

# Ispitivanje i analiza pojave toplinskog šoka u staklu

---

**Posavi, Martina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:283567>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-21**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Martina Posavi**

**Ispitivanje i analiza pojave toplinskog šoka u staklu**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2022.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni studij  
Konstrukcije  
Računalno modeliranje**

**Martina Posavi  
JMBAG: 0114028219**

**Ispitivanje i analiza pojave toplinskog šoka u staklu**

**Diplomski rad**

**Rijeka, studeni 2022.**

## IZJAVA

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

*Martina Posavi*

Ime Prezime

U Rijeci, 7.11.2022.



Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta Unaprjeđenje modela stjecanja stručnih kompetencija učenjem uz rad kroz izradu diplomskog rada (GraDiS)

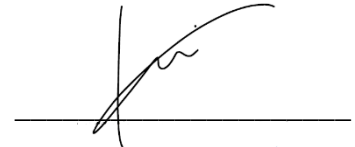
Voditeljica projekta – izv. prof. dr. sc. Silvija Mrakovčić

Šifra projekta – A3-21-6

Financijer projekta – Sveučilište u Rijeci – programska linija UNIRI CLASS A3

Pravna nadležnost – Sveučilište u Rijeci

U Rijeci, 7.11.2022.

A handwritten signature in black ink, consisting of a vertical line on the left, a diagonal stroke crossing it, and a curved line extending to the right. The signature is positioned above a horizontal line.

Mentor

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Ivici Kožaru, dipl. ing. građ. i suradnicima iz tvrtke KFK d.o.o. na savjetima, strpljivosti, prenesenom znanju i pruženoj pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Veliku zahvalnost iskazujem svojoj obitelji, dečku i prijateljima koji su mi pokazali strpljenje, pružili potporu u svakom trenutku i bodrili me sve do završetka studija.

## SAŽETAK

U ovom radu prezentirat će se pojava toplinskog šoka u staklu. Provest će se ispitivanje na fasadnom elementu, takozvanom *shadow box*. Na elementu podvrgnutom sunčevom zračenju i uvjetima statičkog zasjenjenja mjerit će se temperatura u nekoliko točaka i analizirat će se dozvoljena vlačna naprezanja u staklu preko vrijednosti temperaturnih razlika. Osim ispitivanja, za isti element provest će se proračuni toplinskih utjecaja, svedeni na uvjete stacionarnog stanja. Za to će se koristiti dva računalna programa, *Vitrages Decision* i *Bisco*. Zaključno, rezultati će se analizirati obzirom na dopuštene vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika u staklu radi sprječavanja pojave loma. Također, provest će se usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti u svrhu provjere podudarnosti rezultata i prihvatljivosti uporabe pojedinog računalnog programa za analizu ovakvog specifičnog elementa.

Ključne riječi: staklo, toplinski šok, vlačna naprezanja, maksimalna temperaturna razlika, prijenos topline, sunčevo zračenje, stacionarno stanje.

## **ABSTRACT**

The occurrence of thermal shock on the glass will be presented in this paper. The examination will be conducted on the facade element - the shadow box. The temperature will be measured at several points and the permissible tensile stresses in the glass will be analyzed through the value of the temperature differences on an element subjected to solar radiation and static shading conditions. In addition to testing, calculations of thermal effects, reduced to steady-state conditions will be carried out for the same element. Two computer programs - *Vitrages Decision* and *Bisco*, will be used for this. In conclusion, the results will be analyzed regarding the permissible values of the maximum temperature differences in the glass in order to prevent breakage. Apart from that, a comparison of measured and calculated values will be carried out to verify the consistency of the results and the acceptability of using a particular computer program for the analysis of this specific element.

**Key words:** glass, thermal shock, tensile stresses, maximum temperature difference, heat transfer, solar radiation, steady state.

**SADRŽAJ**

1. UVOD.....	1
2. STAKLO .....	2
2.1. Proizvodnja <i>float</i> stakla .....	3
2.2. Laminirano staklo .....	5
2.3. Izolacijsko staklo .....	6
3. PRIJENOS TOPLINE .....	7
3.1. Kondukcija.....	8
3.1.1. Toplinska vodljivost .....	9
3.2. Konvekcija .....	10
3.3. Zračenje .....	11
4. TOPLINSKI ŠOK .....	14
4.1. Pukotine uzrokovane toplinskim šokom.....	17
5. OPIS ISPITNOG UZORKA.....	18
6. ISPITIVANJE UZORKA .....	25
6.1. Upadno sunčevo zračenje .....	26
6.2. Položaj mjernih uređaja .....	31
6.3. Tijek ispitivanja .....	34
6.4. Rezultati .....	36
7. PRORAČUN U PROGRAMU <i>VITRAGES DECISION</i> .....	40
7.1. Provođenje proračuna .....	40
7.2. Rezultati .....	44
8. PRORAČUN U PROGRAMU <i>BISCO</i> .....	45
8.1. Provođenje proračuna .....	45
8.2. Rezultati .....	50
9. ANALIZA REZULTATA.....	53
9.1. Usporedba ispitivanja i proračuna .....	53

9.1.1.	Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti maksimalnih temperatura.	53
9.1.2.	Usporedba izmjerenih podataka i rezultata iz programa Bisco .....	54
9.2.	Analiza toplinskog šoka.....	55
10.	ZAKLJUČAK.....	58
11.	LITERATURA .....	60
12.	PRILOZI.....	62

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Fizikalne karakteristike <i>float</i> stakla [5] .....	4
Tablica 2. Godišnje upadno sunčevo zračenje ovisno o orijentacija [14] .....	27
Tablica 3. Oznake i opis položaja sonde po vertikali.....	32
Tablica 4. Maksimalne temperature u mjernim točkama na laminiranom staklu .....	37
Tablica 5. Maksimalne temperature u mjernim točkama na monolitnom staklu .....	38
Tablica 6. Maksimalne temperature u mjernim točkama na aluminijskom limu .....	39
Tablica 7. Maksimalna temperaturna razlika na staklenim pločama.....	39
Tablica 8. Plošni otpori u ovisnosti brzine vjetra [24] .....	43
Tablica 9. Maksimalne temperature na pojedinim dijelovima elementa.....	44
Tablica 10. Maksimalna temperaturna razlika na staklenim pločama.....	44
Tablica 11. Temperature u točkama provjere na laminiranom staklu .....	51
Tablica 12. Temperature u točkama provjere na monolitnom staklu .....	51
Tablica 13. Temperature u točkama provjere na aluminijskom limu.....	51
Tablica 14. Minimalne i maksimalne temperature pojedinih dijelova elementa.....	51
Tablica 15. Maksimalna temperaturna razlika na staklenim pločama.....	52
Tablica 16. Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti maksimalnih temperatura....	53
Tablica 17. Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti temperatura u točkama provjere .....	54
Tablica 18. Maksimalne temperaturne razlike .....	56
Tablica 19. Dopuštena temperaturna razlika na staklu bez dodatne toplinske obrade [26] .....	56

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Prikaz proizvodnje stakla <i>float</i> postupkom [5] .....	3
Slika 2. <i>Float</i> staklo [6] .....	4
Slika 3. Laminirano staklo [8] .....	5
Slika 4. Prikaza izolacijskih stakla [10] .....	6
Slika 5. Primjer učinka kondukcije [14].....	8
Slika 6. Vrijednosti toplinske vodljivosti pojedinih plinova u funkciji temperature [15].....	9
Slika 7. Ilustrativni prikaz prijenosa topline konvekcijom [16] .....	10
Slika 8. Spektar elektromagnetskog zračenja [12] .....	11
Slika 9. Prikaz apsorpcije, refleksije i propusnosti [12] .....	12
Slika 10. Ponašanje površina u odnosu na toplinsko zračenje [12].....	13
Slika 11. Nastajanje toplinskog naprezanja [14][11].....	14
Slika 12. Toplinski uzrokovana pukotina [14] .....	17
Slika 13. Obrada ruba stakla [5] .....	18
Slika 14. <i>Super spacer</i> [19] .....	18
Slika 15. Prikaz izolacijskog stakla [19] .....	19
Slika 16. Aluminijski profili: a) vertikalni profil, b) horizontalni profil.....	19
Slika 17. Okvir od aluminijskih profila .....	20
Slika 18. Izolacijsko staklo unutar okvira .....	20
Slika 19. Primjer uporabe <i>shadow boxa</i> [20] .....	21
Slika 20. Pogled ispitnog elementa .....	22
Slika 21. Horizontalni presjek elementa.....	22
Slika 22. Vertikalni presjek elementa.....	23
Slika 23. Detalj ispitnog elementa .....	24
Slika 24. Ispitni element .....	24
Slika 25. Sezonska promjena položaja Sunca [22].....	26
Slika 26. Utjecaj lokacije na upadno sunčevo zračenje [14] .....	27
Slika 27. Utjecaj nagiba elementa na dodatno sunčevo zračenje [14].....	28
Slika 28. Ilustrativni prikaz refleksije tla [14].....	28
Slika 29. Refleksivnost različitih površina [14] .....	29
Slika 30. Utjecaj nadmorske visine na sunčevo zračenje [14] .....	30
Slika 31. Sonde pričvršćene na plohu stakla i lima .....	31
Slika 32. Sonde pričvršćene na rubove stakla .....	31



---

Slika 33. Položaj sonde u horizontalnom presjeku .....	32
Slika 34. Položaj sonde u vertikalnom presjeku .....	33
Slika 35. Mjerni uređaj zračenja.....	34
Slika 36. Postava uzorka za ispitivanje .....	35
Slika 37. Prikaz odabira stakla .....	40
Slika 38. Konfiguracija izolacijskog stakla .....	41
Slika 39. Karakteristike neprovidnog dijela elementa.....	41
Slika 40. Toplinska otpornost izolacijskog panela .....	42
Slika 41. Ilustrativni prikaz proračunskog modela.....	42
Slika 42. Klimatski parametri.....	43
Slika 43. Priprema DXF nacrt.....	46
Slika 44. <i>Bitmap</i> .....	47
Slika 45. Popis materijala i rubnih uvjeta.....	48
Slika 46. Vrijednosti apsorpcijskih faktora .....	49
Slika 47. Vrijednosti Sunčevog zračenja na pojedine plohe elementa .....	49
Slika 48. Termalna slika elementa.....	50

**POPIS DIJAGRAMA**

Dijagram 1. Izmjerene vrijednosti globalnog i difuznog zračenja .....	36
Dijagram 2. Izmjerene temperature na laminiranom staklu .....	37
Dijagram 3. Izmjerene temperature na monolitnom staklu .....	38
Dijagram 4. Izmjerene temperature na aluminijskom limu .....	39

## 1. UVOD

Staklo je neophodan materijal koji ima široki raspon upotrebe, kako u svakodnevnom životu, industriji, umjetnosti, znanosti, medicini, tako i u građevinarstvu. Obzirom na tehnološki napredak u proizvodnji, uporaba stakla u građevinarstvu sve je veća. Najčešće se koristi kao ovojnica zgrade koja štiti unutrašnjost od atmosferilija i toplinskih utjecaja. Odlika tog materijala je propusnost svjetla i velika otpornost na kemijske utjecaje. Zbog svoje strukture i načina proizvodnje ima puno manju vlačnu čvrstoću u odnosu na tlačnu čvrstoću. U ovom radu ta će karakteristika biti vrlo bitna zbog obrade pojave toplinskog šoka u staklu koji će prouzročiti nastajanje vlačnih naprezanja. Ukoliko takva naprezanja dosegnu čvrstoću stakla može doći do loma, a time i do narušavanja sigurnosti. Stoga je važno analizirati pri kojim uvjetima će se kritična vrijednost naprezanja pojaviti.

Rad obuhvaća analizu specifičnog fasadnog elementa, takozvanog *shadow boxa*. Ovakav element zanimljiv je za proučavanje jer njegova konfiguracija utječe na povećanje temperature unutar elementa. Analiza toplinskih utjecaja zbog Sunčevog zračenja provest će se ispitivanjem te proračunima u dva različita računalna programa, *Vitrages Decision* i *Bisco*.

Ispitni uzorak i uvjeti ispitivanja postavljeni su tako da pospješuju pojavu temperaturne razlike zbog koje će se javiti naprezanje. Za proračune pomoću navedenih alata definirat će se modeli koji u najbližoj mogućoj mjeri repliciraju ispitni uzorak i uvjete ispitivanja. Pri tome potrebno je svesti dinamički proces na statičke proračune.

Cilj je rada analizirati izmjerene i proračunate podatke obzirom na dopuštene vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika koje se smiju pojaviti u staklu. Te vrijednosti propisuje norma NF DTU 39. Također, provest će se usporedba između izmjerenih i proračunatih vrijednosti kako bi se precizirale razlike između rezultata i pokušali utvrditi razlozi odstupanja. Na temelju toga donest će se zaključak o kvaliteti obrade problema pomoću navedenih računalnih programa. To je vrlo važno zato što ispitivanje obično nije moguće provoditi, stoga je potrebo znati na koji način proračun približiti stvarnosti.

## 2. STAKLO

Staklo je anorganska i amorfná tvar, što znači da prema uređenosti atoma nije ni krutina ni tekućina. Dobiva se taljenjem osnovnih sirovina (kvarcnog pijeska, sode i vapnenca) te hlađenjem taline do očvršćivanja [1]. Također, staklo je termodinamički nestabilna tvar u kojoj ne dolazi do kristalizacije, već se zadržava zatečena struktura. Razlog tomu je razmjerno brz porast viskoznosti tijekom hlađenja, zbog čega se pokretljivost atoma jako smanjuje, te oni nisu u stanju formirati kristalnu strukturu. S druge strane, porast viskoznosti dovoljno je spor da omogući oblikovanje stakla [2]. Zato se staklo naziva i „pothlađenom tekućinom“. Za amorfne tvare karakteristično je da nemaju jasnu točku tališta, nego zagrijavanjem postupno mekšaju dok se ne rastale.

Glavna je karakteristika stakla upravo njegova prozirnost za vidljivi dio spektra elektromagnetskog zračenja, dok je prestali dio spektra uglavnom nepropusan [3]. Kao takav, predstavlja materijal koji omogućuje gotovo neprimjetni spoj vanjskog svijeta i unutrašnjeg prostora, ali ipak onemogućuje prodor vanjskih utjecaja unutra.

Osim toga, staklo također spada u skupinu kemijski postojanih i inertnih materijala. Otporno je na djelovanje kiselina (osim fluorovodične kiseline), alkohola, soli, vode i drugih organskih otapala [3].

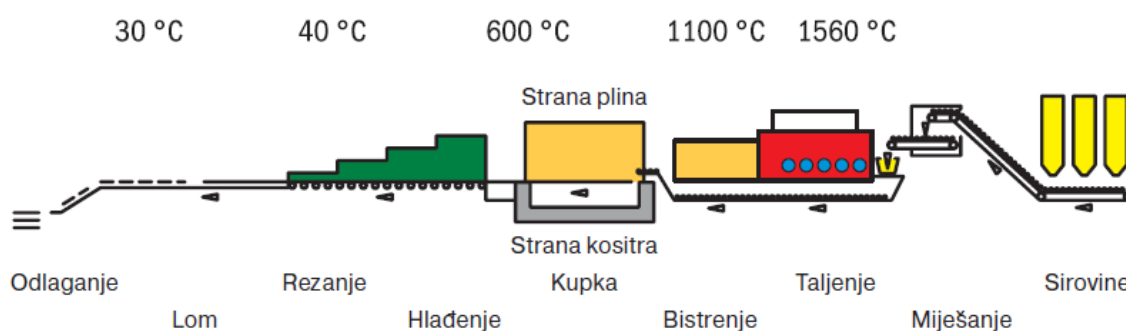
Većina mehaničkih svojstava u velikoj mjeri ovisi o režimu i uvjetima hlađenja staklene taline. Budući da stakleni proizvod treba brzo hladiti kako bi se izbjegla kristalizacija, prvo će se ohladiti površinski slojevi. Očvrsnuli vanjski sloj stakla protivi se unutrašnjem sloju koji se sporije hladi i podliježe skupljanju, pri čemu se javljaju unutarnja naprezanja. Zato staklo ima veliku tvrdoću i tlačnu čvrstoću, a malu vlačnu čvrstoću i veliku krtoš. Što znači da se tijekom naprezanja staklo ponaša idealno elastično sve do pojave loma, bez formiranja plastičnih deformacija. Mehanička svojstva stakla mogu se poboljšati naknadom toplinskom obradom i kontroliranim brzim hlađenjem. Time dobivamo kaljena i toplinski ojačana stakla. Mehanička svojstva znatno se smanjuju pri oštećenju površine i ruba stakla [4].

Postoji mnogo vrsta stakla, ali u nastavku će se navesti samo ona bitna za ovaj rad.

Najčešći način za proizvodnju stakla primijenjenog u građevinarstvu je *float* postupak proizvodnje.

## 2.1. Proizvodnja *float* stakla

Proizvodnja stakla *float* postupkom je relativno moderna tehnika koju je izumilo i razvilo englesko poduzeće Pilkington Brothers 1959. godine. Engleska riječ *float* na hrvatskom jeziku znači plutati, ploviti i vrlo dobro opisuje princip postupka proizvodnje stakla. Automatizirana proizvodnja stakla prema *float* postupku omogućuje proizvodnju velikih količina pločastog stakla u vrlo velikim formatima i kvalitetnim površinama i to po relativno niskoj cijeni [5]. Prikaz proizvodnje vidi se na slici 1.



Slika 1. Prikaz proizvodnje stakla *float* postupkom [5]

Proizvodnja *float* postupkom započinje pripremom sirovina u točno određenim težinskim omjerima, gdje se miješanjem pripremaju za usipavanje u peć za taljenje. U prvom dijelu peći, gdje je temperatura taljenja 1550 °C, dolazi do taljenja sirovina, dok u zadnjem dijelu peći, gdje je temperatura 1100 °C, staklena se talina bistri. U sljedećoj fazi, staklena masa se u obliku beskonačne trake prelijeva u kadu s tekućim kositrom. Površina tekućine koja miruje približava se idealno ravnoj površini. Staklo se zbog površinske napetosti razlijeva po rastaljenom kositru i njegova donja površina prilagođava se površini kositra. Istovremeno se obrađuje i gornja strana staklene trake s plamenim poliranjem. Zupčasti kotači koji na rubovima prodiru u staklenu traku, određuju njegovu debljinu, a rezultat opisanog postupka je beskonačna staklena traka. U zadnjoj, kritičnoj fazi, staklena traka nastavlja put preko valjaka u rashladnom kanalu gdje treba pažljivo nadzirati brzinu hlađenja kako ne bi došlo do unutarnje napetosti. Drugi dio hlađenja događa se na zraku gdje se na traci režu rubovi. Na kraju transporta, kada je temperatura staklene trake jednaka temperaturi okruženja, staklo se poprečno reže na standardne pravokutnike dimenzija 600 x 321 cm [5].

Slika 2 prikazuje *float* staklo.



Slika 2. *Float* staklo [6]

Takvo staklo najčešće je potpuno prozirno i lagano tonirano plavom ili zelenom bojom zbog prisutnosti željezova oksida. Služi kao osnova za dobivanje gotovo svih staklarskih proizvoda [6].

Fizikalne karakteristika *float* stakla prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Fizikalne karakteristike *float* stakla [5]

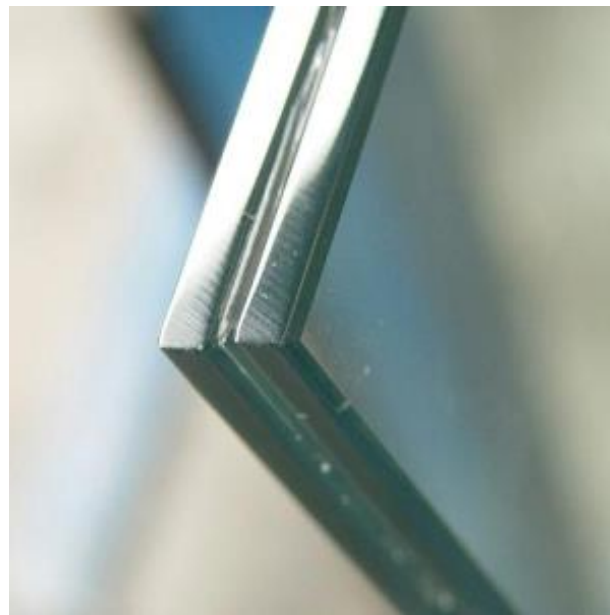
Značajke	Simbol	Vrijednost i jedinica
Gustoća	$\rho$	2 500 kg/m <sup>3</sup>
Čvrstoća		6. stupanj prema Mopsu
Elastični modul	E	7 x 10 <sup>10</sup> Pa
Poissonov broj	$\mu$	0,23
Koeficijent prolaza topline	U	5,80 W/m <sup>2</sup> ·K
Specifična toplinska konstanta	c	0,72 x 10 <sup>3</sup> J/(kg·K)
Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja (između 20° i 300°C)	$\alpha$	9 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Provodljivost topline	$\lambda$	1 W/(m·K)
Srednji količnik loma za vidljivu svjetlost (380 do 780 nm)	c	1,5

## 2.2. Laminirano staklo

Laminirano staklo sastavljeno je od dvije ili više staklenih ploča međusobno povezanih sa jednom ili više PVB folija, debljine 0,38 mm. Gotovo sve vrste ravnih stakala mogu se laminirati. Ovo staklo koristi se kao sigurnosno staklo zbog velike vlačne čvrstoće PVB folije i njene velike prionjivosti na staklene površine. Pri pojavi loma PVB folija će zadržati fragmente, što smanjuje rizik od ozljeda jer nema odlamanja i padanja dijelova stakla [7].

Izvedba laminiranog stakla započinje slaganjem komponenata i njihovim ojačavanjem u procesu prešanja valjcima i zagrijavanja na 200 °C. Nakon toga, proizvod ulazi u autoklav i podvrgava se uvjetima pritiska od 12 bara i temperaturi do 140 °C, pri čemu se dobiva apsolutno transparentno laminirano sigurnosno staklo [7].

Na slici 3 prikazano je laminirano staklo.

