Specifikacija/Specification:		Specifikacija/Specification:	
S. izdaja/Rev. No.:		S. izdaja/Rev. No.:		S. izdaja/Rev. No.:		S. izdaja/Rev. No.:		S. izdaja/Rev. No.:	
Naziv/Title:		Naziv/Title:		Naziv/Title:		Naziv/Title:		Naziv/Title:	
Vzorec Diploma		Vzorec Diploma		Vzorec Diploma		Vzorec Diploma		Vzorec Diploma	
REFLEX		REFLEX		REFLEX		REFLEX		REFLEX	
Tolerance/Tolerantiz: SIST ISO 2768-m		Tolerance/Tolerantiz: SIST ISO 2768-m		Tolerance/Tolerantiz: SIST ISO 2768-m		Tolerance/Tolerantiz: SIST ISO 2768-m		Tolerance/Tolerantiz: SIST ISO 2768-m	
Rok Skizic/Lead time for drawings:		Rok Skizic/Lead time for drawings:		Rok Skizic/Lead time for drawings:		Rok Skizic/Lead time for drawings:		Rok Skizic/Lead time for drawings:	
Merni/Scale:		Merni/Scale:		Merni/Scale:		Merni/Scale:		Merni/Scale:	
Datum/Dat:		Datum/Dat:		Datum/Dat:		Datum/Dat:		Datum/Dat:	
1:2		1:2		1:2		1:2		1:2	
18.12.2015		18.12.2015		18.12.2015		18.12.2015		18.12.2015	

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



Naziv: SIDRO N1
 Material: Fe. pločevina s= 5mm, 3mm
 Barva: 2x korocink
 Izdelati: 6 kos
 Fasada: Vzorec-diploma