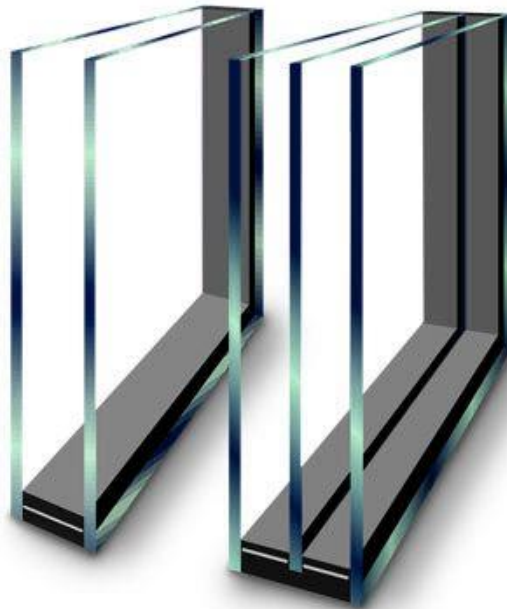


Slika 3. Laminirano staklo [8]

### 2.3. Izolacijsko staklo

Izolacijsko staklo predstavlja najrašireniji oblik primjene stakla. Sastoji se od dvije ili više staklenih ploča koje su rubno povezane pomoću neke vrste distancera. Distancer u sebi ima molekular koji održava suhoću zraka u šupljini između dvaju stakla. Staklene se ploče zajedno s distancerom brtve po obodu, čime se onemogućuje prodiranje vode. Šupljina između stakla može biti ispunjena zrakom ili drugim inertnim plinom. Odabir plina ovisi o željenim toplinskim svojstvima stakla. Glavne prednosti izolacijskog stakla su: smanjenje gubitka topline i bolja zvučna izolacija [9].

Slika 4 prikazuje izgled dvoslojnog i troslojnog izolacijskog stakla.



Slika 4. Prikaza izolacijskih stakla [10]



### 3. PRIJENOS TOPLINE

Toplina se između materijalnih tijela izmjenjuje ili neposrednim dodirrom tijela ili zračenjem. Prijenos topline prirodni je proces do kojeg dolazi čim postoji razlika temperatura u nekom sustavu ili između dva sustava. Tada se prijenos topline vrši u pravcu niže temperature. Proces prijenosa topline prestaje kad se izjednače temperature u svim točkama promatranog sustava. [11]

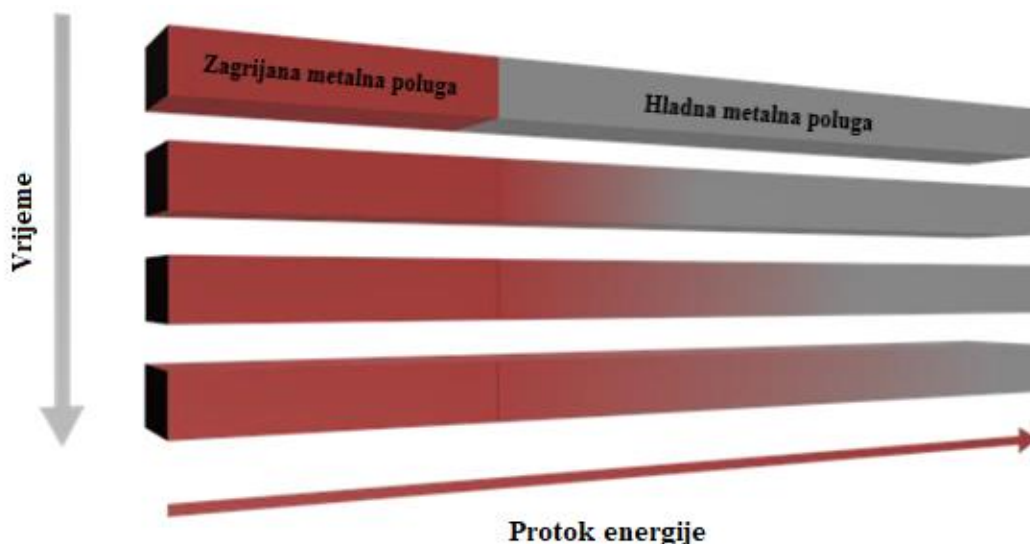
Kako će se u ovom radu pratiti učinak temperaturne razlike u staklu, nužno je poznavanje raspodjele topline i posljedica koje ima na toplinsko naprezanje. Toplina se prenosi (širi) trima osnovnima načinima:

- provođenjem (kondukcijom),
- konvekcijom (komešanjem),
- zračenjem (radijacijom) [12].

U tehničkoj su praksi, većinom, istodobno prisutna sva tri navedena načina prijenosa topline. Ona će se detaljnije pojasniti u sljedećim potpoglavljima uz određene osnovne pojmove, s najvećim naglaskom na prijenos topline zračenjem koji je ovom radu najinteresantniji.

### 3.1. Kondukcija

Provođenje topline odvija se pri fizičkom dodirivanju dviju krutina, pri čemu molekule u toplijoj krutini povećavaju energiju materijala u hladnijoj krutini. Fizikalnost tog načina leži u prijenosu kinetičke energije od jedne molekule na susjednu molekulu. Naime, prosječna brzina molekule veća je pri višoj vrijednosti temperature, stoga se brže molekule toplijeg dijela tijela, prilikom sudara sa sporijim molekulama, usporavaju, dok se pri tome sporije molekule hladnijeg dijela tijela ubrzavaju. Posljedica takve izmjene jest da se prosječne brzine molekula, a time i temperature u svim dijelovima tijela, nastoje izjednačiti [12]. Slika 5 prikazuje primjer učinka kondukcije pomoću zagrijane i hladne metalne poluge.



Slika 5. Primjer učinka kondukcije [14]

Nužno je naglasiti da je prijenos topline provođenjem jedini mogući način kod neprozirnih krutina, dok se npr. kod materijala kao što su staklo i kvarc, toplina može prenositi provođenjem ili zračenjem. O provođenju topline, kod kapljevina i plinova govori se kad one miruju ili se gibaju bez miješanja čestica [12].

Različiti materijali provode toplinu različitim brzinama, ovisno o njihovoj molekularnoj strukturi, odnosno koeficijentu toplinske vodljivosti.

### 3.1.1. Toplinska vodljivost

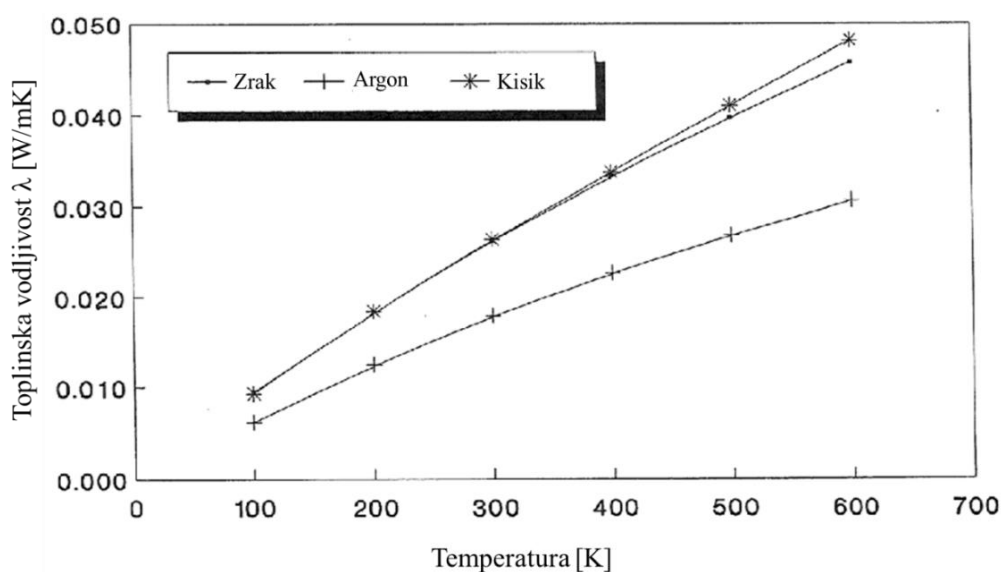
Toplinska vodljivost  $\lambda$  [W/mK] je fizikalno svojstvo tijela koje, u generalnom slučaju, ovisi o temperaturi, tlaku i prirodi promatrane materije. Najčešće se određuje eksperimentalno, za što su poznate mnoge metode koje uglavnom počivaju na mjerenju gustoće toplinskog toka i pripadajućeg temperaturnog gradijenta na promatranoj supstanci [12]. Na osnovi ta dva podatka, koristi se jednadžba:

$$\lambda = \frac{|q|}{|\text{grad}\theta|}. \quad (1)$$

Oznaka  $q$  [W/m<sup>2</sup>] predstavlja gustoću toplinskog toka te je jednaka iznosu topline koji u diferencijalnom vremenu  $dt$  prođe kroz izotermnu plohu diferencijalne površine  $dA$ . S druge strane, nazivnik jednadžbe (1) odnosi se na temperaturni gradijent koji označava povećanje temperature u smjeru normale na izotermnu plohu. Takva ploha suštinski predstavlja sve točke iste temperature nekog tijela [12].

Dobri vodiči topline su, primjerice, metali i građevni materijali velike gustoće. Loši vodiči topline, odnosno, dobri toplinski izolatori su materijali male gustoće na bazi mineralne vune, pjenaste plastike, drvene vune, pluta, itd. [11]

Na slici 6 prikazane su izmjerene vrijednosti toplinske vodljivosti u funkciji temperature za neke plinove koji se spominju i u ovom radu.



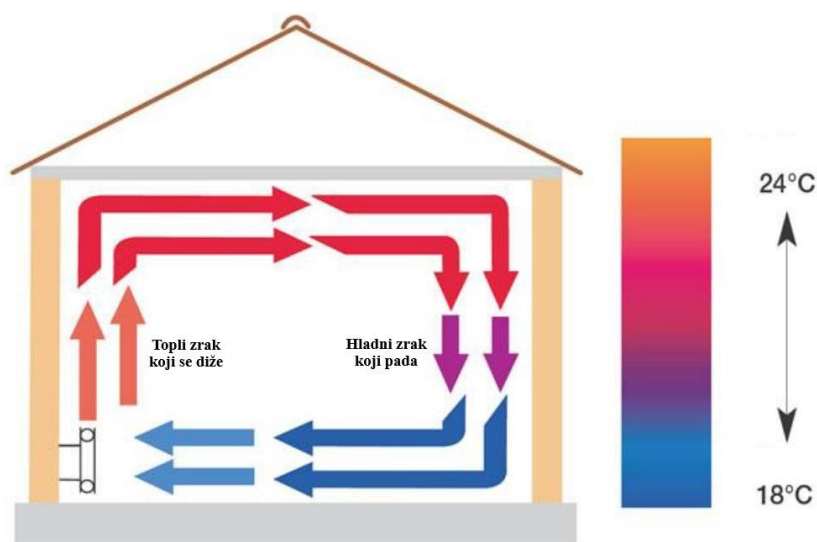
Slika 6. Vrijednosti toplinske vodljivosti pojedinih plinova u funkciji temperature [15]

### 3.2. Konvekcija

Konvekcija se odvija u tekućinama i plinovima te za razliku od krutina, gdje molekule samo vibriraju, proces uključuje kretanje toplinske energije kroz materijal pomoću molekula. Ukratko, prijenos topline konvekcijom počiva na mnoštvu izravnih dodira čestica različitih temperatura. Stoga je konvektivni prijenos topline usko vezan za pojave strujanja [13]. Gibanje tekućine, plina ili kapljevine može biti pobuđeno na dva načina:

- prirodnom ili slobodnom konvekcijom,
- prisilnom ili prinudnom konvekcijom.

U slučaju prirodne konvekcije, čestice koje su bliže toplijoj stijenci dobivaju više energije, pri čemu se molekule međusobno udaljavaju, što za posljedicu ima smanjivanje vrijednosti gustoće tekućine ili plina. Takve lakše čestice dižu se uvis i pobuđuje strujanje s česticama u hladnijem području. Izvrstan primjer za slobodnu konvekciju jest radijator koji zagrijava zrak u prostoriji, a taj se zrak, budući da je manje gustoće, diže. Dok to čini, prenosi energiju u hladnija područja zraka, pri čemu postaje gušći i zatim pada ispod nedavno zagrijanih područja zraka [12]. Navedeni proces, ilustrativno je prikazan na slici 7.



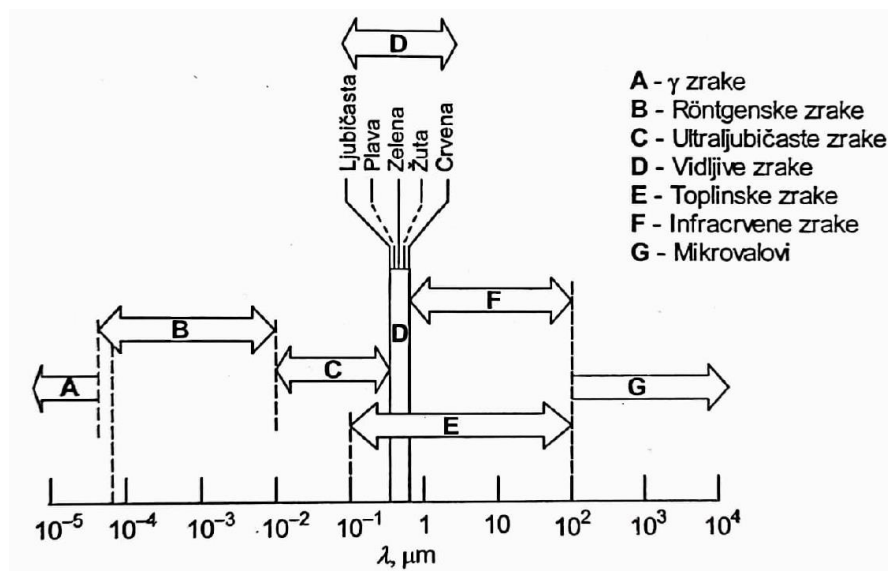
Slika 7. Ilustrativni prikaz prijenosa topline konvekcijom [16]

Prilikom prisilne konvekcije strujanje fluida nije uvjetovano samo razlikom u gustoći čestica fluida, već se podržava umjetno pomoću: pumpe, ventilatora, vjetra,... Dakle, strujanje fluida uvjetovano je vanjskom nametnutom razlikom tlakova [12].

### 3.3. Zračenje

U prethodnim potpoglavljima spoznato je da prijenos topline nužno počiva na postojanju temperaturnog gradijenta unutar tvari. Suprotno tome, pri prijenosu topline zračenjem nije potrebna materija kao posrednik, nego se prijenos topline zračenjem može odvijati i u vakuumu. Prijenos topline zračenjem odvija se u obliku toplinskih zraka koje se prenose u formi elektromagnetskih valova. Naime, svako tijelo zadane temperature zrači toplinu, koja se u formi elektromagnetskih valova širi do drugog tijela [12]. Kao primjer može se uzeti prijenos topline sa Sunca na Zemlju.

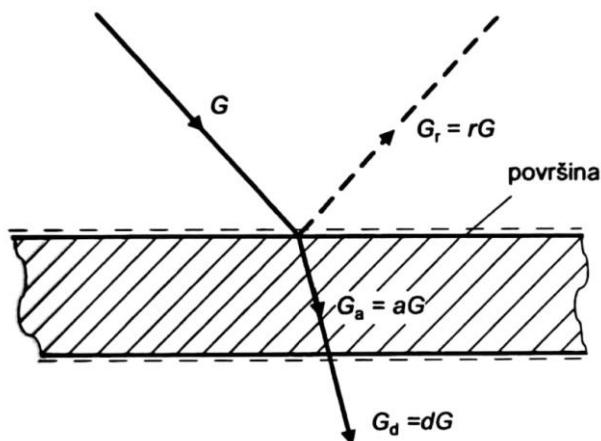
Postoje različite vrste zračenja, pri čemu se čitav spektar elektromagnetskog zračenja može podijeliti na područja kvantitativno prikazana slikom 8.



Slika 8. Spektar elektromagnetskog zračenja [12]

Ovom radu interesantno je zračenje koje je jednoznačno određeno prirodom promatrane tvari i njezinom temperaturom, odnosno toplinsko zračenje prikazanom oznakom „E<sup>cs</sup>“ na slici 8.

Ukoliko se nekom tijelu dozračuje energija  $G$ , utoliko se dio  $G_r = rG$  reflektira od površine tijela, dio  $G_a = aG$  apsorbira kroz površinu u tijelo, dok se preostali dio  $G_d = dG$  propusti kroz tijelo, kako to kvantitativno prikazuje slika 9.



Slika 9. Prikaz apsorpcije, refleksije i propusnosti [12]

Imajući na umu zakon održanja energije, za sustav omeđen crtkanom linijom može se napisati jednačba:

$$G = rG + aG + dG, \quad (2)$$

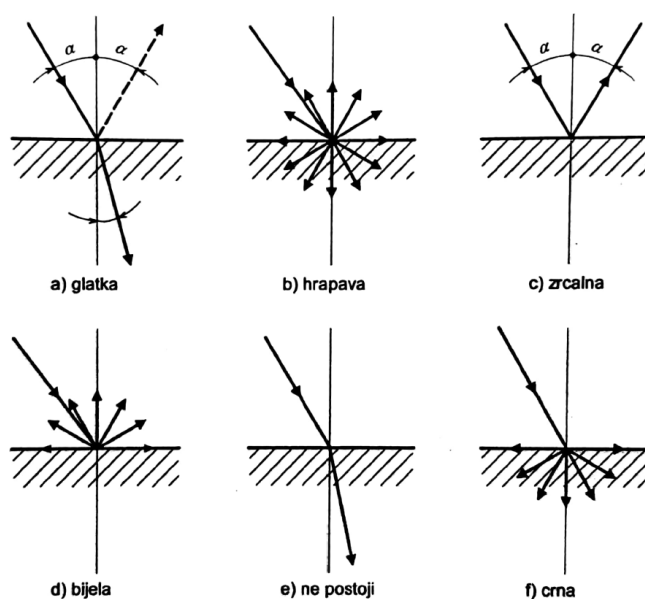
koja se nakon skraćivanja s  $G$  svede na izraz:

$$r + a + d = 1, \quad (3)$$

pri čemu  $r$  predstavlja faktor refleksije,  $a$  faktor upijanja ili apsorpcije te  $d$  faktor propusnosti ili dijatermije. Zanimljivo je spomenuti kako postoje tijela koja su propusna samo za određeni interval valnih duljina upadnog zračenja, kao što je to slučaj sa staklom koje je vrlo propusno za svjetlosne zrake ( $\lambda = 0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ ), dok je potpuno nepropusno za infracrvene ( $\lambda = 0,7 - 100 \mu\text{m}$ ), dakle dobrim dijelom za toplinske zrake [12].

Apsorpcijski faktor  $a$  ovisi o: temperaturi stijenke, njezinoj građi te valnoj duljini upadnog zračenja. Nasuprot tome, faktor refleksije  $r$  ovisi o: karakteristikama površine tijela, samoj vrsti tijela, ali i o vrsti medija koji graniči s površinom tijela. Iz navedenog je očito da na zračenje izrazito utječu svojstva površine promatranog tijela. Shodno tome, korištenjem

naziva iz vidljivog spektra, slika 10 prikazuje podjelu površina prema ponašanju u odnosu na toplinsko zračenje [12].



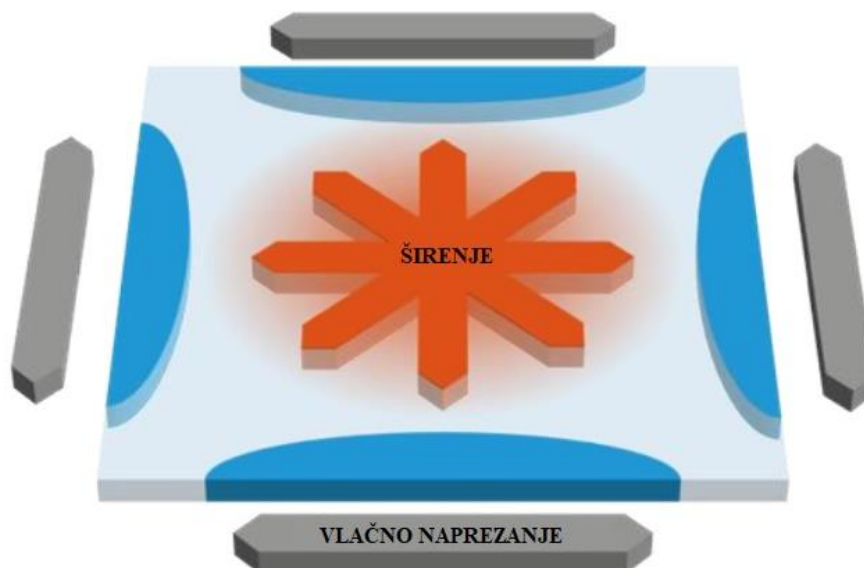
Slika 10. Ponašanje površina u odnosu na toplinsko zračenje [12]

Površine prikazane oznakom *d* i *f* predstavljaju idealizirane konceptualne površine. Pri čemu površina *d* predstavlja bijelo tijelo koje difuzno reflektira sveukupno prispjelo zračenje. U takvom slučaju vrijednost faktora refleksije jest 1 ( $r = 1$ ), a faktora apsorpcije 0 ( $a = 0$ ). Suprotno toj površini, oznaka *f* prikazuje crno tijelo koje difuzno upija sveukupno prispjelo zračenje. Za takvo tijelo apsorpcijski faktor iznosi 1 ( $a = 1$ ), a faktor refleksije 0 ( $r = 0$ ). Upravo je crno tijelo nužno za opis zračenja realnih površina [12].

Naspram prethodno spomenutih idealiziranih površina, realne površine imaju vrijednost apsorpcijskog i refleksijskog faktora između 0 i 1. Njihova vrijednost, odnosno emitivno svojstvo, počiva na crnom tijelu. Kako za zadanu valnu duljinu i temperaturu nijedna površina ne emitira više zračenja od crnog tijela, ono se uzima kao referenca u opisu emisije realne površine. Emitivno svojstvo realne površine prikazuje se pomoću emisijskog faktora,  $\varepsilon$ . Definira se kao omjer vlastitog emitiranog zračenja realne površine i vlastitog emitiranog zračenja crnog tijela pri istoj temperaturi [12].

## 4. TOPLINSKI ŠOK

Staklo, kao i većina drugih materijala, širi se tijekom zagrijavanja. Toplinski inducirana naprezanja posljedica su neravnomjernog širenja stakla uslijed zagrijavanja. Na primjer, takva pojava može se manifestirati kod stakla koje se nalazi u okviru, pri čemu je središnji dio stakla izložen globalnom sunčevom zračenju, dok je rub stakla zaklonjen okvirom. Zagrijavanje takvog elementa uzrokovat će širenje središnjeg dijela stakla, a istovremeno će se hladniji rubovi odupirati tom širenju i razviti vlačno naprezanje paralelno s rubom stakla [14]. Slika 11 prikazuje nastajanje toplinskih naprezanja.



Slika 11. Nastajanje toplinskog naprezanja [14][11]

Izraz toplinski šok koristi se u staklarstvu i opisuje pojavu razlike u temperaturi između dvije točke na ploči stakla, uslijed čega se javljaju vlačna naprezanja. Vlačno naprezanje  $\sigma_t$  [ $\text{N/mm}^2$ ], računa se prema izrazu (4):

$$\sigma_t = \alpha \cdot E \cdot \Delta T, \quad (4)$$

gdje je  $\alpha$  [ $\text{K}^{-1}$ ] koeficijent toplinskog istezanja stakla,  $E$  [ $\text{N/mm}^2$ ] modul elastičnosti stakla i  $\Delta T$  [K] najveća proračunata ili izmjerena razlika temperature u staklu. Ako je temperaturna razlika dovoljno velika i naprezanje nadvlada čvrstoću na rubu stakla doći će do loma.



Osim prijašnje objašnjenog scenarija postoje i drugi čimbenici koji mogu pospješiti toplinski prouzročen lom u staklu [17]:

- Solarna apsorpcija stakla

Količina sunčevog zračenja koju staklo može apsorbirati ima izravan utjecaj na njegovo zagrijavanje, stoga se ono smatra vrlo važnim faktorom koji pridonosi toplinskom šoku. Neka stakla mogu apsorbirati više energije od drugih. Na primjer, staklo s nanesenim filmom znatno će se više zagrijati od običnog prozirnog stakla zbog veće apsorpcije zračenja i time će imati veći rizik od loma.

- Sjena

Prisutnost sjene na staklenoj površini kreirat će hladnije zone što može dovesti do veće temperaturne razlike između izloženih i zasjenjenih površina stakla. Sjene mogu biti prouzročene od stupova, streha, balkona, susjednih građevina, raslinja itd. Mogu se pojaviti na staklenoj površini kao pokretne ili statične sjene. Kada je neki objekt, koji će prouzročiti zasjenjenje, manji i udaljeniji od stakla, kreirat će pokretnu sjenu koja će zbog kretanja sunca mijenjati položaj na staklu. Statične sjene, uzrokovane dijelovima zgrade ili većim objektima, biti će prisutne duže vrijeme na staklenoj površini. One će kreirati kritične uvjete zbog dužeg perioda djelovanja difuznog zračenja, pri čemu će smanjenje temperature u tom području biti neizbježno.

- Čvrstoća ruba

Pukotine nastale toplinskim naprezanjem pojavljuju se na rubu stakla, stoga otpornost na lom uvelike ovisi o stanju ruba. Oštećenje na rubu uzrokuje koncentraciju naprezanja i smanjuje njegovu čvrstoću. Oštećenja obično nastaju lošim rukovanjem, ali mogu nastati i prilikom obrade ruba stakla. Zato treba uzeti u obzir da neobrađeni i grubo brušeni rub imaju manju čvrstoću i otpornost u odnosu na polirani rub zbog nesavršenosti koje nastaju tijekom takve obrade.

- Uređaji za grijanje i hlađenje

Prisutnost uređaja za grijanje ili hlađenje koji se nalaze uz staklo ili pušu direktno na staklo mogu značajno zagrijati ili ohladiti staklo i nepovoljno djelovati na temperaturne razlike u njemu.

- **Zavjese i druge zapreke**

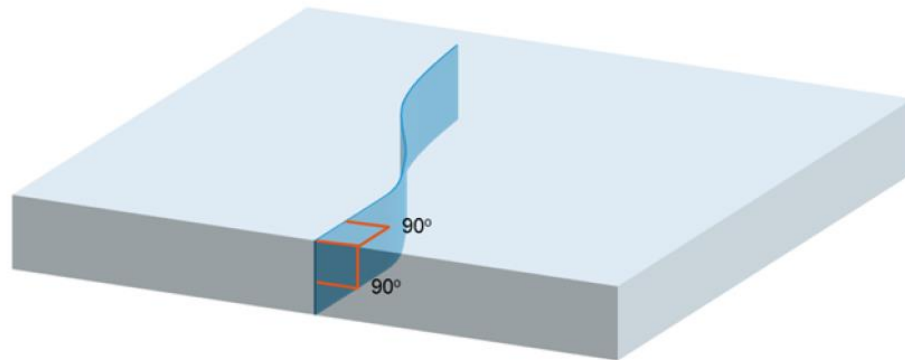
Sunčeva energija reflektirat će se od zavjesa i drugih zapreka natrag na staklo i dodatno ga zagrijavati. Količina reflektirane energije ovisi o boji zapreke. Svijetle boje reflektirat će veću količinu sunčeve energije u odnosu na tamne boje. Osim što reflektiraju sunčevo zračenje, zapreke zarobljuju topli zrak između njih i stakla, te smanjuju mogućnost hlađenja stakla. Razina nakupljene topline u tom prostoru ovisit će o mogućnosti ventiliranja toplog zraka kroz otvore.
- **Vrsta okvira**

Okvir u koji je učvršćena staklena ploča utjecat će na temperaturu rubova stakla. Drveni i PVC okviri imaju manju vodljivost, a time i manji utjecaj na zagrijavanje ruba, dok je aluminij vodljivi materijal koji može prenesti više topline na rub stakla, ovisno o njegovoj boji. Tamna boja okvira apsorbirat će više energije i time zagrijati staklo unutar okvira.
- **Vrsta stakla**

Ovisno o vrsti stakla javlja se rizik od pojave loma uslijed toplinskog šoka. Kaljeno i polukaljeno staklo zbog termičke obrade imaju veću vlačnu čvrstoću, stoga mogu podnijeti veće temperaturne razlike u odnosu na *float* staklo.

#### 4.1. Pukotine uzrokovane toplinskim šokom

Toplinsko naprezanje uzrokuje pukotinu na rubu stakla s ishodištem na mjestu imperfekcije ruba. Obzirom da se na rubu pojavljuje vlačno naprezanje, pukotina će nastati okomito na plohu stakla i na rub stakla, kao što je prikazano na slici 12 [14].

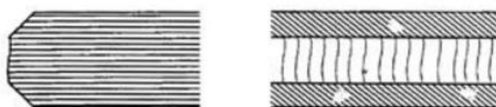


Slika 12. Toplinski uzrokovana pukotina [14]

Oblik loma ovisi o razini naprezanja koja će ga prouzročiti. Uslijed toplinskog naprezanja lomovi obično nastaju od niske vrijednosti naprezanja i kao takvi manifestiraju se jednom pukotinom koja se kreće kroz staklo. Rjeđa pojava većeg toplinskog naprezanja može izazvati pukotinu koja će se račvati i širiti u različitim smjerovima po površini. Nakon inicijalnog loma staklo će biti oslabljeno u tom području i osjetljivije na vanjska opterećenja. Dodatna opterećenja povećat će pukotinu nastalu toplinskim šokom i ugroziti sigurnost od potpunog loma stakla [14].

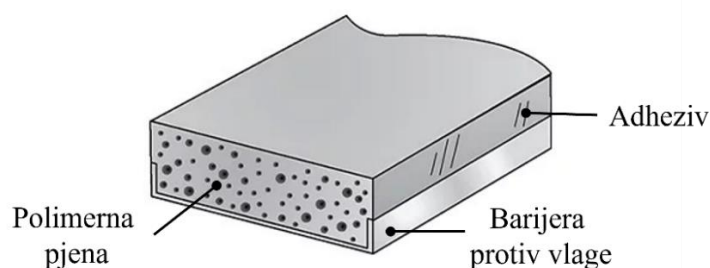
## 5. OPIS ISPITNOG UZORKA

Ispitivanje toplinskog šoka provelo se na dvoslojnom izolacijskom staklu plošnih dimenzija 1070 mm duljine i 1732 mm visine. Dvoslojno izolacijsko staklo sastoji se od dvije staklene plohe između kojih se nalazi hermetički zatvoren prostor širine 16 mm ispunjen smjesom od 90% argona i 10% zraka. Prva staklena ploča laminirano je staklo sastavljeno od dva *float* stakla debljine 6 mm povezanih sa dvije prozirne PVB folije. Druga staklena ploča je monolitno *float* staklo debljine 6 mm. Sva stakla imaju grubo brušeni rub. Takav rub dobiva se na način kada se rezanom rubu tračnom brusilicom odstrani oštrina. Tim postupkom ne mogu se izravnati dimenzijska odstupanja koja su nastala pri rezanju stakla. Ilustracija obrade ruba prikazana je na slici 13.



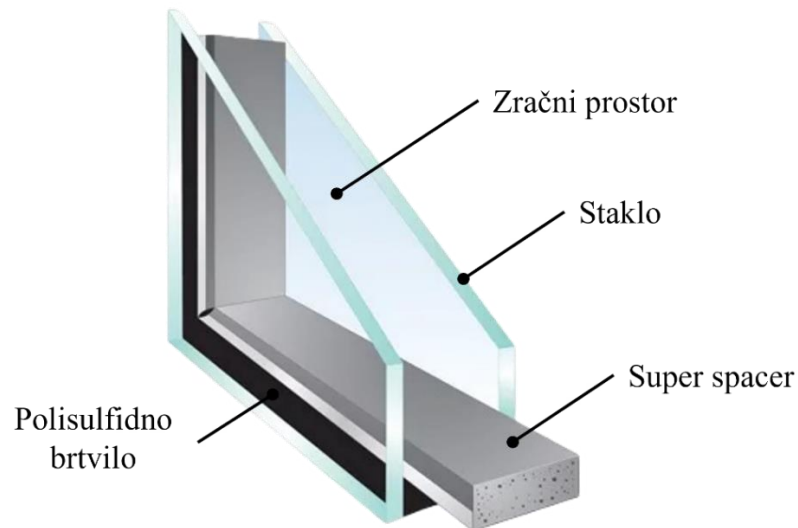
Slika 13. Obrada ruba stakla [5]

Dvije plohe stakla razmaknute su *super spacerom*. To je nemetalni distancer od polimerne pjene koji uvelike umanjuje direktan prijenos topline u odnosu na aluminijske distancere. Također, ima svojstvo apsorpcije vlage i barijeru koja smanjuje kondenzaciju. Takav distancer osim što pruža izvrsne karakteristike toplinske izolacije, apsorbira zvuk, zadržava plin u međuprostoru i pojednostavljuje proces izrade izolacijskog stakla [18]. *Super spacer* prikazan je na slici 14.



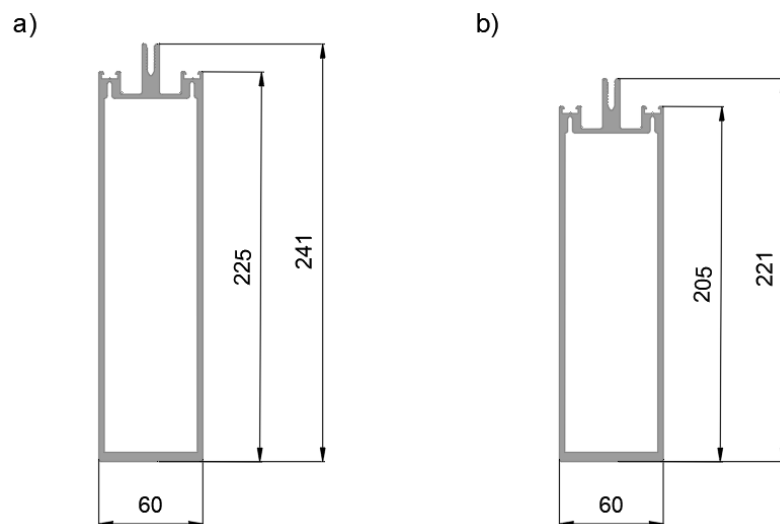
Slika 14. *Super spacer* [19]

Zračni prostor sekundarno je zatvoren s polisulfidnim brtvilom. Konfiguracija izolacijskog paketa prikazana je slikom 15.



Slika 15. Prikaz izolacijskog stakla [19]

Izolacijsko staklo pridržano je aluminijskim profilima koji su prikazani na slici 16.



Slika 16. Aluminijski profili: a) vertikalni profil, b) horizontalni profil

Okvir od aluminijskih profila i postavljeno izolacijsko staklo unutar okvira može se vidjeti na slikama 17 i 18.

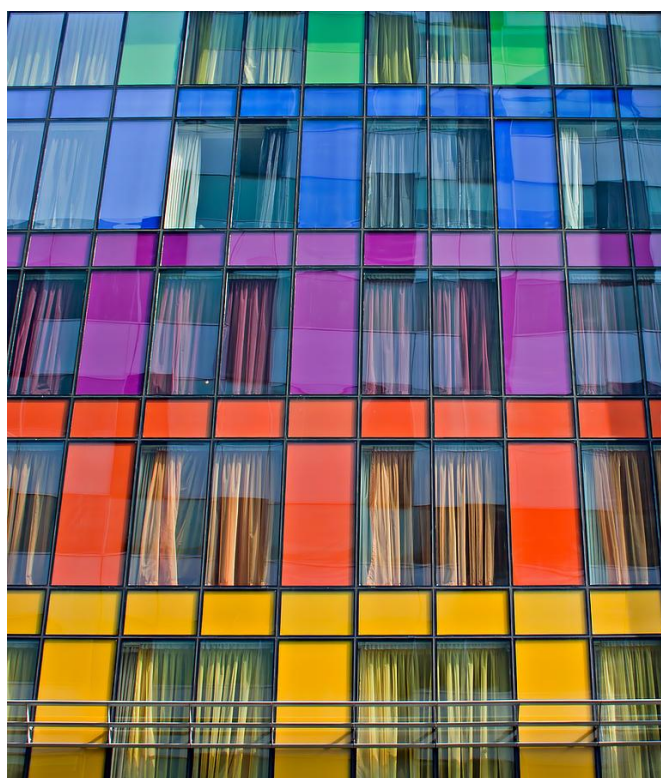


Slika 17. Okvir od aluminijskih profila



Slika 18. Izolacijsko staklo unutar okvira

Ispitni uzorak naposljetku je napravljen kao neprovidni element na način da je iza stakla ostavljen neventilirani prostor širine 34 mm, a zatim postavljen izolacijski panel od dva aluminijska lima debljine 2 mm i mineralne vune debljine 200 mm koja se nalazi između njih. Takav element, takozvani *shadow box*, primjenjuje se na mjestima gdje je potrebno da staklena fasada ipak bude neprovidna. Na taj način može se postići neprekinutost staklene fasade. Također, ovisno o boji lima, može se ostvariti traženi vizualni efekt i dojam dubine. Slika 19 prikazuje primjer obojanog lima unutar *shadow boxa* radi postizanja upečatljivog izgleda.

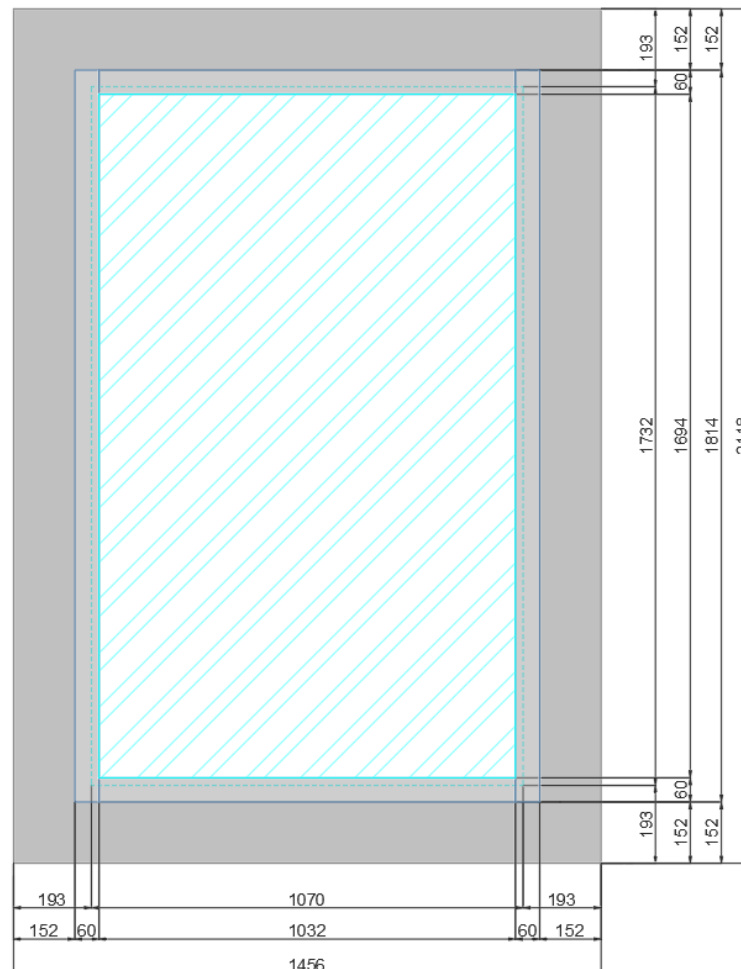


Slika 19. Primjer uporabe *shadow boxa* [20]

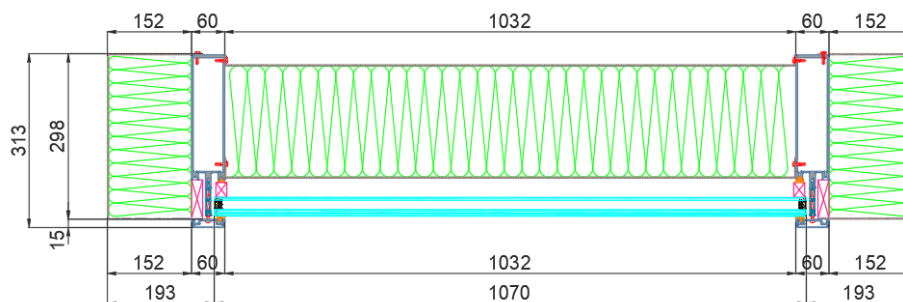
Opisani element nepovoljan je u slučaju toplinskog šoka zato što izolacijski panel iza stakla otežava prijenos topline, pri čemu se više topline akumulira na staklima, što može dovesti do veće razlike u temperaturi između izloženog i zasjenjenog dijela stakla. Boja pozadinskog lima također utječe na razvoj temperature u staklu. Za ovo ispitivanje odabrana je crna boja lima što je kritičan slučaj. Takav lim apsorbirat će puno sunčeve energije, a vrlo malo reflektirati, pri čemu će se jako zagrijati. Toplina će se sa zagrijanog lima prenositi na staklenu površinu i dodatno povisiti njenu temperaturu.



Element je dodatno izoliran sa svih bočnih strana mineralnom vunom pridržanom limom od pocinčanog čelika. Time se umanjuje gubitak energije i simulira element u sklopu fasade. Pogled i presjeci ispitnog elementa, zajedno sa detaljem, prikazani su na slikama 20, 21, 22 i 23.

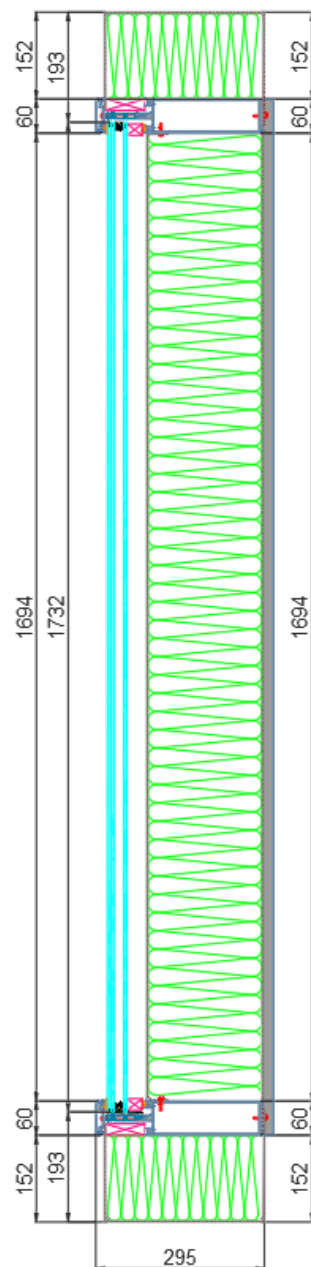


Slika 20. Pogled ispitnog elementa

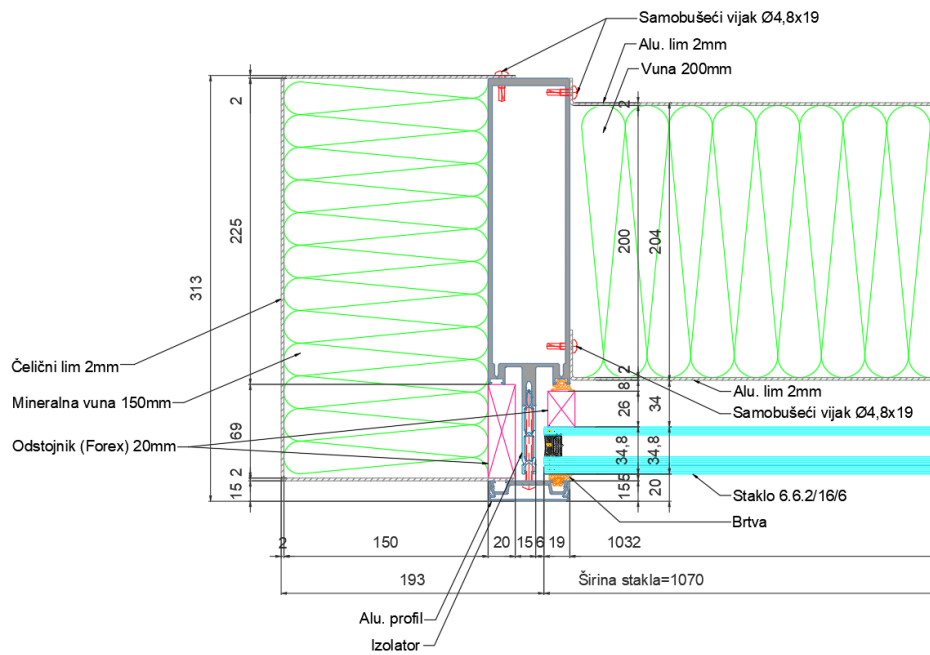


Slika 21. Horizontalni presjek elementa





Slika 22. Vertikalni presjek elementa



Slika 23. Detalj ispitnog elementa

Kompletan uzorak spreman za ispitivanje može se vidjeti na slici 24.



Slika 24. Ispitni element

## 6. ISPITIVANJE UZORKA

Osnovna ideja iza analize toplinskog šoka određivanje je maksimalne temperaturne razlike na staklu, bilo proračunskom metodom ili ispitivanjem. To se radi za element točno određene konfiguracije, poznate orijentacije i podražaje koji se mogu pojaviti i pospješiti toplinski lom u staklu. Temperaturnu razliku potrebno je odrediti za sva četiri godišnja doba zbog različite pozicije Sunca, odnosno različitog utjecaja sunčevog zračenja. Prema dobivenim rezultatima možemo smanjiti rizik od loma stakla tako da sagledamo mogućnost dodatne obrade ruba ili promjenu vrste stakla u onu koja je otpornija na toplinska naprezanja [21].