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

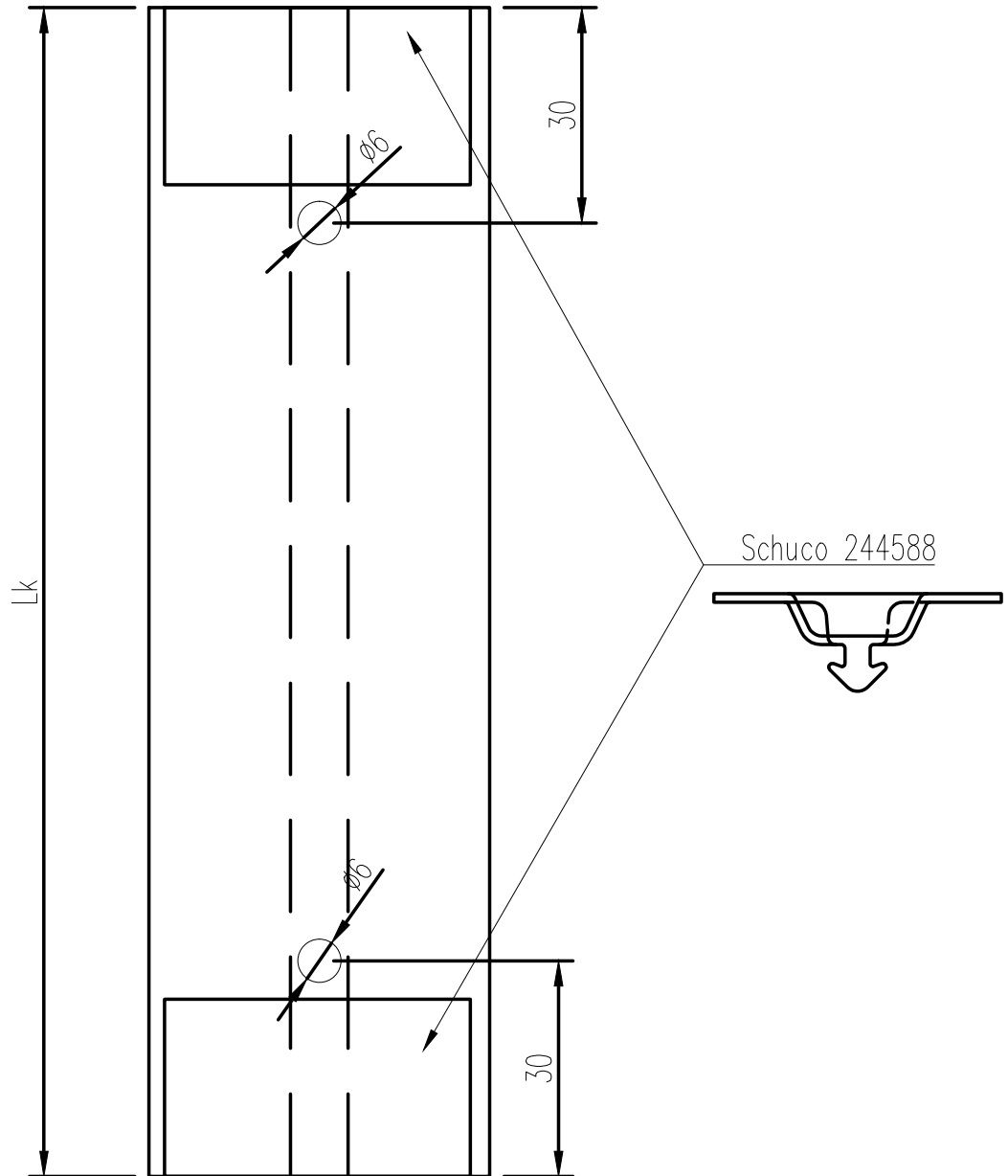
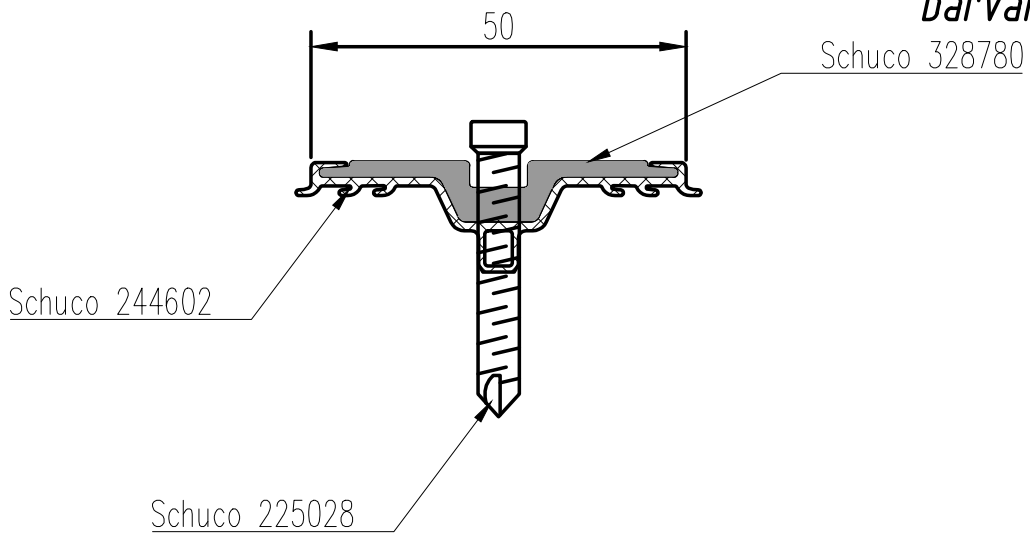
S. projekta/Projekt Nr.:		Sprememba/Änderung/Change:	
S. naročnika/Spezifikation:		Sprememba/Änderung/Change:	
S. izdelave/Nr./Dwg. No.:		Sprememba/Änderung/Change:	
Naziv/Projekt: Vzorec Diploma		Datum/Date:	
S. izdelave/Nr./Dwg. No.:		Datum/Date:	
S. naročnika/Spezifikation:		Datum/Date:	
S. projekta/Projekt Nr.:		Datum/Date:	