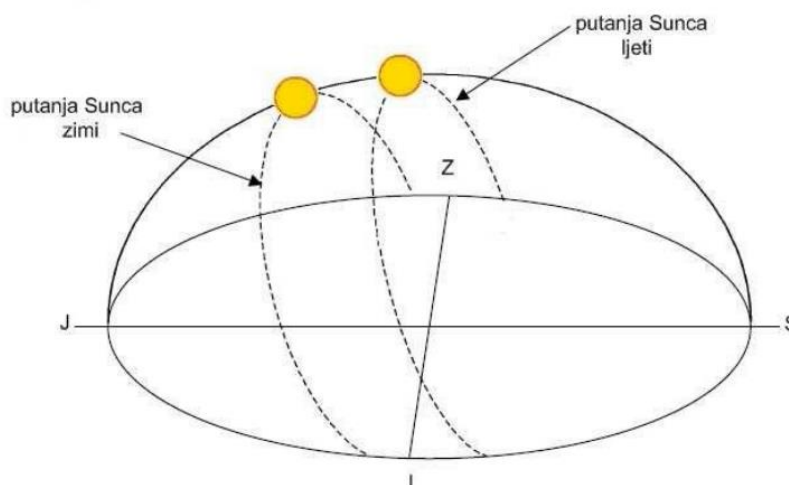
U ovom radu ispitivanje je provedeno na prijašnje opisanom elementu uz uvjet statičkog zasjenjenja na donjoj polovici elementa. Ispitivanje je izvršeno u proljetnom godišnjem dobu dana 12.05.2022. s južnom orijentacijom i vertikalnim položajem elementa. Lokacija ispitivanja može se opisati geografskom širinom ( $45^{\circ} 44' 32''$  sjeverno) i geografskom dužinom ( $16^{\circ} 13' 42''$  istočno) što predstavlja smještaj općine Rugvica u Hrvatskoj. Navedeni podaci imat će značajan utjecaj na količinu upadnog sunčevog zračenja.

## 6.1. Upadno sunčevo zračenje

Upadno sunčevo zračenje izravno će utjecati na temperaturu stakla, a ovisit će o nekoliko čimbenika [14]:

- Doba godine

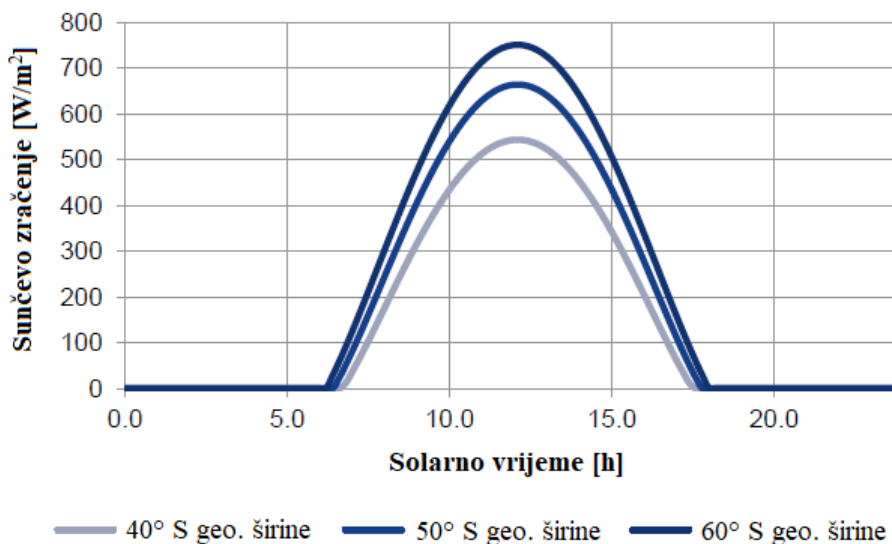
Osim što intenzitet sunčevog zračenja varira tijekom dana, mijenja se i tijekom godine. Na slici 25 prikazane su putanje sunca obzirom na ljeto i zimu. Za primjer, promatra se vertikalni element koji se nalazi na ekvatoru. Tijekom ljeta, sunce će s normalom tog elementa zatvarati veliki kut, takozvani incidentni kut, te će intenzitet sunčevog zračenja biti manji u odnosu na putanju sunca zimi.



Slika 25. Sezonska promjena položaja Sunca [22]

- Lokacija

Intenzitet sunčevog zračenja varira ovisno o lokaciji. Za primjer se može uzeti usporedba lokacija na 40°, 50° te 60° sjeverne geografske širine tijekom kolovoza, uz vertikalni položaj i južnu orijentaciju. Što je veća udaljenost sjeverne geografske širine od ekvatora, to je veće upadno sunčevo zračenje, kako je i prikazano na slici 26.



Slika 26. Utjecaj lokacije na upadno sunčevo zračenje [14]

- Orijehtacija

Orijehtacija ima značajan utjecaj na razine sunčevog zračenja, pri čemu usmjerenost na jug, jugoistok i jugozapad iskazuje najviše razine na sjevernoj hemisferi, za vertikalne površine. Lokacije sa sjevernom orijetacijom podložne su samo niskim razinama sunčevog zračenja, uglavnom od difuznog zračenja raspršenog u atmosferi te refleksije tla.

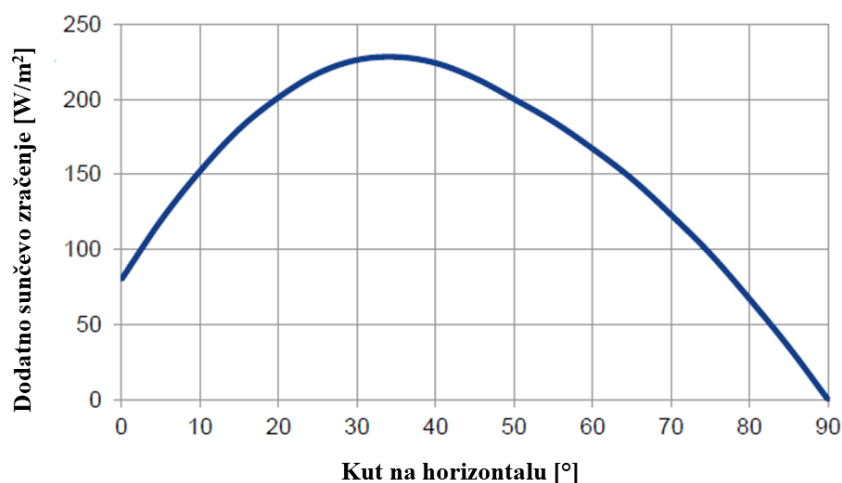
Podaci iskazani u tablici 2 daju uvid na vrijednosti maksimalnog intenziteta godišnjeg upadnog sunčevog zračenja na okomito ostakljene površine pri 55° sjeverne geografske širine.

Tablica 2. Godišnje upadno sunčevo zračenje ovisno o orijetacija [14]

Orijehtacija	Maksimalni intenzitet upadnog sunčevog zračenja [W/m²]
Sjever	258
Sjeveroistok	615
Istok	790
Jugoistok	794
Jug	794
Jugozapad	794
Zapad	790
Sjeverozapad	615

- Nagib elementa

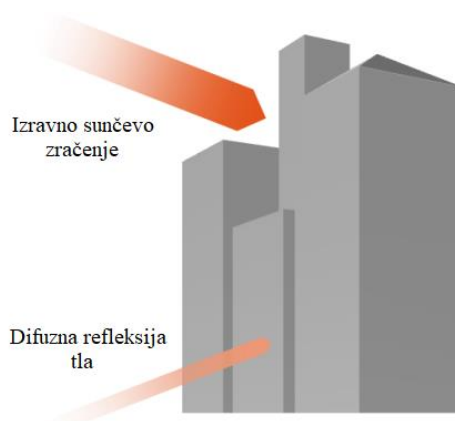
Kao i u slučaju orijentacije, nagib također ima značajan utjecaj. U Ujedinjenom Kraljevstvu, kut u rasponu od  $35^\circ$  u odnosu na horizontalu smatra se optimalnim za postizanje maksimalnog sunčevog zračenja za solarne ploče. Kao takvo, staklo koje je na nagibu također će biti izloženo većim razinama upadnog sunčevog zračenja nego ono u vertikalnom položaju. Slika 27 ilustrira utjecaj nagiba elementa na sunčevo zračenje.



Slika 27. Utjecaj nagiba elementa na dodatno sunčevo zračenje [14]

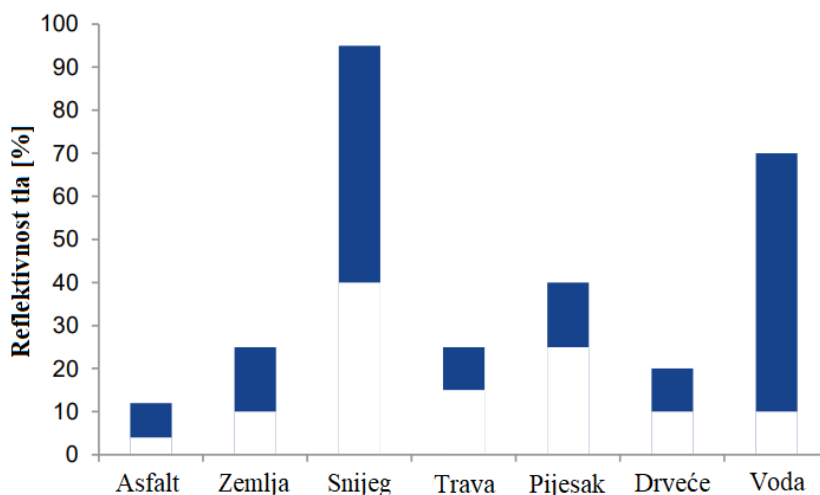
- Refleksija zemljine površine

Čak i područja zgrada zasjenjena od izravne sunčeve svjetlosti imaju određenu razinu difuzne upadne sunčeve energije kao rezultat refleksije tla ili albeda, kako je ilustrativno prikazano na slici 28.



Slika 28. Ilustrativni prikaz refleksije tla [14]

Takvu upadnu sunčevu energiju tlo reflektira u različitim stupnjevima, uglavnom ovisno o prirodi terena i kutu upadne sunčeve svjetlosti. Shodno tome, karakteristično je da izgrađena područja generiraju manju refleksiju tla, prvenstveno zbog smanjene razine izravne sunčeve energije koja dopire do tla. Osim razine upadnog sunčevog zračenja, veliku ulogu igra i faktor refleksije površina na tlu. Na slici 29 prikazane su vrijednosti refleksije tla u postotku za karakteristične površine.



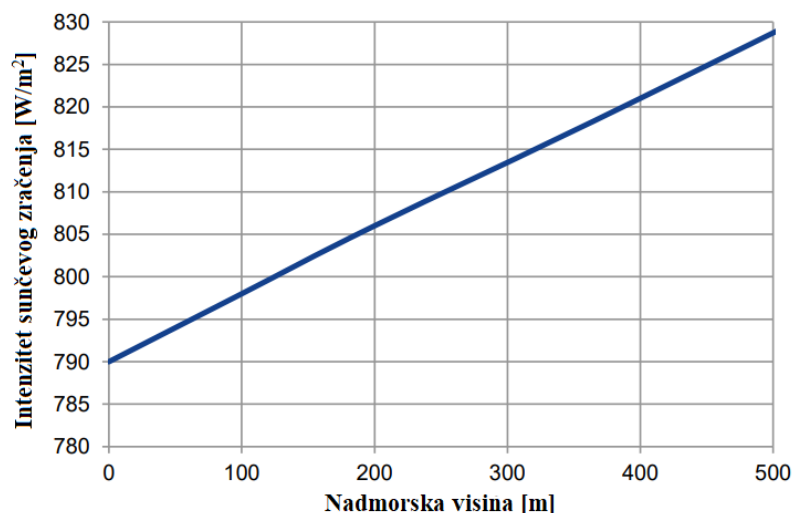
Slika 29. Refleksivnost različitih površina [14]

Za potrebe izračuna, difuzna refleksija tla često se aproksimira na temelju razine izravnog sunčevog zračenja.

- Nadmorska visina

Intenzitet sunčeve energije povećan je na višim nadmorskim visinama. Razlog tome jest smanjenje apsolutne mase zraka, koja je mjera apsorpcije i raspršenja upadnog sunčevog zračenja. Iz tog razloga, kada se procjenjuje toplinska sigurnost, nužno je imati na umu da su područja na višoj nadmorskoj visini izložena većim maksimalnim razinama upadnog sunčevog zračenja.

Dijagram u nastavku (slika 30) prikazuje povećanje intenziteta sunčevog zračenja za vertikalne ostakljene površine okrenute prema jugu na 55° sjeverne geografske širine.



Slika 30. Utjecaj nadmorske visine na sunčevo zračenje [14]

- Oblačnost i zagađenje

Osim stalnih karakteristika koje su prethodno navedene, neophodno je uzeti u obzir i varijabilne, kao što su vremenske prilike i kvaliteta zraka.

Oblačnost će smanjiti intenzitet upadnog sunčevog zračenja. Kao takva, za vrijeme oblačnih dana, razina nakupljanja topline u staklu bit će niža. Zato je pri procjeni toplinske sigurnosti, nužno uzeti u obzir intenzitet sunca pri vedrom nebu, jer će to omogućiti potencijalno najgore moguće uvjete.

Izmaglica ili zagađenje jest kombinacija dima, prašine i drugih čestica u zraku, koje mogu smanjiti kvalitetu zraka i apsorbirati nešto sunčevog zračenja, čime se smanjuje razina upadnog sunčevog zračenja na tlo ili zgrade. To će utjecati i na izravno sunčevo zračenje i na difuzno zračenje odbijeno od tla. U biti, više razine onečišćenja bit će marginalno korisne za toplinsku sigurnost, ali da bi se razmotrio najgori mogući scenarij, ovaj se faktor obično zanemaruje.



## 6.2. Položaj mjernih uređaja

Za mjerenje temperature primjenjuju se termalne sonde osjetljivosti od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sonde se ljepljivom trakom pričvršćuju na pozicije gdje se želi izmjeriti temperatura tako da njihova mjerna površina bude dobro pričvršćena na plohu bez ikakvog zračnog prostora. Slika 31 i slika 32 prikazuju način pričvršćivanja sonde na plohe i na rubove stakla.



Slika 31. Sonde pričvršćene na plohu stakla i lima

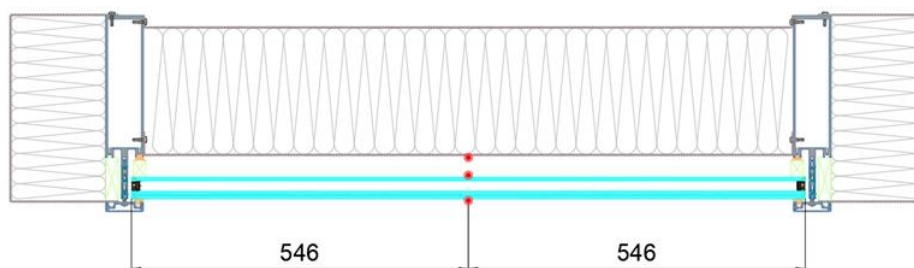


Slika 32. Sonde pričvršćene na rubove stakla

U slučaju ovakve konfiguracije elementa i uvjet zasjenjenja, temperaturu je potrebno odrediti u nekoliko točaka:

- u središnjoj zoni stakla izloženoj sunčevim zrakama na obje staklene plohe,
- u središnjoj zoni zasjenjenog dijela stakla na obje staklene plohe,
- na rubu zasjenjenog dijela stakla na obje staklene plohe.

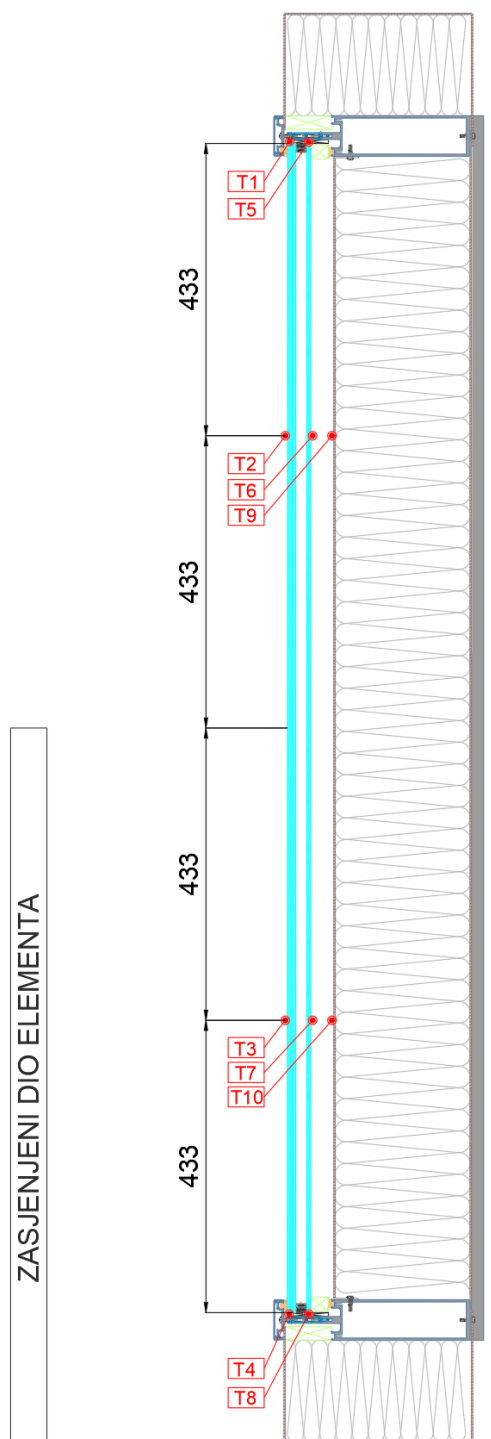
Za ovo ispitivanje postavljene su dodatne sonde na gornji rub stakla te na lim iza stakla, zbog usporedbe točnosti izmjerenih podataka i onih koje se dobiju pomoću računalnih alata. Na element je postavljeno 10 termalnih sondi po sredini elementa gledano okomito na njegovu duljinu, kao što se vidi na slici 33. Visinski položaj sondi ovisi o izloženom i zasjenjenom dijelu elementa te pretpostavci temperaturne raspodjele. Uzimajući u obzir da se sonde jedino mogu pričvrstiti sa vanjske strane izolacijskog stakla, njihov položaj po vertikali i njihove oznake prikazane su tablicom 3 i slikom 34.



Slika 33. Položaj sondi u horizontalnom presjeku

Tablica 3. Oznake i opis položaja sondi po vertikali

Ploča	Oznaka sonde	Opis položaja sonde
Ploča 1 Laminirano staklo	T1	Rub stakla na gornjoj (izloženoj) polovici elementa
	T2	Središnja zona izloženog dijela stakla
	T3	Središnja zona zasjenjenog dijela stakla
	T4	Rub stakla na donjoj (zasjenjenoj) polovici elementa
Ploča 2 Monolitno staklo	T5	Rub stakla na gornjoj (izloženoj) polovici elementa
	T6	Središnja zona izloženog dijela stakla
	T7	Središnja zona zasjenjenog dijela stakla
	T8	Rub stakla na donjoj (zasjenjenoj) polovici elementa
Ploča 3 Alu-lim	T9	Središnja zona izloženog dijela lima
	T10	Središnja zona zasjenjenog dijela lima



Slika 34. Položaj sonde u vertikalnom presjeku

Globalno i difuzno sunčevo zračenje mjeri se istim uređajem koji se montira na vertikalnu plohu elementa tako da prikuplja jednako upadno zračenje kao što je na elementu. Uređaj se tijekom ispitivanja povremeno premještao sa izloženog dijela elementa na zasjenjeni i tako prikupljao podatke za oba zračenja koja se pojavljuju na elementu. Slika 35 prikazuje montirani mjerni uređaj.



Slika 35. Mjerni uređaj zračenja

### 6.3. Tijek ispitivanja

Ispitni uzorak, koji se nalazi na postolju radi lakšeg prijenosa, smješten je van na asfaltnu podlogu. Obzirom na južnu orijentaciju i kretanje sunca, postavljena su sjenila s ciljem da upadne zrake mogu dospjeti na gornju polovicu uzorka, dok donja polovica ostaje u sjeni. Potrebno je napomenuti da zbog dnevne promjene položaja Sunca i velikog incidentnog kuta sunčevih zraka površine izloženog i zasjenjenog dijela nisu jednake, kao što se planiralo pri postavljanju mjernih uređaja. Stoga, prije daljnje analize rezultata treba razmotriti da se maksimalna temperatura na staklenim pločama vrlo vjerojatno neće pojaviti u točkama položaja sonde. Ipak, ona neće biti značajno veća u odnosu na izmjerene temperature. Zbog

nemogućnosti postavljanja većeg broja mjernih sonde, a time i manjka podataka, za mjerodavne vrijednosti uzet će se izmjerene vrijednosti. Postava uzorka i površina zasjenjenog dijela vidi se na slici 36. Veća površina izloženog dijela stakla uzeta je u obzir proračunom u računalnom programu *Bisco*.



Slika 36. Postava uzorka za ispitivanje

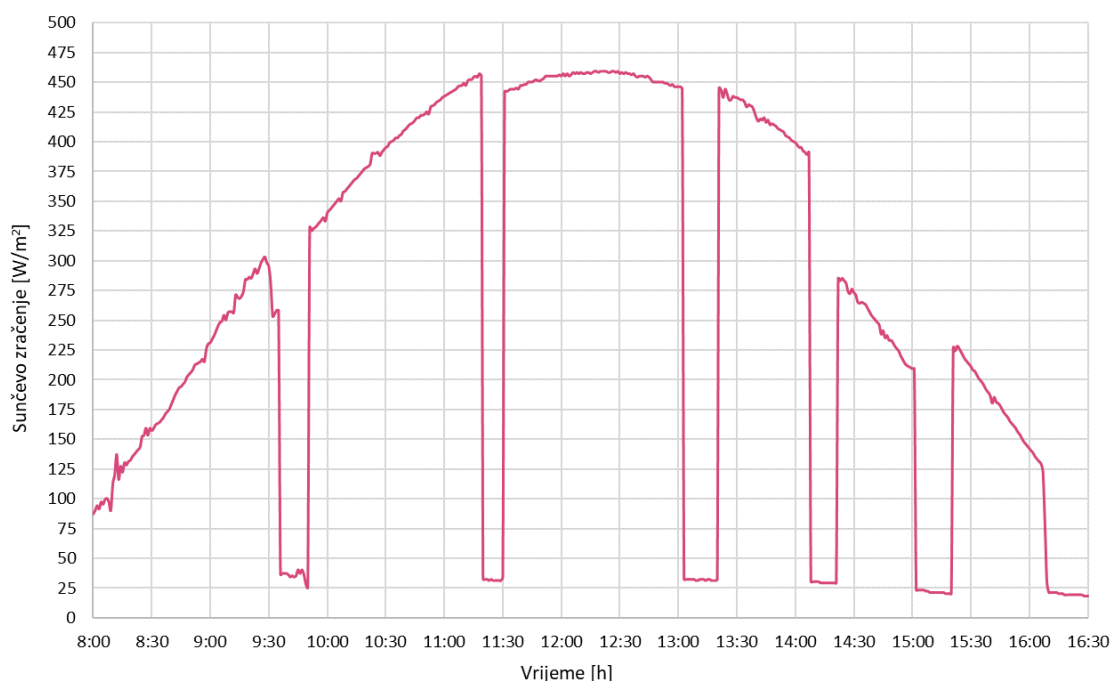
Provođenje ispitivanja trajalo je od 8:00 sati do 16:30 sati. Kroz to vrijeme termalne sonde i mjerač zračenja bilježili su izmjerene podatke svake minute. Uz mjerenje zračenja i temperatura na određenim površinama, također su se pratile vrijednosti temperature zraka i brzine vjetra. Meteorološka stanica, smještena u blizini uzorka, u periodu mjerenja zabilježila je maksimalnu temperaturu zraka od 31°C, a najčešće pojavljivana brzina vjetra bila je oko 6 km/h. Navedeni parametri bit će primijenjeni kao rubni uvjeti u računalnim programima. Podatak maksimalnog zračenja na horizontalnu plohu, potreban za proračun u računalnom programu *Vitrages Decision*, također je preuzet iz meteorološke postaje i iznosi 830 W/m<sup>2</sup>. Potrebno je istaknuti da tijekom ispitivanja nije bilo nikakve naoblake.



## 6.4. Rezultati

Vrijednosti mjerenja globalnog i difuznog zračenja prikazane su na dijagramu 1. Promjena položaja mjeraca s izloženog djela u sjenu izazvala je nagle padove koji se jasno vide na dijagramu. Mjerač je u sjeni zadržan kratko vrijeme, dovoljno dok se mjerene vrijednosti stabiliziraju. Jačina globalnog zračenja evidentno raste prema podnevnim satima kada je zabilježena najveća vrijednost u 12:17 h i iznosi  $459 \text{ W/m}^2$ . Difuzno zračenje nema tako velike promjene tijekom dana, a za proračunsku vrijednost odabire se ona izmjerena blizu vremena pojave najvećeg globalnog zračenja, te iznosi  $32 \text{ W/m}^2$ . Navedene vrijednosti zračenja koristiti će se kao ulazni parametri za proračun u računalnom programu *Bisco*.

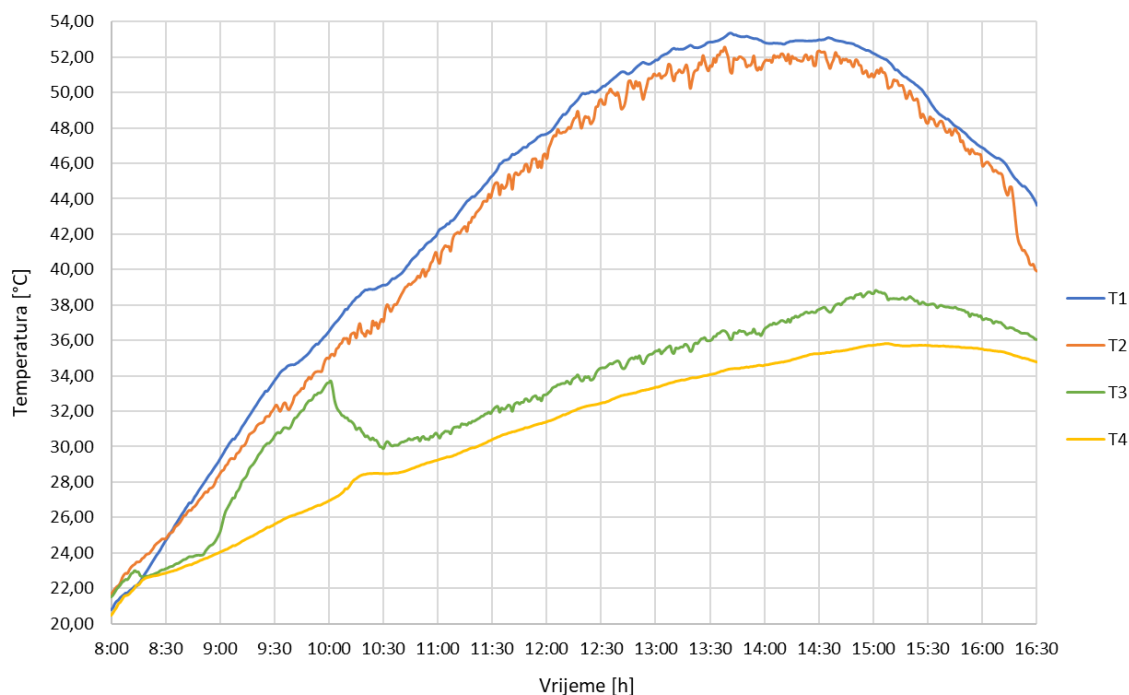
Dijagram 1. Izmjerene vrijednosti globalnog i difuznog zračenja



Sonde postavljene na laminiranom staklu tijekom mjerenja zabilježile su sljedeće temperature prikazane dijagramom 2. Utjecaj vjetra na mjerenje uočljiv je u vidu malih oscilacija od otprilike  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  unutar same krivulje porasta temperature. Ta pojava najviše je izražena na sondama T2 i T3. Također, potrebno je napomenuti da je postavljanje i pomicanje sjenila, kako bi se postigla statična sjena, bilo vrlo kompleksno. U nekim kratkim trenucima tijekom dana sonde T3, T7 i T10 bile su izložene globalnom zračenju, što će se vidjeti na narednim dijagramima u obliku naglog porasta temperature. Ta pojava neće

naročito utjecati pri usporedbi rezultata i analize toplinskog šoka zbog toga što se nije dogodila u periodu pojave maksimalnih temperatura.

Dijagram 2. Izmjerene temperature na laminiranom staklu



Maksimalne izmjerene temperature u točkama promatranja prikazane su u tablici 4. Mala je razlika između najvećih temperatura na gornjem rubu stakla i izloženom dijelu stakla, ali ipak gornji rub stakla podliježe većoj temperaturi. Unatoč suprotnim očekivanjima, pojava veće temperature na gornjem rubu stakla može se objasniti dodatnim zagrijavanjem od crne kape profila, te pojavom konvekcije koja podiže topliji zrak u gornje zone i time utječe na povećanje temperature.

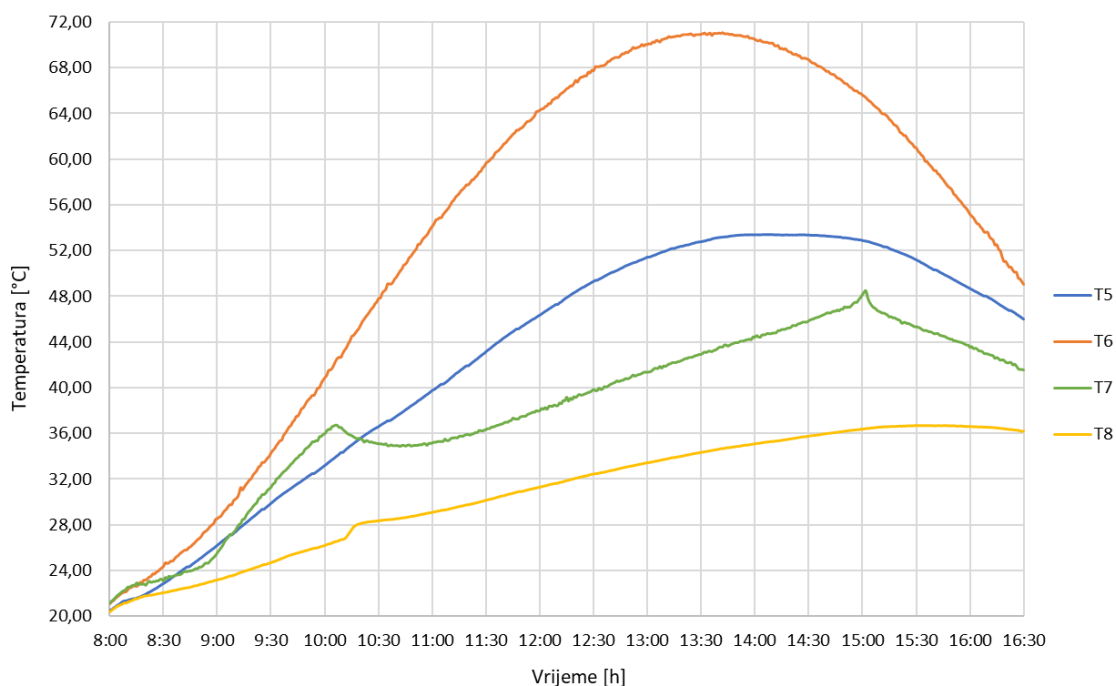
Tablica 4. Maksimalne temperature u mjernim točkama na laminiranom staklu

Ploča	Laminirano staklo			
Oznaka sonde	T1	T2	T3	T4
Maksimalna temperatura [°C]	53,38	52,57	38,82	35,82

Dijagram 3 prikazuje izmjerene temperature na monolitnom staklu. Uočljivo je kako su vrijednosti temperature veće u odnosu na laminirano staklo. Razlog toga je blizina stakla aluminijskom limu koji apsorbira puno energije i dio emitira natrag na staklo, pri čemu se

ono dodatno zagrijava. Također, promatrana staklena ploča nalazi se unutar elementa između dva neventilirana prostora uslijed čega je gubitak topline tog stakla ograničen.

Dijagram 3. Izmjerene temperature na monolitnom staklu



U tablici 5 prikazane su maksimalne izmjerene temperature na monolitnom staklu, a najveća vrijednost zabilježena je na izloženom dijelu stakla.

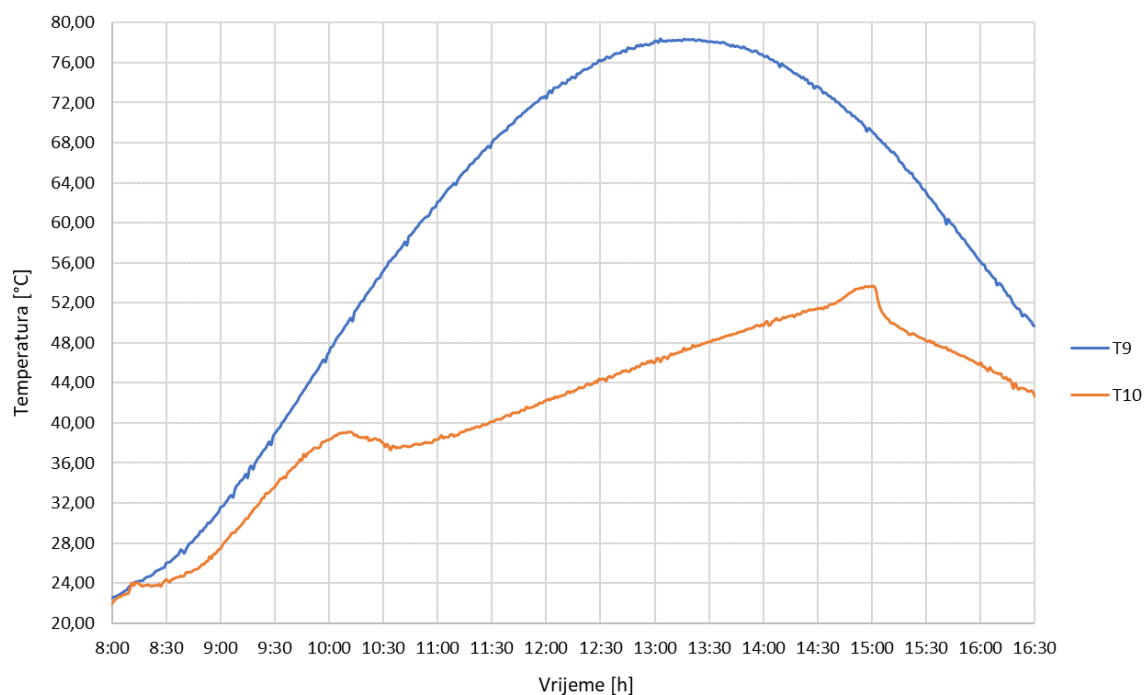
Tablica 5. Maksimalne temperature u mjernim točkama na monolitnom staklu

Ploča	Monolitno staklo			
	T5	T6	T7	T8
Oznaka sonde	T5	T6	T7	T8
Maksimalna temperatura [°C]	53,44	71,03	48,44	36,72

Temperaturne vrijednosti aluminijskog lima evidentirane tijekom ispitivanja prikazane su na dijagramu 4, a maksimalne temperature izdvojene su u tablici 6.



Dijagram 4. Izmjerene temperature na aluminijskom limu



Tablica 6. Maksimalne temperature u mjernim točkama na aluminijskom limu

Ploča	Alu-lim	
Oznaka sonde	T9	T10
Maksimalna temperatura [°C]	78,35	53,69

Navedene maksimalne temperature koristit će se za usporedbu točnosti između izmjerenih vrijednosti i onih izračunatih pomoću programa *Vitrages Decision* i *Bisco*.

Maksimalna temperaturna razlika ne mora se nužno dogoditi istovremeno kada i pojava najveće temperature, stoga su podaci tako i analizirani. Najveća razlika u temperaturi na laminiranom staklu dogodila se između gornjeg i donjeg ruba stakla, dok je kod monolitnog stakla takva vrijednost zabilježena između izloženog dijela stakla i donjeg ruba. Vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika na staklu, prikazanih tablicom 7, bit će korištene za analizu toplinskog šoka.

Tablica 7. Maksimalna temperaturna razlika na staklenim pločama

Ploča	Laminiran staklo	Monolitno staklo
Maksimalna temperaturna razlika $\Delta T$ [°C]	18,99	36,86

## 7. PRORAČUN U PROGRAMU VITRAGES DECISION

*Vitrages Decision* je alat razvijen za izvođenje toplinskih i mehaničkih proračuna na staklenim elementima. Osim za proračun solarnih karakteristika, koeficijenta prolaska topline, naprezanja i deformacija uzrokovanih vjetrom i snijegom, može se koristiti i za proračun temperaturnih razlika u staklu [23]. Pomoću navedenog računalnog programa provest će se analiza promatranog elementa u vidu najvećih temperaturnih razlika koje su nužne za evaluaciju toplinskog šoka. Također, izdvojit će se vrijednosti maksimalnih temperatura radi provjere točnosti proračuna u odnosu na ispitivanje.

### 7.1. Provođenje proračuna

Definiranje elementa započinje odabirom broja ploča i vrste stakla od kojih je sastavljeno izolacijsko staklo. Program omogućuje odabir stakla prema nekoliko proizvođača. Unutar baze podataka nalazi se veliki broj vrsti stakla različitih konfiguracija i različitih solarnih karakteristika. Prikaz odabira *ExtraClear Float* laminiranog stakla zajedno s njegovim solarnim karakteristikama vidi se na slici 37.

N°	Supplier	Name	Ep	Tl	RI1	AI1	RI2	AI2	Te	Re1	Ae1	Emn1	Re2	Ae2	Emn2
25	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 44.6	8	89.3	8.3	2.4	8.3	2.4	72.2	7.1	20.7	89	7.1	20.7	89
26	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 55.1	10	88.9	8.2	2.9	8.2	2.9	75.1	7.2	17.7	89	7.2	17.7	89
27	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 55.2	10	89	8.2	2.8	8.2	2.8	73.9	7.1	19	89	7.1	19	89
28	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 55.3	10	88.9	8.2	2.9	8.2	2.9	72.9	7	20.1	89	7	20.1	89
29	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 55.4	10	88.9	8.2	2.9	8.2	2.9	71.3	7	21.7	89	7	21.7	89
30	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 55.5	10	88.5	8.2	3.3	8.2	3.3	70.7	7	22.3	89	7	22.3	89
31	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 55.6	10	88.7	8.2	3.1	8.2	3.1	70.2	6.9	22.9	89	6.9	22.9	89
32	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 66.1	12	88.5	8.2	3.3	8.2	3.3	73.6	7.1	19.3	89	7.1	19.3	89
33	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 66.2	12	88.7	8.2	3.1	8.2	3.1	72.4	7	20.6	89	7	20.6	89
34	GUARDIAN-EUROPE	ExtraClear® LamiGlass 66.3	12	88.5	8.2	3.3	8.2	3.3	71.5	7	21.5	89	7	21.5	89

Note: The selected pane has no coating

Slika 37. Prikaz odabira stakla

Nakon odabira staklenih ploča potrebno je odrediti debljinu zračnog prostora između njih i njegovu ispunu. Taj prostor može se definirati kao ventilirani, neventilirani i, kao u ovom slučaju, prostor popunjen mješavinom zraka i plemenitog plina u određenom postotku. Odabrana konfiguracija izolacijskog stakla u programu *Vitrages Decision* prikazana je na slici 38.

	Supplier	Designation	Thickness(mm)	Composition
Pane 1	GUARDIAN-EUR	ExtraClear® LamiGlass 66.2	12	6.6 VD
Gas gap	Mixed	Argon 90% - Air 10%	16	
Pane 2	GUARDIAN-EUR	ExtraClear® Float (6mm)	6	Monolithic VD
Total thickness			34	

Slika 38. Konfiguracija izolacijskog stakla

Definirana je dimenzija stakla i nagib od  $90^\circ$  u odnosu na horizontalu. Utjecaj okvira na promjenu toplinskih uvjeta na rubovima stakla uzima se u obzir preko toplinske inercije okvira. Računalni program nudi nekoliko opcija okvira s različitom toplinskom inercijom. Okviri s malom toplinskom inercijom, kao što su PVC i drveni okviri, te okviri koji nisu direktno povezani s glavnom konstrukcijom, brzo će apsorbirati energiju, ali će ju brzo i otpuštati. Okviri s većom toplinskom inercijom, kao što su masivni čelični i aluminijski okviri, te oni povezani sa glavnom konstrukcijom, duže zadržavaju apsorbiranu energiju. U programu je odabran aluminijski okvir koji nije povezan s nikakvom masivnom konstrukcijom što opisuje uvjete ispitnog uzorka i kategorizira okvir manje toplinske inercije.

Nadalje, potrebno je definirati neprovidni dio elementa. Unosi se udaljenost zapreke od stakla, mogućnost ventilacije, boja, te toplinska otpornost zapreke, kao što je prikazano na slici 39.

Opaque spandrel										
Dimensions (mm)			Peripheral gaps (mm)			Thermal resistance (m <sup>2</sup> .K/W)	Colour	Te %	Re %	Em %
Height	Width	Distance	High	Low	Lat					
1732	1070	34	0	0	0	5.73	Calculate	Black	0	10 90

Slika 39. Karakteristike neprovidnog dijela elementa

Toplinska otpornost  $R$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ] računa se prema izrazu (9) :

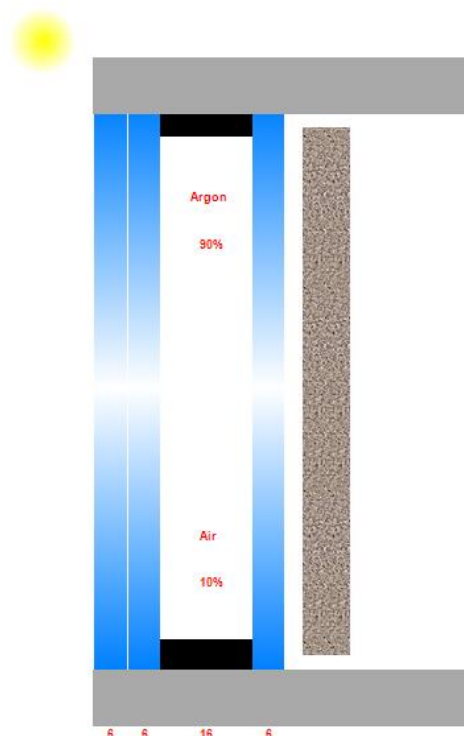
$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (5)$$

pri čemu je  $d$  [m] debljina materijala, a  $\lambda$  [ $\text{W}/\text{mK}$ ] toplinska vodljivost materijala. Izračunata toplinska otpornost izolacijskog panela vidi se na slici 40.

Number of layers in the backup <input type="text" value="3"/>				
Layers	Obstacle nature	Conductivity Thermal ( $\lambda$ ) ( $\text{W}/\text{mK}$ )	Thickness (mm)	Resistance Thermal (R) ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
1	Aluminum alloy	160	2	0.01
2	Glass Wool	0.035	200	5.71
3	Aluminum alloy	160	2	0.01
			Total thickness (mm)	Total R ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ )
			204	5.73

Slika 40. Toplinska otpornost izolacijskog panela

Tako je pripremljen model za proračun koji je ilustrativno prikazan slikom 41.



Slika 41. Ilustrativni prikaz proračunskog modela

Proračun se obično provodi za sva godišnja doba i potrebne ili kritične orijentacije elementa. Budući da se ispitivanje elementa provelo u proljeće s južnom orijentacijom, proračun će se izvršiti prema istim uvjetima kako bi se mogli usporediti rezultati. Sjena se može postaviti samo kao postojeća bez mogućnosti konkretnijih odredbi zasjenjenja, pri čemu se proračun provodi prema kritičnom slučaju statične sjene.

Ovaj alat ima mogućnost odabira nekolicine gradova diljem Europe i Sjeverne Amerike za koje posjeduje bazu podataka klimatskih uvjeta. Budući da će se rezultati uspoređivati s izmjerenima podacima, cilj je postaviti realne parametre koji su se prikupili tijekom ispitivanja.

Unosi se vrijednost zračenja u odnosu na horizontalnu plohu, a program pomoću koeficijenata ovisnim o nagibu elementa računa upadno globalno zračenje. Vrijednost difuznog zračenja računa kao 10% vrijednosti upadnog globalnog zračenja. Zatim se unose koeficijenti konvekcijskog prijenosa topline u ovisnosti brzine vjetra. Koeficijenti su određeni prema normi ISO 6946 u kojoj su dane vrijednosti vanjskih plošnih otpora povezanih sa brzinom vjetra, vidljivih u tablici 8.