18.12.2015

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

barvano RAL 9005

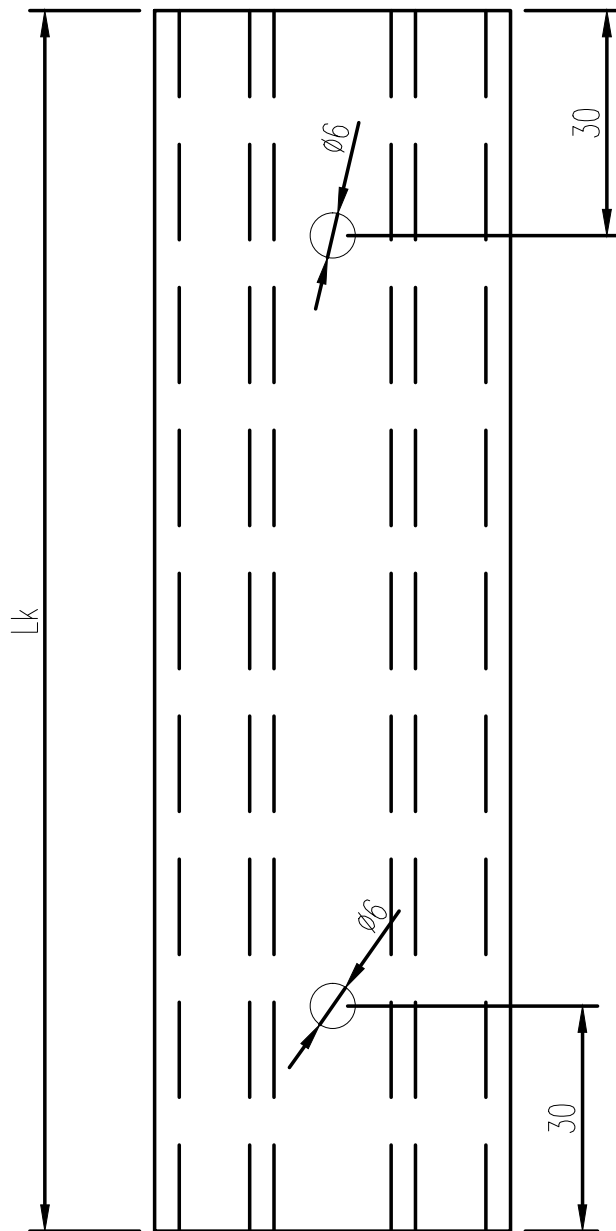
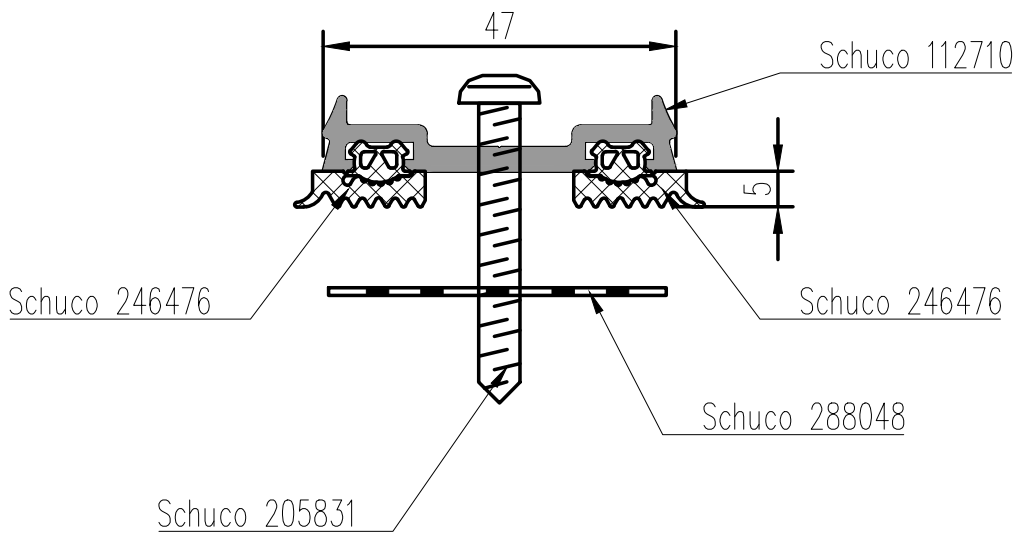