Tablica 8. Plošni otpori u ovisnosti brzine vjetra [24]

Brzina vjetra m/s	$R_{se}$ $m^2 \cdot K/W$
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

Za određivanje koeficijenta vanjskog konvekcijskog prijenosa topline  $h_e$  [ $W/m^2K$ ] vrijedi izraz:

$$h_e = \frac{1}{R_{se}}. \quad (6)$$

Zadani klimatski parametri potrebni za proračun prikazani su na slici 42.

Thermal breakage - static calculation			Flux $W/m^2$	$h_e$ $W/m^2 \cdot K$	$h_i$ $W/m^2 \cdot K$	$T_{eMax}$ (°C)	$T_i$ (°C)	$T_{eMin}$ (°C)
South	Spring		830	16.5	16.5	31	31	31

Slika 42. Klimatski parametri

## 7.2. Rezultati

Računalni program *Vitrages Decision* ima mogućnost određivanja maksimalne temperature na dijelovima elementa, ali bez egzaktno spoznaje gdje će se pojaviti maksimalne vrijednosti. Dobiveni rezultati maksimalnih temperatura za proljetno doba i južnu orijentaciju prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Maksimalne temperature na pojedinim dijelovima elementa

Ploča	Laminirano staklo	Monolitno staklo	Alu-lim
Maksimalna temperatura [°C]	70,3	119,5	150,9

Za analizu toplinskog šoka program je izračunao maksimalne temperaturne razlike na staklenim pločama, vidljive u tablici 10. Dobivene vrijednosti u nastavku će se rada usporediti i argumentirati na razini toplinskog šoka i maksimalnih dopuštenih temperaturnih razlika.

Tablica 10. Maksimalna temperaturna razlika na staklenim pločama

Ploča	Laminirano staklo	Monolitno staklo
Maksimalna temperaturna razlika $\Delta T$ [°C]	37,4	84,2

Prema prijašnje objašnjenom postupku pripreme modela za proračun, evidentno je da precizno definiranje konstrukcije i detalja u ovom programu nije moguće. Proračun se provodi samo u jednom smjeru, izvana prema unutra, pri čemu se prijenos topline računa jednodimenzionalno. Kod posebnih slučajeva, kao što je ovaj, proračun je moguć samo u stacionarnom stanju, što znači da se ulazni parametri neće mijenjati tijekom vremena, što u stvarnosti nije tako. Metoda ovakvog proračuna je poprilično brza i jednostavna, ali za specifične konstrukcije rezultati budu vrlo konzervativni [21].

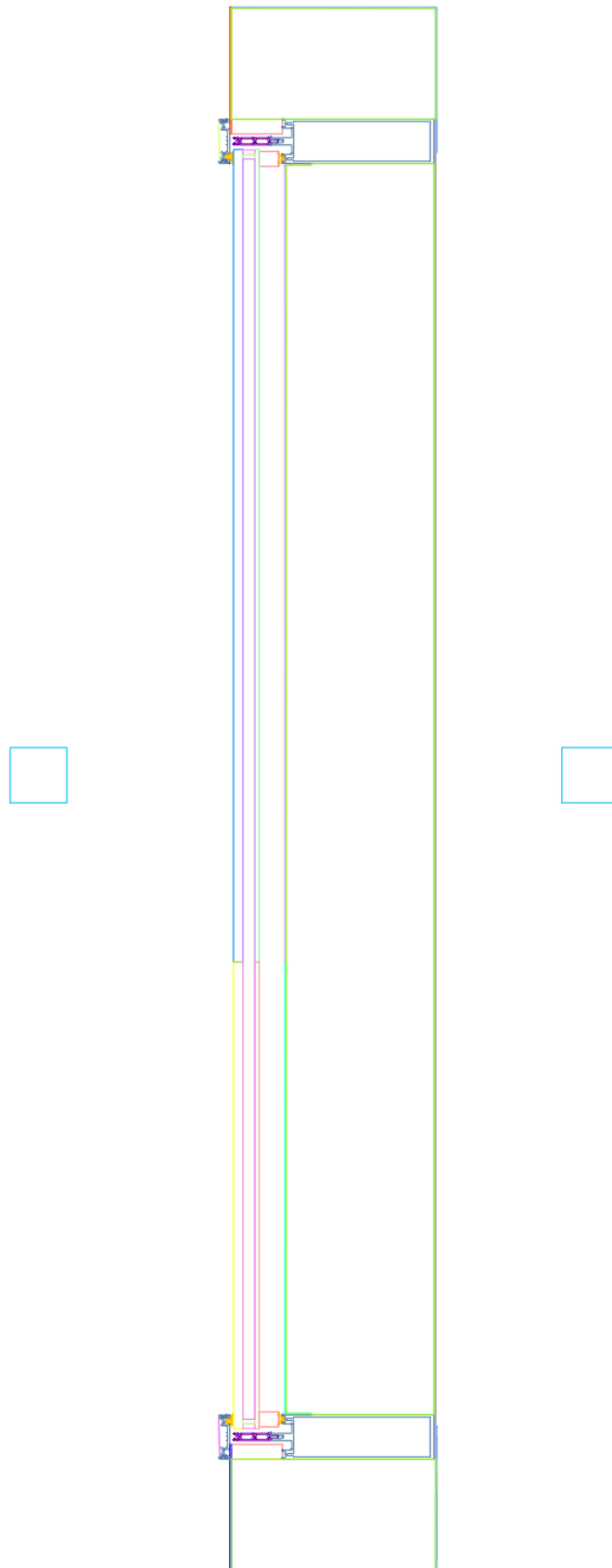
## 8. PRORAČUN U PROGRAMU *BISCO*

*Bisco* je računalni program koji se upotrebljuje pri toplinskoj analizi tako da računa dvodimenzionalni prijenos topline pri stacionarnom stanju. Vrlo je koristan za analizu prozora i vrata, toplinskih mostova, građevinskih komponenata i elemenata, te gubitaka topline kroz zidove od opeke i tla [25]. Ovaj alat primijenit će se za toplinski proračun ispitnog uzorka u svrhu usporedbe rezultata i mjerenja, te radi analize maksimalnih temperaturnih razlika zbog moguće pojave toplinskog šoka.

### 8.1. Provođenje proračuna

Priprema modela započinje uporabom pomoćnog programa kao što je *AutoCAD*. Njegovom primjenom definira se geometrija modela u obliku 2D nacrtu DXF formata. Prilikom crtanja važno je koristiti polilinije kako bi se u daljnjem postupku mogao formirati proračunski model. Slojevi unutar *AutoCAD*-a koriste se za lakše definiranje materijala i rubnih uvjeta. Svaki materijal i rubni uvjet potrebno je naznačiti drugim slojem.

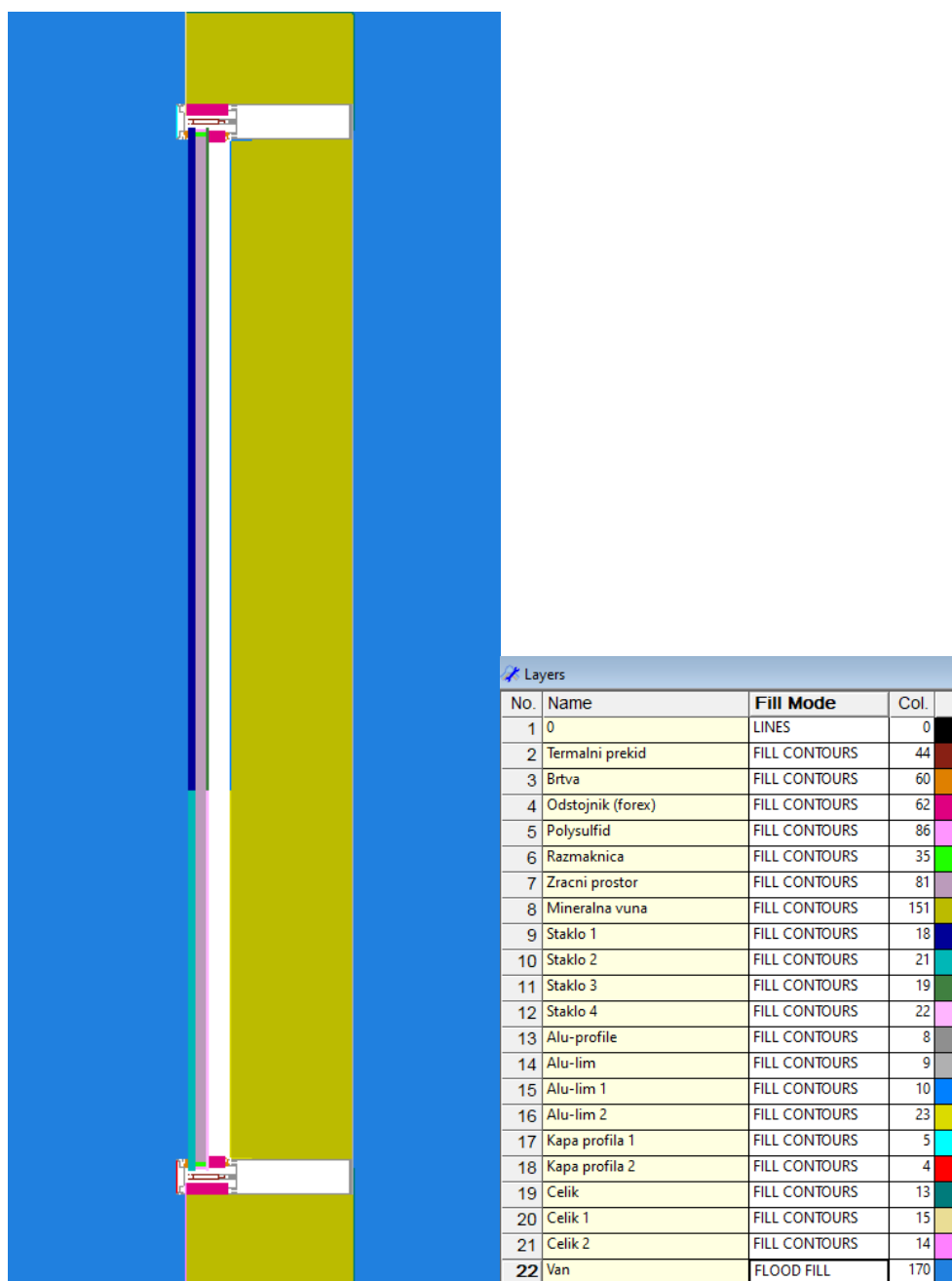
Slika 43 prikazuje pripremu DXF nacrtu promatranog elementa. Materijali se označuju različitim slojevima kako bi im se kasnije mogla dodijeliti pripadajuća toplinska svojstva. Kao što je vidljivo na slici, neki materijali istih značajki označeni su različitim slojevima. Razlog tome je način definiranja utjecaja sunčevog zračenja na pojedine plohe. Stoga će pojedine staklene ploče biti označene različitim slojevima zato što ne apsorbiraju jednaku količinu zračenja. Također, stakla i pozadinski aluminijski lim podijeljeni su na dio koji je izložen globalnom sunčevom zračenju i dio koji je zasjenjen. Plavi kvadratići na slici predstavljaju oznaku okolnih uvjeta koji će se u nastavku definirati.



Slika 43. Priprema DXF nacrt



*Bisco* ima alat, *BiscoDXF*, pomoću kojeg pretvara nacrt DXF formata u *bitmap*. *Bitmap* je ulazna obojana slika potrebna za proračun u računalnom programu *Bisco*. Svaka boja u *bitmapu* povezana je s određenim materijalom i njegovim toplinskim značajkama. Na slici 44 može se vidjeti povezivanje prijašnje postavljenih slojeva u *AutoCADu* s bojom i načinom ispune. Naime, kako je već objašnjeno, neki materijali istih značajki definirani su različitim bojama, što ih trenutno povezuje s materijalima različitih toplinskih svojstava. To će se korigirati na način podešavanja toplinskih svojstava za određenu boju.

Slika 44. *Bitmap*

Unutar programa *Bisco* materijali su definirani pomoću toplinske vodljivosti  $\lambda$ . Šupljine koje su na slici 44 prikazane bijelom bojom, zamjenjuju se ekvivalentnim materijalom za koji program računa ekvivalentnu toplinsku vodljivost prema normama EN ISO 10077-2 i EN ISO 6946. Vanjski uvjeti zadaju se pomoću temperature zraka i koeficijenta konvekcijskog prijenosa topline određenog kao i u prijašnjem proračunu. Slika 45 prikazuje korigirani popis materijala i njihovih toplinskih vodljivosti zajedno sa definiranim vanjskim uvjetima.

Col.	Type	Subtype	Physical flow dir.	Geometrical flow dir.	Name	$\epsilon_1 / \epsilon_2$ [- / -]	$\lambda$ [W/mK]	$\epsilon$ [-]	$\theta$ [°C]	$h$ [W/m²K]
4	MATERIAL				aluminium		160.000			
5	MATERIAL				aluminium		160.000			
8	MATERIAL				aluminium		160.000			
9	MATERIAL				aluminium		160.000			
10	MATERIAL				aluminium		160.000			
13	MATERIAL				steel		50.000			
14	MATERIAL				steel		50.000			
15	MATERIAL				steel		50.000			
18	MATERIAL				soda lime		1.000			
19	MATERIAL				soda lime		1.000			
21	MATERIAL				soda lime		1.000			
22	MATERIAL				soda lime		1.000			
23	MATERIAL				aluminium		160.000			
35	MATERIAL				spacer		0.150			
44	MATERIAL				polyamide 6.6 with 25 % glass fibre		0.300			
60	MATERIAL				EPDM		0.250			
62	MATERIAL				purenit		0.075			
81	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	air space	0.90 / 0.90	0.093			
86	MATERIAL				polysulfide		0.400			
151	MATERIAL				insulation 0.035 W/mK		0.035			
170	BC_SIMPL	NIHIL			exterior				31.0	16.50
192	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.039			
193	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.750			
194	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.049			
195	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.059			
196	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.232			
197	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.072			
198	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.074			
201	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.041			
203	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.197			
204	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.750			
205	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.041			
207	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.059			
208	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.232			
209	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.072			
210	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.074			
213	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.049			
214	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90	0.039			
252	MATERIAL				cavity <2x2 mm2		0.031			

Slika 45. Popis materijala i rubnih uvjeta

Naposljetku potrebno je dodati utjecaj sunčevog zračenja na element. Vrijednosti globalnog i difuznog sunčevog zračenja, koje su preuzete iz mjerenja, potrebno je raspodijeliti obzirom na apsorpcijska svojstva pojedinih dijelova elementa. Pri tome je neophodno znati iznose faktora apsorpcije za pojedina stakla i pozadinski aluminijski lim u ovakvom sklopu. Navedene vrijednosti preuzete iz rezultata proizašlih proračunom u *Vitrages Decisionu* i prikazane su na slici 46. Vrijednosti su izračunate prema normi EN 410. Zračenje se također

nanosi na crnu aluminijsku kapu profila i pocinčani lim. Vrijednosti tih faktora uzete su prema preporuci iz norme NF DTU 39 i iznose  $a=0,9$  za crnu aluminijsku kapu i  $a=0,5$  za pocinčani lim [26].

#### Glazing + Obstacle

Solar global characteristics:

Transmittance: 0,00

Reflectance: 0,15

Absorption (Glazing + Obstacle): 0,85

Effective absorption - Pane 1: 0,2331

Effective absorption - Pane 2: 0,0631

Absorption - Opaque spandrel: 0,5546

Slika 46. Vrijednosti apsorpcijskih faktora

Vodeći računa o faktorima apsorpcije te djelovanju globalnog i difuznog sunčevog zračenja, računa se djelotvorna vrijednost zračenja i nanosi na pojedinu plohu. Ta ploha je u programu definirana kao granična ploha između dvaju materijala. Na slici 47 prikazane su vrijednosti zračenja koje djeluju na pojedine plohe omeđene pojedinim materijalima.

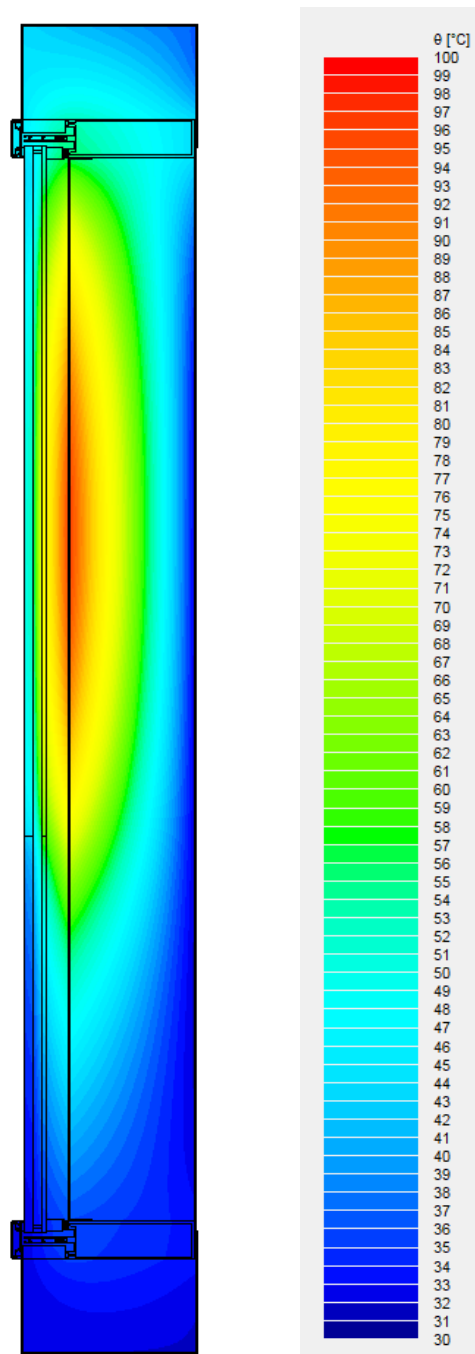
Za bolje razumijevanje objasniti će se prva stavka na slici 47. Između boje 170, koja predstavlja vanjske uvjete, i boje 18, koja predstavlja laminirano staklo izloženo globalnom sunčevom zračenju, formira se ploha neposredno do staklene površine. Množenjem faktor apsorpcije koji za laminirano staklo iznosi 0,2331 i globalnog sunčevog zračenja u iznosu od  $459 \text{ W/m}^2$  dobiva se djelotvorna vrijednost zračenja na definiranoj plohi.

No.			Col.1	Col.2	Type	? [°C]	q [W/m2]
1			170	18	FLUX		106.993
2			170	21	FLUX		7.459
3			81	19	FLUX		28.963
4			81	22	FLUX		2.019
5			203	10	FLUX		254.561
6			203	23	FLUX		17.747
7			170	5	FLUX		413.1
8			170	4	FLUX		28.8
9			170	15	FLUX		229.5
<b>10</b>			170	14	FLUX		<b>16</b>

Slika 47. Vrijednosti Sunčevog zračenja na pojedine plohe elementa

## 8.2. Rezultati

Proračunom u programu *Bisco* dobivena je termalna slika elementa prikazana na slici 48. Na termalnoj slici pomoću pokazivača moguće je očitati temperaturu u bilo kojoj točki. *Bisco* također izdvaja minimalne i maksimalne temperature pojedinih materijala.



Slika 48. Termalna slika elementa

S termalne slike očitane su temperature u točkama položaja mjernih sonde radi usporedbe vrijednosti dobivenih ispitivanjem i proračunom u *Biscu*. Očitane temperature u točkama provjere na pojedinim dijelovima elementa prikazane su u tablicama 11, 12 i 13.

Tablica 11. Temperature u točkama provjere na laminiranom staklu

Ploča	Laminirano staklo			
Točka provjere u odnosu na položaj sonde	T1	T2	T3	T4
Temperatura [°C]	46,48	50,34	36,41	32,76

Tablica 12. Temperature u točkama provjere na monolitnom staklu

Ploča	Monolitno staklo			
Točka provjere u odnosu na položaj sonde	T5	T6	T7	T8
Temperatura [°C]	51,86	75,14	46,03	34,23

Tablica 13. Temperature u točkama provjere na aluminijskom limu

Ploča	Alu-lim	
Točka provjere u odnosu na položaj sonde	T9	T10
Temperatura [°C]	92,71	54,35

Obzirom da se maksimalne temperature na staklenim pločama nisu pojavile u točkama položaja sonde, za analizu toplinskog šoka i usporedbu maksimalnih temperatura, mjerodavne će biti minimalne i maksimalne temperature koje je izdvojio program. Te vrijednosti prikazane su u tablici 14.

Tablica 14. Minimalne i maksimalne temperature pojedinih dijelova elementa

Ploča	Laminirano staklo	Monolitno staklo	Alu-lim
Minimalna temperatura [°C]	32,66	34,14	35,61
Maksimalna temperatura [°C]	53,04	77,61	96,11

Prema navedenom, iznos maksimalne temperaturne razlike pojedinih staklenih ploča prikazan je u tablici 15.

Tablica 15. Maksimalna temperaturna razlika na staklenim pločama

Ploča	Laminirano staklo	Monolitno staklo
Maksimalna temperaturna razlika $\Delta T$ [°C]	20,38	43,47

Pomoću računalnog programa *Bisco* može se postići preciznija definicija modela. Kako postupak pripreme i proračuna objašnjava, moguće je definirati sve detalje konstrukcije, sa svim materijalima i njihovim toplinskim karakteristikama. Isto tako moguće je postaviti parametre tako da opisuju okolni utjecaj na konstrukciju. Takvim detaljnim modelom direktno se utječe na prijenos i raspodjelu topline koja se u ovom programu računa dvodimenzionalno pomoću metode konačnih elemenata.

Ovakva metoda zahtijeva više vremena za pravilnu primjenu. Potrebno je ispravno definirati model i postaviti mu odgovarajuće rubne uvjete, što iziskuje puno vremena. Usprkos tome, za posebne slučajeve, kao što je ovaj, takva metoda pokazala se kao dobar pristup problemu. Uzimajući u obzir utjecaj materijala na toplinsku distribuciju i sami način proračuna u dva smjera, ova metoda daje rezultate puno bliže stvarnosti.

## 9. ANALIZA REZULTATA

Analiza rezultata provodi se na dvije razine. Jedna će biti usporedba obzirom na vrijednosti izmjerenih i proračunatih maksimalnih temperatura u svrhu procjene točnosti izračuna programa. Druga će se razina odnositi na analizu pojave toplinskog šoka u staklu.

Budući da *Bisco* ima mogućnost očitavanja temperature u bilo kojoj točki, dodat će se usporedba između izmjerenih i proračunatih vrijednosti temperature u točkama položaja mjernih sondi.

### 9.1. Usporedba ispitivanja i proračuna

#### 9.1.1. Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti maksimalnih temperatura

Maksimalne temperature dobivene ispitivanjem te proračunom u programima *Vitrages Decision* i *Bisco* prikazane su u tablici 16.