POZ	kom.	Ra (raster)	Lk
H1z	2	300	249
H1	2	300	249
SKUPAJ	4		

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Risal/Gezeichnet/Drawn:	
Specifikacija/Spzifikation:		Vzorec Diploma		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Rok Strižič	
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Pokr. profil		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Merilo/Massstab/Scale:	
		REFLEX		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Datum/Date:	
								1:1	
								25.11.2015	

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



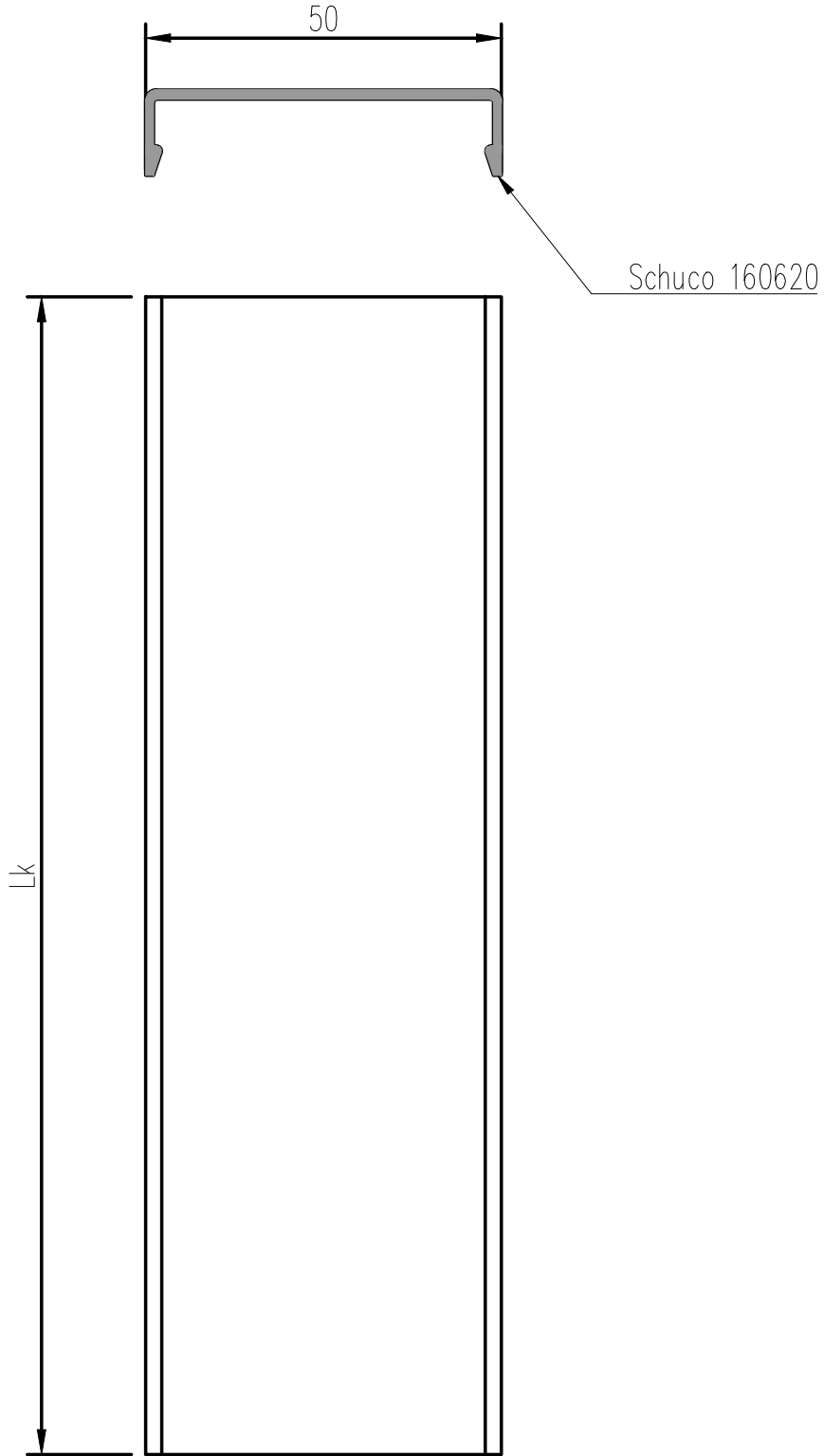
POZ	kom.	Ra (raster)	Lk
H1s	2	300	249
SKUPAJ	2		

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Risai/Gezeichnet/Drawn:	
Specifikacija/Spzifikation:		Vzorec Diploma		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Rok Stričič	
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Pozicija/Position: Prit. profil hor.		Index: Sprememba/Aenderung/Change:		Datum/Date:		Merilo/Massstab/Scale: 1:1	
				Datum/Date:		Datum/Date:		25.11.2015	

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

barvano RAL 8011

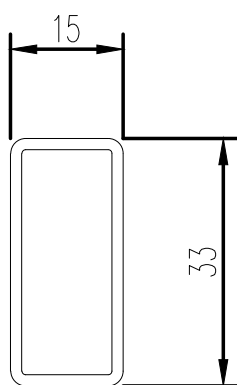


POZ	kom.	Ra (raster)	Lk
H1s	2	300	249
SKUPAJ	2		

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Risal/Gezeichnet/Drawn:
Specifikacija/Spezifikation:		Vzorec Diploma		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Rok Stričič
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Pokr. profil 2		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Merilo/Masstab/Scale:
		REFLEX		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	1:1
						Datum/Date:	
						25.11.2015	

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



Material: PVC distančnik

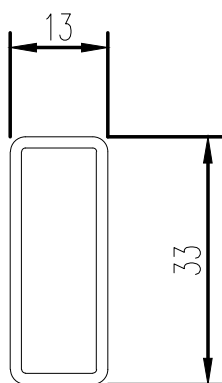
Barva: surovo

Izdelati: 4 kos - L= 250 mm - za horizontale H1z in H1s

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Risail/Gezeichnet/Drawn:
Specifikacija/Spezifikation:		Vzorec Diploma		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Rok Stričič
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Distančnik hor.		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Merilo/Massstab/Scale: 1:1
		 REFLEX		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Datum/Date: 05.12.2015

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

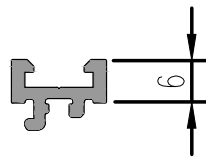


Material: PVC distančnik
Barva: surovo
Izdelati: 2 kos - L= 650 mm - za vertikali V1L in V1D

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Risai/Gezeichnet/Drawn:
Specifikacija/Specification:		Vzorec Diploma		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Rok Stržič
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Distančnik ver.		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Merilo/Massstab/Scale: 1:1
		 REFLEX		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Datum/Date: 05.12.2015