Tablica 16. Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti maksimalnih temperatura

Ploča		Laminirano staklo	Monolitno staklo	Alu-lim
Maksimalna temperatura [°C]	Mjerenje	53,38	71,03	78,35
	Vitrages Decision	70,3	119,5	150,9
	Bisco	53,04	77,61	96,11

Vidljivo je kako su vrijednosti dobivene pomoću računalnog programa *Vitrages Decision* znatno veće od onih izmjerenih. Nekoliko je razloga koji utječu na takve rezultate: oskudna definicija elementa, konkretno, nemogućnost definiranja svih materijala i njihovih toplinskih značajki. Ipak, najveći utjecaj imat će način proračuna. Budući da se radi o jednodimenzionalnom proračunu pri stacionarnom stanju, program u proračun ulazi s maksimalnim vrijednostima postavljenih parametara i linijski računa prijenos topline kroz element. Takvim načinom proračuna dobit će se rezultati koji poprilično odstupaju od realnih vrijednosti.

Nasuprot tome, računalni program *Bisco* ima mogućnost detaljne definicije elementa sa svim materijalima i njihovim toplinskim karakteristikama, što omogućuje realniju toplinsku raspodjelu. Prijenos topline računa se dvodimenzionalno pri stacionarnim uvjetima. Uočljivo je da se pri takvom proračunu dobiju vrijednosti maksimalnih temperatura na staklenim pločama koje se vrlo malo razlikuju od onih izmjerenih.

Postoje još neki faktori koji u malim razmjerima mogu utjecati na pojavu razlika između izmjerenih i proračunatih podataka. Njih je teško kontrolirati i obuhvatiti ovakvim proračunima. Faktori će se bolje moći pojasniti pri usporedbi izmjerenih i proračunatih vrijednosti u točkama položaja sonde.

### 9.1.2. Usporedba izmjerenih podataka i rezultata iz programa *Bisco*

Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti temperatura u točkama položaja sonde poslužit će za navođenje faktora koji mogu dodatno utjecati na razliku između rezultata. Navedene vrijednosti temperatura nalaze se u tablici 17.

Tablica 17. Usporedba izmjerenih i proračunatih vrijednosti temperatura u točkama provjere

Ploča		Laminirano staklo				Monolitno staklo				Alu-lim	
Točka provjere		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Temperatura [°C]	Mjerenje	53,38	52,57	38,82	35,82	53,44	71,03	48,44	36,72	78,35	53,69
	<i>Bisco</i>	46,48	50,34	36,41	32,76	51,86	75,14	46,03	34,23	92,71	54,35

Izmjerene temperature će u većini točaka biti veće u odnosu na ona proračunate. Obrnuta situacija jedino će se dogoditi na monolitnom staklu u točki T6 i na aluminijskom limu u točkama T9 i T10. Iako se javlja mala razlika između temperatura, potrebno je razmotriti faktore koji na to mogu utjecati. Koeficijenti transmisije, apsorpcije i refleksije izračunati su prema normi EN 410. U stvarnosti će se vrijednosti koeficijenata u nekoj mjeri ipak razlikovati ovisno o materijalu. Tome pripisujemo povećane vrijednosti temperature na limu. Posljedično, veća temperatura lima utjecat će na vrijednosti temperature na monolitnom staklu. Ostale vrijednosti koje su veće u odnosu na proračun mogu nastati uslijed kombinacije nekoliko faktora. Konvekcija je komplicirana pojava koju programi kao takvu ne mogu uzeti u obzir, a zbog toga se u stvarnosti može pojaviti veća temperatura u gornjem



predjelu elementa zbog podizanja toplijeg zraka u više slojeve. Temperatura zraka i brzina vjetra nisu mjereni neposredno uz ispitni uzorak, stoga može postojati razlika obzirom na poziciju uzorka u prostoru. Zagrijavanje okolnog pocinčanog lima može djelovati na zagrijavanje rubova stakla preko profila. Također, treba razmisliti o dodatnom zagrijavanju stakla zbog blizine sjenila.

Za buduće slične radove navedeni faktori bi se mogli bolje analizirati i na neki način uvrstiti u proračun.

Povrh svega navedenog, prijenos topline u stvarnosti se odvija i u trećoj dimenziji. Tako da je vrlo teško konkretno usporediti trodimenzionalni dinamički proces i dvodimenzionalni statički proračun. Upravo zbog toga će uvijek postojati razlike u rezultatima, ali je vrlo zanimljivo vidjeti kako se dobrom definicijom modela i pravilnim postavljanjem parametara i rubnih uvjeta mogu dobiti veoma slični rezultati u odnosu na ispitivanje.

## 9.2. Analiza toplinskog šoka

Kako je već prije objašnjeno, uslijed pojave različitih temperatura na staklu javljaju se vlačna naprezanja, zbog toga što se topliji dio stakla širi, a hladniji dio stakla se odupire tom širenju. Ukoliko toplinska naprezanja budu veća od vlačne čvrstoće stakla, doći će do loma. Stoga se prema izrazu (4), evaluacija toplinskog šoka odnosi na dopuštene vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika koje se smiju pojaviti u staklu, bez nastajanja loma.

Ova provjera je vrlo važna zbog mogućnosti narušavanja sigurnosti koja se može pojaviti prilikom loma stakla. Provjera se uobičajeno provodi za sva godišnja doba kako bi se mogla utvrditi otpornost elementa na toplinski šok. Zbog ograničenih mogućnosti ispitivanje se provodilo u proljeće, što je zatim usklađeno s proračunima kako bi se rezultati mogli preciznije usporediti.

Vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika dobivenih mjerenjem i proračunom pomoću različitih alata prikazane su u tablici 18.

Tablica 18. Maksimalne temperaturne razlike

Ploča		Laminirano staklo	Monolitno staklo
Maksimalna temperaturna razlika $\Delta T$ [°C]	Mjerenje	18,99	36,86
	Vitrages Decision	37,4	84,2
	Bisco	20,38	43,47

Dopuštene temperaturne razlike koje se smiju pojaviti na staklu koje nije dodatno toplinski obrađeno prikazane su u tablici 19. Za slučajeve monolitnog i laminiranog simetričnog stakla grube obrade ruba, nagiba elementa od 90° i pojave sjene, dopuštena temperaturna razlika iznosi 42 °C.

Tablica 19. Dopuštena temperaturna razlika na staklu bez dodatne toplinske obrade [26]

Glass type	Support sure	With drop shadow			Without drop shadow		
		$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$	$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$
• shaped monolithic • shaped symmetrical laminate, with all components $\geq 4$ mm	Periphery	42	38	34	48	43	38
	Other	34	28	21	38	31	24
• rough cut monolithic • raw symmetrical laminated cut, with all components $\geq 4$ mm • laminated, symmetrical shaped, with one component $\leq 3$ mm • shaped unsymmetrical laminated	Periphery	35	32	28	40	36	32
	Other	28	23	18	32	26	20
• raw cut print or fashioned	Periphery	32	29	25	36	32	29
	Other	25	21	16	29	23	18
• non-symmetrical laminated raw from chopped off • raw-cut laminate, with a of components $\leq 3$ mm • symmetrical sawn laminate, with all components $\geq 4$ mm	Periphery	26	24	21	30	27	24
	Other	21	17	13	24	19	15
• unsymmetrical sawn laminate	Periphery	25	22	20	28	25	22
	Other	20	16	12	22	18	14
• armed	Periphery	23	20	18	25	23	20
	Other	18	15	11	20	17	13

Vidljivo je kako izmjerene vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika ne premašuju dopuštene vrijednosti niti za jedno od promatranih staklenih ploča, pri čemu nema opasnosti od pojave loma. To je ispitivanjem i dokazano jer se niti na jednom staklu nisu pojavile nikakve pukotine.

Rezultati dobiveni proračunom u računalnom programu *Vitrages Decision* nalažu da će dopuštene vrijednosti maksimalnih temperaturnih razlika biti prekoračene na monolitnom staklu što bi zahtijevalo promjenu konfiguracije elementa ili najčešće odabir stakla koje je

dodatno toplinsko obrađeno i ima veću vlačnu čvrstoću. Usporedbom s ispitivanjem vidljivo je da rezultati poprilično odstupaju. Razlozi takvih odnaka od realnih vrijednosti već su ranije objašnjeni. Stoga, uporaba ovog programa ipak je ograničena na proračune jednostavnih elemenata, što prikazuju vrlo konzervativni rezultati za zahtjevnije slučajeve kao što je ovaj.

Rezultati dobiveni računalnim programom *Bisco* bliži su stvarnim vrijednostima koje se pojavljuju tijekom ispitivanja. Ipak, maksimalne vrijednosti temperaturnih razlika na monolitnom staklu premašuju dopuštene vrijednosti za svega 1,5 °C. Iako je ta premašena vrijednost vrlo mala i vjerojatno neće doći do pojave loma na staklu, prema normi je potrebno napraviti promjene kako bi temperaturne razlike ostale u okviru dopuštenih vrijednosti. Također, prema ispitivanju vidi se da promjene nisu potrebne, ali to je u praksi teško dokazati kod ovakvih malih odstupanja, pogotovo zato što obično proračuni nisu potkrijepljeni ispitivanjem.

Ovakvom usporedbom i analizom podataka ne samo da se provodi provjera dopuštenih temperaturnih razlika i mogućnost pojave loma, već se analiziraju podudarnosti proračuna i ispitivanja. Usporedba podataka vrlo je važna kako bi se mogao donijeti zaključak o prihvatljivosti uporabe pojedinog računalnog programa za ovakav slučaj problema. Nije uvijek moguće provođenje ispitivanja, stoga je vrlo važno poznavati ograničenja računalnih programa, pri čemu je ključno znati pravilo definirati model i ulazne parametre kako bi dobiveni rezultati bili što bliži stvarnosti.

## 10. ZAKLJUČAK

Staklo je materijal koji se koristi još od daleke povijesti, a moderni život nezamisliv je bez njega. Zbog svog izgleda i karakteristika, sve se češće koristi u građevinarstvu u funkciji fasada, staklenih zidova, ograda, podova itd. Zbog svoje strukture i načina proizvodnje, stakla koja nisu naknadno toplinski obrađena imaju puno manju vlačnu čvrstoću u odnosu na tlačnu čvrstoću. Upravo to ih čini osjetljivima na pojavu toplinskog šoka.

Toplinski šok karakterizira pojava temperaturne razlike na staklenoj ploči pri čemu se u staklu javljaju toplinska naprezanja. Na primjer, kada je jedan dio stakla izložen sunčevom zračenju, on se posljedično širi, a dio stakla koji je u sjeni opire se širenju i razvija vlačna naprezanja. Ukoliko su naprezanja veća od vlačne čvrstoće stakla, doći će do loma. Vlačna čvrstoća stakla uvelike ovisi o stanju oštećenja ruba i površine stakla koja se mogu pojaviti tijekom obrade, rukovanja i transporta.

U ovom radu promatran je fasadni element, takozvani *shadow box*. Takav neprovidni element koristi se u sustavu fasada kako bi se sakrili potrebni dijelovi konstrukcije, a opet postigao kontinuitet fasade. Također je pogodan za postizanje dojma dubine i različitih vizualnih efekata. Promatrani element će zbog svoje ranije objašnjene konfiguracije biti podložan većem zagrijavanju uslijed smanjene mogućnosti prijenosa topline na unutarnju stranu zgrade. Uz uvjet statičkog zasjenjenja donje polovice elementa, dodatno se potiču vlačna naprezanja, pri čemu postoji mogućnost loma stakla zbog velikih temperaturnih razlika. Za ovaj rad izrađen je uzorak *shadow boxa* koji se ispituje u svrhu analize dozvoljenih toplinskih naprezanja u staklu.

Ispitivanje je provedeno u proljeće s vertikalnim nagibom elementa i južnom orijentacijom, te uvjetom zasjenjenja donjeg dijela elementa. Mjerni uređaji bilježili su temperature u nekoliko točaka na elementu. Toplinska naprezanja u staklu ovise o maksimalnoj temperaturnoj razlici, pa se izmjereni podaci analiziraju obzirom na dopuštene temperaturne razlike propisane normom NF DTU 39. Analiza rezultata maksimalnih temperaturnih razlika dobivenim ispitivanjem pokazala je da pri zadanim uvjetima neće doći do opasnosti loma niti jedne ploče stakla. Osim ispitivanja provodi se proračun pomoću dva računalna programa, *Vitrages Decision* i *Bisco*.

U oba programa definira se model obzirom na konfiguraciju ispitnog uzorka i unose se parametri vanjskih utjecaja koji su djelovali na element tijekom ispitivanja.

*Vitrages Decision* je alat koji prijenos topline računa jednodimenzionalno pri stacionarnom stanju. Također nema mogućnost detaljne definicije modela, što za posljedicu ima vrlo konzervativne rezultate. Maksimalne temperaturne razlike dobivene ovakvim proračunom znatno su veće od onih izmjerenih, pri čemu su na monolitnom staklu premašene dopuštene vrijednosti temperaturnih razlika. Time program implicira da se monolitno staklo treba dodatno toplinski obraditi ili zamijeniti za ono s većom vlačnom čvrstoćom.

*Bisco* prijenos topline računa dvodimenzionalno pri stacionarnim uvjetima. Uslijed takvog proračuna i mogućnosti detaljne definicije modela, dobivaju se vrijednosti temperaturnih razlika koje su puno bliže vrijednostima dobivenim ispitivanjem. No ipak, na monolitnom staklu premašuje se dopuštena vrijednost temperaturnih razlika. Iako je riječ o maloj vrijednosti koja premašuje dopuštenu, promjena stakla je, obzirom na propise, neophodna.

Analiza maksimalnih temperaturnih razlika pokazala je da će oba programa dati vrijednosti koje su na strani sigurnosti i zbog kojih se zahtjeva dodatna toplinska obrada ili promjena monolitnog stakla. Zbog takvih konzervativnih rezultata u praksi se toplinski obrađuju stakla koja nije nužno potrebno obrađivati. Zato postoji mjesta za napredak u tom području kako bi se racionalizirala gradnja, smanjio utrošak energije proizvodnje, te sačuvao okoliš.

U radu se provodi i usporedba rezultata maksimalnih temperatura dobivenih ispitivanjem i proračunom u navedenim programima. Ta usporedba provodi se zbog boljeg shvaćanja rada programa i procjene njihovih uporabivosti za analizu ovakvog elementa. Treba napomenuti da će se neka odstupanja uvijek pojaviti, obzirom da se radi o svođenju dinamičkog procesa prijenosa topline u elementu na 2D statički proračun. Shodno tome, važno je znati minimizirati ta odstupanja, a to se postiže pravilnim definiranjem modela i rubnih uvjeta. Ovom usporedbom zaključuje se da proračun pomoću alata *Vitrages Decision* nije dostatan za ovakav slučaj elementa jer daje rezultate koji se previše razlikuju od stvarnosti. *Bisco* će se pokazati kao program koji će dati dovoljno bliske rezultate u odnosu na stvarnost.

Naravno, za analizu toplinskog šoka u staklu, najtočniji rezultati dobivaju se ispitivanjem. No provođenje ispitivanja u većini je slučajeva nemoguće i zahtjeva puno vremena i resursa. Kada bi se proračunom htjeli postići još točniji rezultati, mogao bi se provesti dinamički proračun u 3D programu kao što je na primjer *Voltra*. No takvi proračuni su kompliciraniji i iziskuju puno vremena za pravilno modeliranje problema. Također, takvi računalni programi su poprilično skupi. Iz tih razloga se pri provjeri otpornosti stakla na toplinske utjecaje oslanja na jednostavnije programe koji su konzervativniji.

## 11. LITERATURA

- [1] Hess R., Material Glass, Structural Engineering International, Vol. 14, Issue 2, str. 76-79, 2004.
- [2] Staklo, <https://tehnika.lzmk.hr/staklo/>, pristup 04.09.2022.
- [3] Staklo, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=57714>, pristup 01.09.2022.
- [4] Buljan N., Materijali za staklene konstrukcije – mehanička svojstva, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Opatija, 2016.
- [5] Hajdinjak R., Gradimo staklom, REFLEX d.o.o., Podgrad, Slovenija, 2009.
- [6] Float staklo, <https://ilsad.hr/proizvodi/stakla/float-staklo/#>, pristup 10.09.2022.
- [7] Laminirano staklo, <https://korak.com.hr/laminirano-sigurnosno-staklo-u-graditeljstvu/>, pristup 14.09.2022.
- [8] Laminirano staklo, <https://ilsad.hr/proizvodi/stakla/sigurnosno-staklo/laminirano-staklo/>, pristup 14.09.2022.
- [9] Gere T., Kožar I., Osnovna svojstva stakla kao konstrukcijskog materijala i norme u primjeni, Građevinar, Vol. 60, str. 1043-1054, 2008.
- [10] Think4home prozori, <https://think4home.hr/product/eurolok-68-historic/>, pristup 07.10.2022.
- [11] Šimetin Vladimir, Zgrada i energija, Fronta Impres, Zagreb, 2020.
- [12] Galović Antun, Termodinamika II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [13] Kožar Ivica, Toplina, Interna skripta kolegija Fizika zgrade, 2022.
- [14] Saint-Gobain Building Glass UK, Thermal stress – documents, 2018.
- [15] Research Gate, Thermal conductivity, [https://www.researchgate.net/figure/Thermal-conductivity-of-air-argon-and-oxygen-at-different-temperatures\\_fig9\\_332045398](https://www.researchgate.net/figure/Thermal-conductivity-of-air-argon-and-oxygen-at-different-temperatures_fig9_332045398), pristup 20.10.2022.
- [16] Konvekcijsko strujanje, <https://hotcore.info/babki/convection-currents-in-a-room.htm>, pristup 12.10.2022.
- [17] Vengatesan Karthik, Windows Film to Glass: Numerical simulation software for avoiding thermal stress, Technico Lisboa, 2017.
- [18] Super spacer, <https://www.windowtownofsoutherntier.com/super-spacer/#>, pristup 15.10.2022.
- [19] Super spacer, <https://www.quanex.com/products/residential-window-super-spacer-premium/>, pristup 15.10.2022.

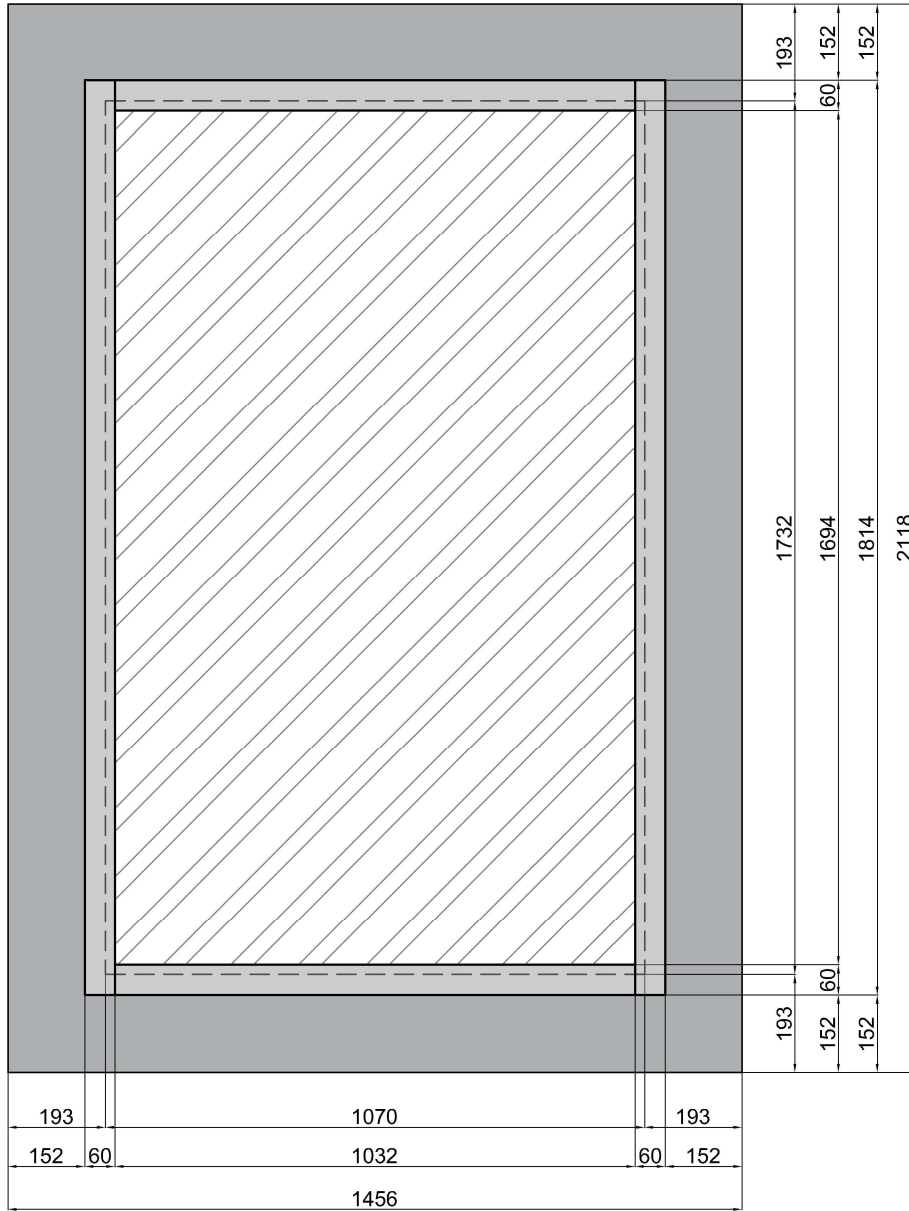
- [20] Fine art america, shadow box, <https://fineartamerica.com/featured/colorful-windows-on-modern-apartment-block-ken-biggs.html>, pristup 11.10.2022.
- [21] Polakova M., Schafer S., Elstner M., Thermal Glass Stress Analysis – Design Considerations, AGC glass Europe, 2018.
- [22] Marciuš Doria, Analiza eksperimentalno dobivenih rezultata rada sunčane elektrane, Fakultete strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
- [23] Vitrages Decision, <https://www.vitrages-decision.com/en/>, pristup 08.10.2022.
- [24] International standard ISO 6946, Building components and building elements- Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation method, 2007.
- [25] Physibel, Bisco, <https://www.physibel.be/en/products/bisco>, pristup 09.10.2022.
- [26] French standard NF DTU 39, Thermal breakage, 2005.