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



Material: adapter profil Schüco 323120

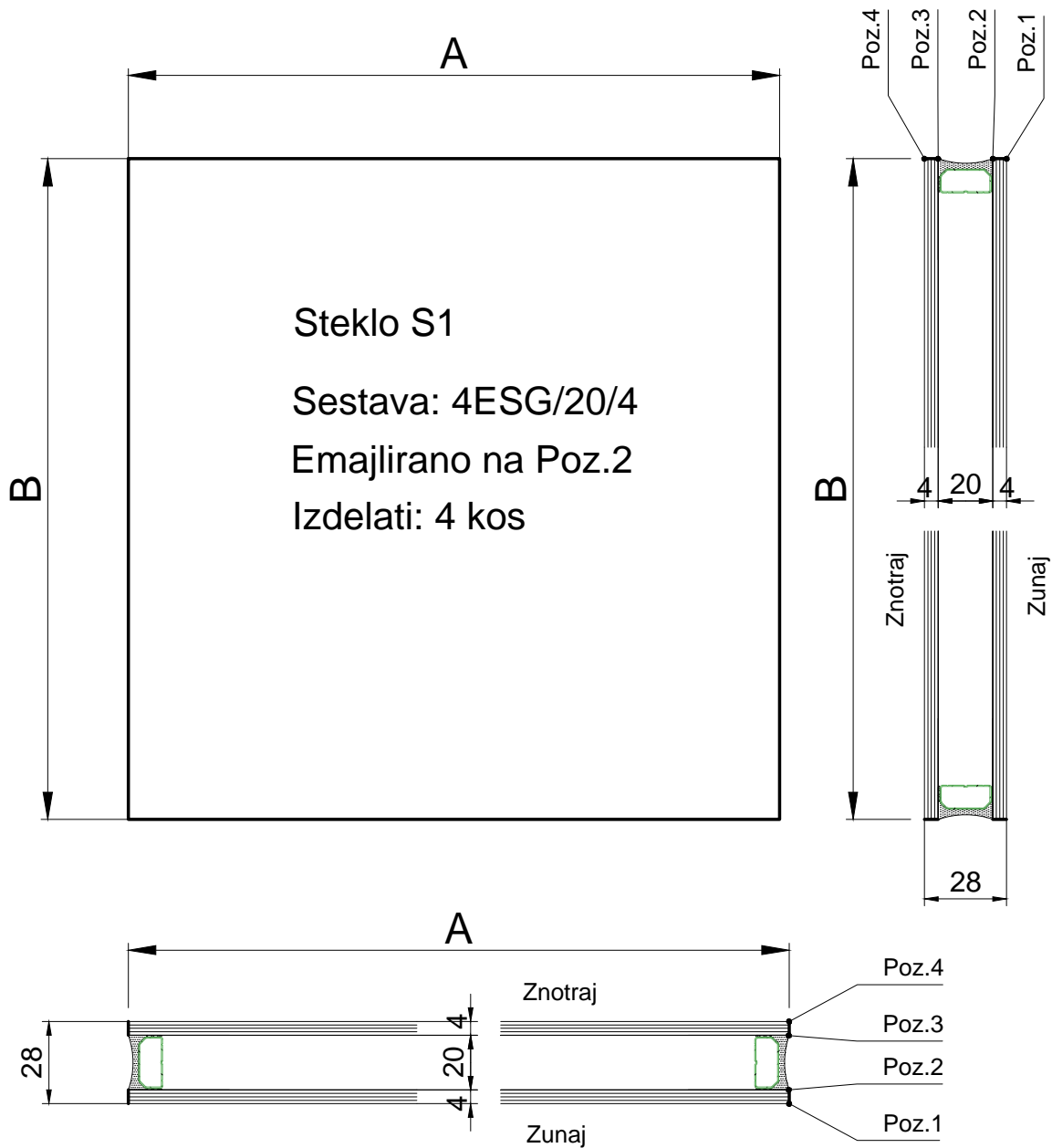
Barva: surovo

Izdelati: 2 kos - L= 650 mm - za vertikalni V1L in V1D

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Risai/Gezeichnet/Drawn:
Specifikacija/Spezifikation:		Vzorec Diploma		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Rok Stržič
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		Distančnik ver.		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Merilo/Massstab/Scale:
		REFLEX		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	1:1
							Datum/Date:
							05.12.2015

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.

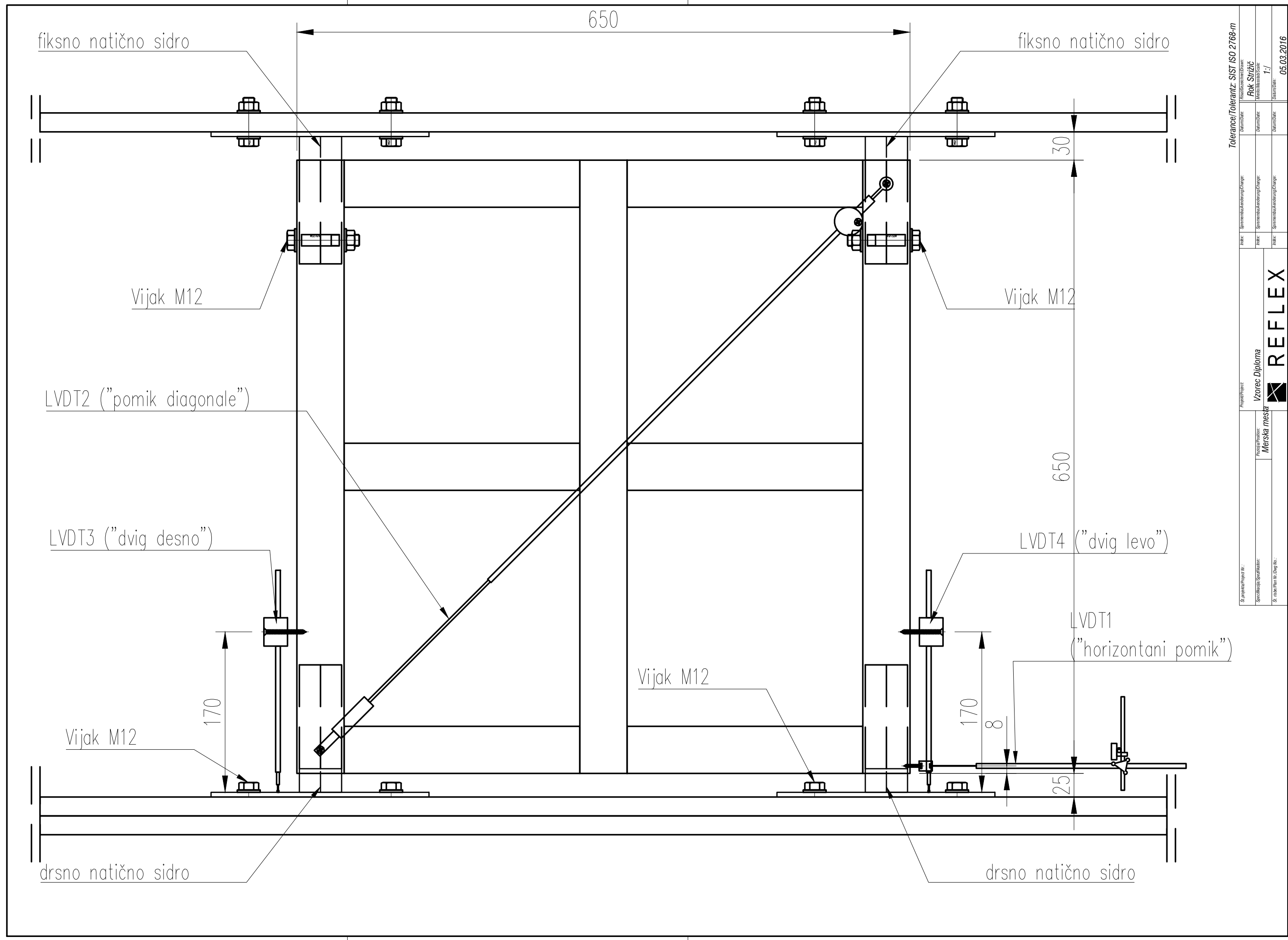


POZ	kom.	Ra (raster)	A	Rb (raster)	B
S1	4	300	276	300	276
SKUPAJ	4				

Tolerance/Tolerantz: SIST ISO 2768-m

Št. projekta/Project Nr.:		Projekt/Project:		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Risai/Gezeichnet/Drawn:
Specifikacija/Specification:		Vzorec Diploma		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Rok Stričič
Št. risbe/Plan Nr./Dwg No.:		REFLEX		Index:	Sprememba/Aenderung/Change:	Datum/Date:	Merilo/Massstab/Scale:
							1:2
							Datum/Date:
							28.12.2015

This drawing is our property. Each duplication, utilization or passing on to third persons is forbidden and will be pursued.



Tolerance/Tolerant: SIST ISO 2768-m

Projekat/Project No.:	Specifikacija/Specification:	Ime/Name:	Datum/Date:
S. projekat/Project No.:	Specifikacija/Specification:	Ime/Name:	Datum/Date:
Specifikacija/Specification:	Ime/Name:	Datum/Date:	Datum/Date:
S. izdanje/Issue No.:	Ime/Name:	Datum/Date:	Datum/Date:

Projekat/Project: Vzorec Diploma
Merska mesra
REFLEX
Rok Srizič
Mentor/Supervisor: T./
Datum/Date: 05.03.2016