## 12. PRILOZI

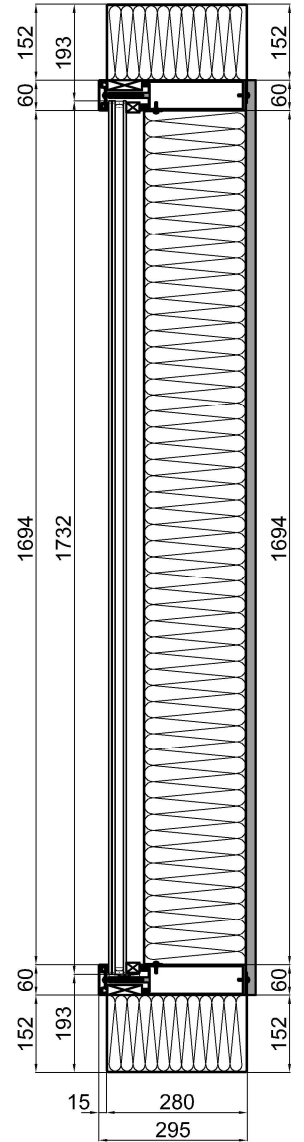
1. Pogled i presjeci elementa, MJ 1:15
2. Horizontalni detalj elementa, MJ 1:4
3. Vertikalni detalj elementa, MJ 1:4
4. Podaci izmjerenih vrijednosti tijekom ispitivanja
5. Izvještaj proračuna u računalnom programu Vitrages Decision
6. Izvještaj proračuna u računalnom programu *Bisco*



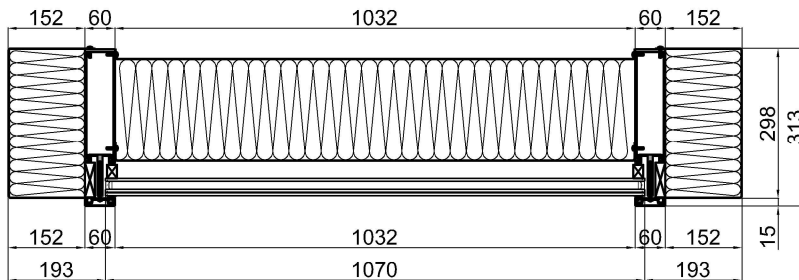
Pogled, MJ 1:15



Vetrikalni presjek, MJ 1:15



Horizontalni presjek, MJ 1:15



**GF**

**GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI**

Diplomski rad:

Ispitivanje i analiza pojave toplinskog šoka u staklu

Sadržaj nacрта:

Pogled i presjeci uzorka

Student:

Martina Posavi

Kolegij:

Fizika zgrade

Mentor:

dr.sc.Ivica Kožar,dipl.ing.građ.

Datum:

20.06.2022.

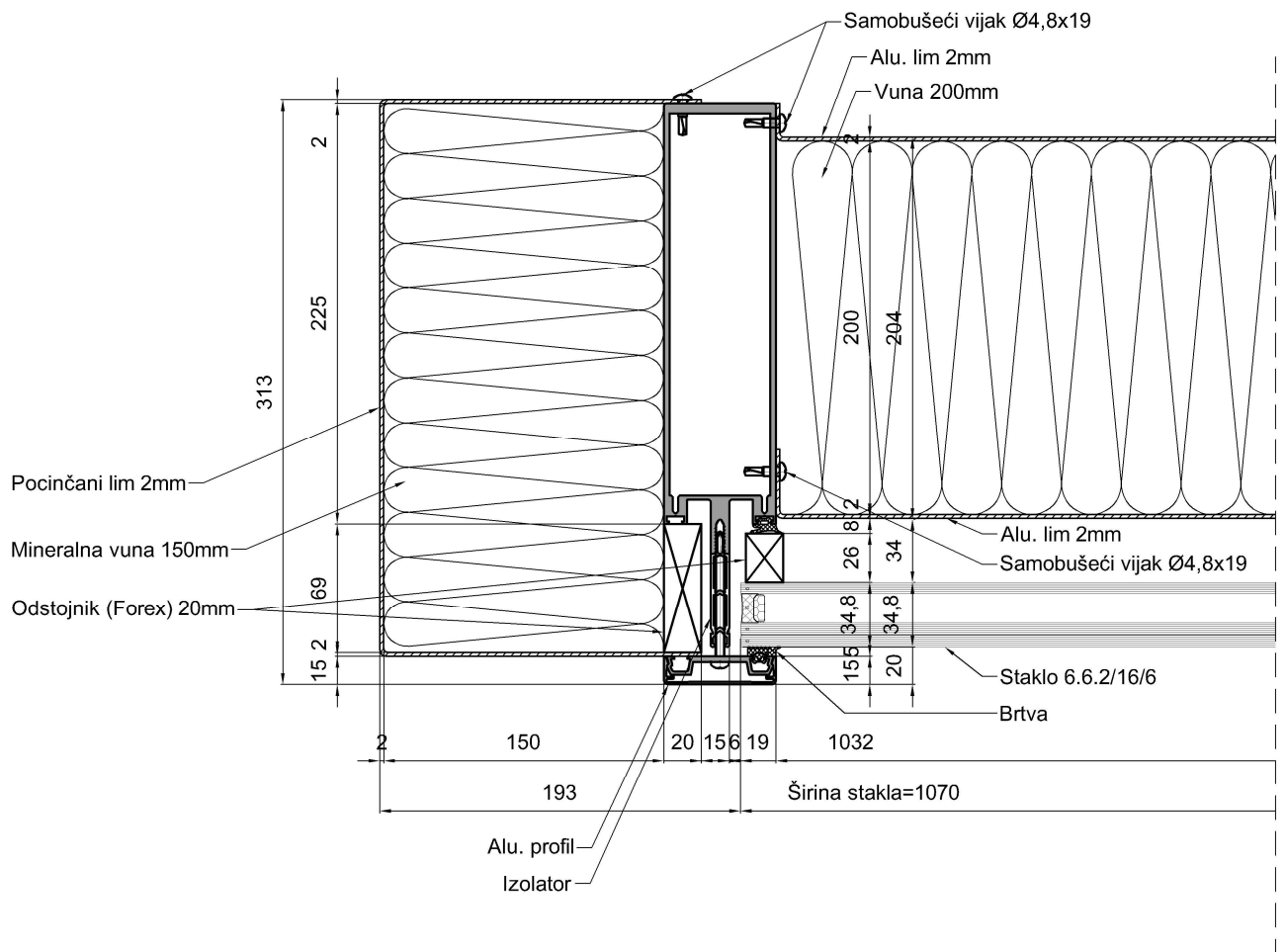
Mjerilo:

1:15

List:

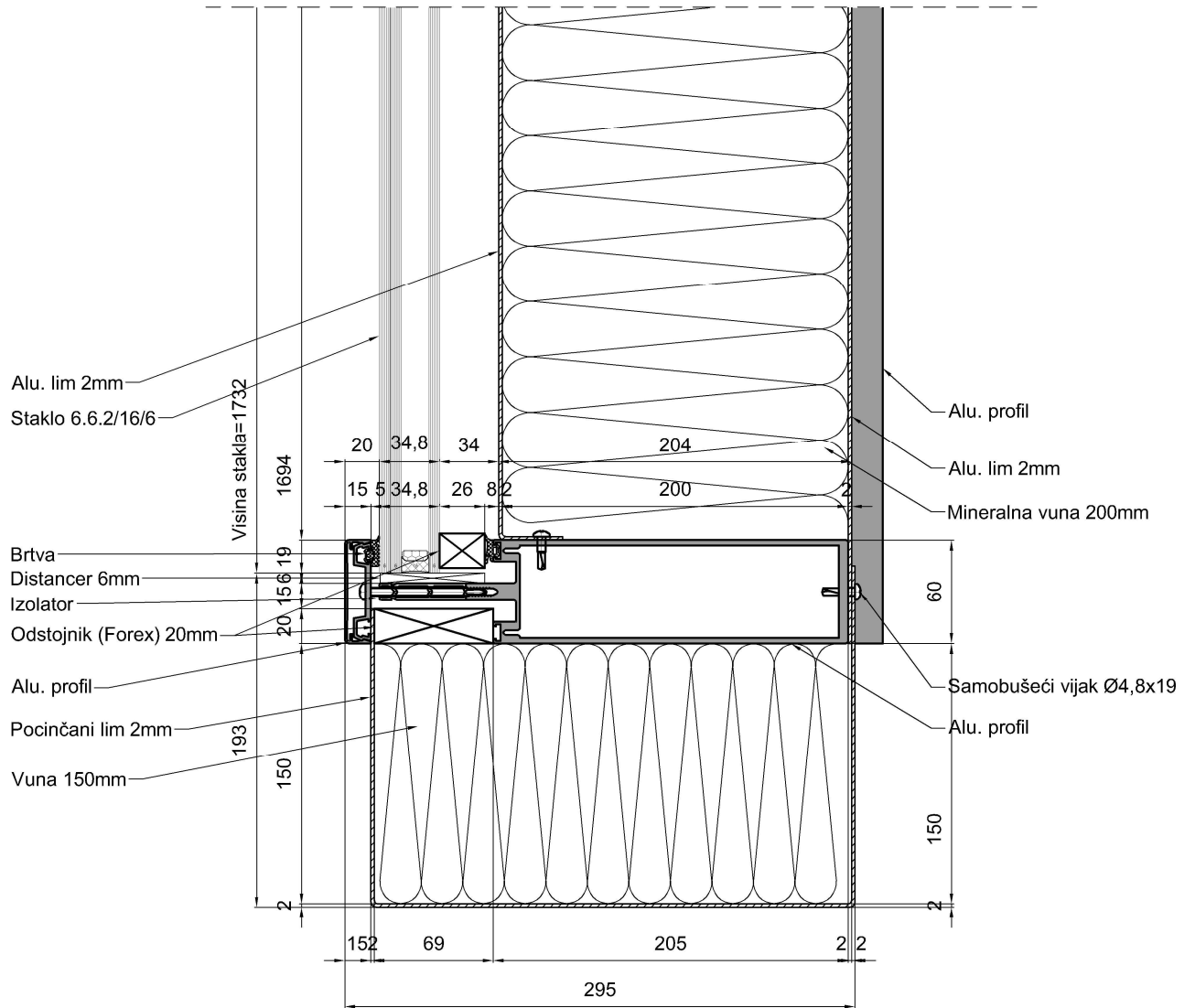
1

Horizontalni detalj, MJ 1:4



<b>GF</b>	<b>GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</b>			
	Diplomski rad: Ispitivanje i analiza pojave toplinskog šoka u staklu		Sadržaj nacрта: Horizontalni detalj	
Student: Martina Posavi		Kolegij: Fizika zgrade		
Mentor: dr.sc.Ivica Kožar,dipl.ing.građ.		Datum: 20.06.2022.	Mjerilo: 1:4	List: 2

# Vetrikalni detalj, MJ 1:4



**GF**

**GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI**

Diplomski rad:  
Ispitivanje i analiza pojave toplinskog  
šoka u staklu

Sadržaj nacrtā:  
Vertikalni detalj

Student:  
Martina Posavi

Kolegij:  
Fizika zgrade

Mentor:  
dr.sc.Ivica Kožar,dipl.ing.građ.

Datum:  
20.06.2022.

Mjerilo:  
1:4

List:  
3

## MJERENJE

Datum	Vrijeme	Solar W/m2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
12.5.2022	8:00	87	20,80	21,65	21,52	20,48	20,50	21,09	21,17	20,38	22,53	21,96
12.5.2022	8:01	90	20,92	21,80	21,63	20,62	20,55	21,27	21,32	20,53	22,64	22,20
12.5.2022	8:02	94	21,15	21,94	21,79	20,79	20,67	21,36	21,45	20,64	22,71	22,39
12.5.2022	8:03	91	21,28	22,06	21,96	20,93	20,78	21,55	21,62	20,75	22,79	22,54
12.5.2022	8:04	97	21,36	22,14	22,07	21,14	20,91	21,68	21,79	20,87	22,87	22,62
12.5.2022	8:05	95	21,49	22,28	22,19	21,22	21,00	21,81	21,92	20,94	22,99	22,70
12.5.2022	8:06	99	21,58	22,55	22,35	21,38	21,10	21,94	22,04	21,00	23,10	22,81
12.5.2022	8:07	100	21,66	22,74	22,42	21,54	21,24	22,05	22,18	21,07	23,25	22,87
12.5.2022	8:08	97	21,75	22,83	22,51	21,60	21,30	22,11	22,25	21,16	23,33	22,96
12.5.2022	8:09	90	21,76	22,83	22,50	21,62	21,30	22,14	22,35	21,16	23,55	22,96
12.5.2022	8:10	112	21,87	23,03	22,65	21,69	21,37	22,31	22,55	21,23	23,77	23,43
12.5.2022	8:11	120	21,94	23,18	22,83	21,81	21,42	22,48	22,55	21,31	23,80	24,04
12.5.2022	8:12	137	22,03	23,28	22,89	21,91	21,46	22,52	22,65	21,36	23,97	23,77
12.5.2022	8:13	116	22,14	23,34	23,01	22,03	21,50	22,65	22,72	21,43	24,17	24,04
12.5.2022	8:14	127	22,14	23,47	22,93	22,19	21,50	22,65	22,72	21,52	24,17	24,04
12.5.2022	8:15	122	22,28	23,47	22,93	22,19	21,57	22,62	22,92	21,52	24,24	23,97
12.5.2022	8:16	130	22,40	23,51	22,72	22,31	21,62	22,75	22,79	21,60	24,27	23,80
12.5.2022	8:17	128	22,56	23,66	22,67	22,45	21,68	22,96	22,82	21,67	24,27	23,70
12.5.2022	8:18	131	22,74	23,72	22,65	22,52	21,75	22,96	22,79	21,70	24,48	23,80
12.5.2022	8:19	132	22,90	23,86	22,68	22,59	21,83	23,16	22,82	21,77	24,61	23,80
12.5.2022	8:20	135	23,05	23,92	22,68	22,62	21,90	23,16	22,72	21,79	24,68	23,84
12.5.2022	8:21	137	23,22	23,95	22,71	22,65	22,00	23,29	22,92	21,80	24,71	23,77
12.5.2022	8:22	139	23,39	24,09	22,76	22,67	22,08	23,43	23,06	21,85	24,82	23,70
12.5.2022	8:23	141	23,56	24,22	22,78	22,70	22,16	23,50	22,96	21,85	24,95	23,77
12.5.2022	8:24	143	23,72	24,40	22,83	22,71	22,25	23,70	23,02	21,88	25,19	23,80
12.5.2022	8:25	152	23,89	24,51	22,87	22,73	22,35	23,70	23,02	21,91	25,29	23,77
12.5.2022	8:26	153	24,02	24,58	22,91	22,75	22,42	23,87	23,09	21,95	25,36	23,90
12.5.2022	8:27	159	24,18	24,67	23,00	22,79	22,54	23,94	23,09	21,98	25,46	23,70
12.5.2022	8:28	153	24,37	24,77	23,05	22,82	22,64	24,11	23,23	22,00	25,53	24,00
12.5.2022	8:29	159	24,54	24,77	23,06	22,84	22,75	24,24	23,23	22,05	25,63	24,21
12.5.2022	8:30	157	24,71	24,78	23,11	22,86	22,84	24,38	23,09	22,07	26,03	24,38
12.5.2022	8:31	159	24,86	24,91	23,14	22,90	22,94	24,68	23,40	22,10	26,10	24,24
12.5.2022	8:32	162	25,03	25,07	23,21	22,93	23,05	24,61	23,29	22,13	26,14	24,11
12.5.2022	8:33	163	25,20	25,12	23,24	22,96	23,14	24,68	23,50	22,16	26,30	24,38
12.5.2022	8:34	164	25,35	25,19	23,26	22,98	23,28	24,82	23,43	22,21	26,47	24,41
12.5.2022	8:35	166	25,55	25,41	23,35	23,02	23,39	24,82	23,50	22,24	26,64	24,55
12.5.2022	8:36	168	25,71	25,51	23,40	23,04	23,50	24,99	23,53	22,27	26,78	24,61
12.5.2022	8:37	171	25,87	25,59	23,42	23,09	23,60	25,19	23,60	22,30	26,95	24,61
12.5.2022	8:38	173	26,05	25,72	23,49	23,13	23,72	25,29	23,63	22,34	27,35	24,75
12.5.2022	8:39	175	26,21	25,89	23,56	23,17	23,83	25,46	23,63	22,38	27,25	24,68
12.5.2022	8:40	179	26,35	26,08	23,63	23,22	23,94	25,59	23,70	22,41	27,02	24,78

12.5.2022	8:41	183	26,53	26,12	23,65	23,27	24,08	25,70	23,87	22,45	27,42	25,09
12.5.2022	8:42	187	26,68	26,29	23,73	23,30	24,17	25,80	23,90	22,47	27,76	25,09
12.5.2022	8:43	190	26,84	26,39	23,79	23,33	24,29	25,80	23,90	22,51	28,00	25,09
12.5.2022	8:44	193	26,84	26,39	23,79	23,33	24,29	26,00	23,94	22,51	28,10	25,15
12.5.2022	8:45	194	26,99	26,54	23,79	23,39	24,39	26,07	23,97	22,56	28,27	25,29
12.5.2022	8:46	196	27,18	26,61	23,84	23,44	24,52	26,24	24,00	22,60	28,54	25,39
12.5.2022	8:47	198	27,32	26,73	23,87	23,47	24,64	26,37	24,07	22,66	28,67	25,42
12.5.2022	8:48	202	27,50	26,91	23,88	23,52	24,75	26,54	24,17	22,69	28,88	25,53
12.5.2022	8:49	204	27,65	27,03	23,87	23,58	24,86	26,71	24,17	22,71	29,22	25,73
12.5.2022	8:50	206	27,80	27,14	23,88	23,61	25,00	26,81	24,31	22,78	29,22	25,90
12.5.2022	8:51	208	27,95	27,31	23,93	23,66	25,09	26,98	24,31	22,81	29,52	25,90
12.5.2022	8:52	212	28,10	27,43	24,12	23,70	25,22	27,25	24,41	22,85	29,69	26,17
12.5.2022	8:53	213	28,27	27,41	24,25	23,72	25,35	27,39	24,61	22,88	30,03	26,24
12.5.2022	8:54	214	28,42	27,60	24,37	23,78	25,47	27,49	24,65	22,95	30,03	26,68
12.5.2022	8:55	215	28,54	27,65	24,44	23,82	25,59	27,66	24,65	22,99	30,23	26,47
12.5.2022	8:56	217	28,70	27,71	24,49	23,87	25,70	27,86	24,85	23,04	30,50	26,88
12.5.2022	8:57	215	28,86	27,89	24,61	23,92	25,82	28,00	25,02	23,06	30,71	26,91
12.5.2022	8:58	226	29,00	28,16	24,78	23,96	25,93	28,13	25,15	23,12	30,91	27,15
12.5.2022	8:59	230	29,15	28,30	24,98	24,00	26,06	28,47	25,32	23,15	31,18	27,39
12.5.2022	9:00	231	29,33	28,47	25,19	24,05	26,19	28,54	25,56	23,19	31,59	27,42
12.5.2022	9:01	234	29,50	28,62	25,58	24,10	26,32	28,67	25,76	23,24	31,69	27,79
12.5.2022	9:02	237	29,67	28,68	26,00	24,14	26,46	28,74	25,97	23,27	31,82	28,06
12.5.2022	9:03	241	29,86	28,90	26,34	24,19	26,59	29,01	26,20	23,31	32,13	28,23
12.5.2022	9:04	245	30,01	28,99	26,53	24,22	26,70	29,22	26,51	23,36	32,33	28,44
12.5.2022	9:05	248	30,19	29,20	26,72	24,29	26,83	29,35	26,74	23,42	32,67	28,67
12.5.2022	9:06	249	30,32	29,32	26,92	24,34	26,95	29,59	26,88	23,47	32,81	28,95
12.5.2022	9:07	254	30,45	29,31	27,11	24,41	27,09	29,76	27,15	23,53	32,60	29,08
12.5.2022	9:08	250	30,45	29,31	27,11	24,41	27,09	29,76	27,15	23,53	33,38	29,08
12.5.2022	9:09	256	30,62	29,57	27,41	24,46	27,23	30,10	27,32	23,60	33,76	29,35
12.5.2022	9:10	257	30,75	29,64	27,54	24,52	27,34	30,23	27,49	23,64	33,93	29,52
12.5.2022	9:11	257	30,93	29,77	27,74	24,58	27,49	30,37	27,76	23,71	34,23	29,72
12.5.2022	9:12	256	31,13	30,00	28,04	24,66	27,65	30,67	28,00	23,78	34,33	29,93
12.5.2022	9:13	271	31,27	30,03	28,16	24,71	27,78	31,25	28,10	23,84	34,61	30,20
12.5.2022	9:14	269	31,43	30,15	28,27	24,77	27,90	31,05	28,44	23,89	34,91	30,47
12.5.2022	9:15	268	31,60	30,40	28,45	24,82	28,03	31,28	28,50	23,94	34,54	30,47
12.5.2022	9:16	270	31,75	30,66	28,75	24,87	28,16	31,52	28,78	24,00	35,49	30,81
12.5.2022	9:17	274	31,90	30,74	28,89	24,92	28,29	31,72	29,05	24,04	35,73	31,05
12.5.2022	9:18	284	32,07	30,81	28,99	24,96	28,42	31,93	29,22	24,09	35,39	31,28
12.5.2022	9:19	284	32,23	30,90	29,13	25,03	28,56	32,06	29,39	24,15	35,93	31,55
12.5.2022	9:20	286	32,38	31,12	29,31	25,08	28,68	32,37	29,62	24,20	36,27	31,66
12.5.2022	9:21	285	32,55	31,24	29,51	25,15	28,80	32,54	29,79	24,26	36,57	31,86
12.5.2022	9:22	289	32,71	31,30	29,64	25,21	28,93	32,74	29,93	24,31	36,74	32,13
12.5.2022	9:23	293	32,85	31,33	29,78	25,25	29,08	33,05	30,27	24,35	37,08	32,50
12.5.2022	9:24	289	32,99	31,40	29,99	25,31	29,20	33,15	30,37	24,42	37,32	32,54
12.5.2022	9:25	293	33,15	31,64	30,09	25,38	29,35	33,45	30,64	24,48	37,49	32,98

12.5.2022	9:26	298	33,15	31,70	30,19	25,45	29,35	33,45	30,64	24,54	37,86	32,98
12.5.2022	9:27	301	33,30	31,70	30,19	25,45	29,48	33,62	30,77	24,54	38,14	33,11
12.5.2022	9:28	303	33,45	31,91	30,31	25,51	29,61	33,83	31,01	24,60	37,83	33,32
12.5.2022	9:29	298	33,60	32,03	30,43	25,55	29,74	33,99	31,15	24,65	38,64	33,49
12.5.2022	9:30	295	33,75	32,21	30,61	25,63	29,88	34,30	31,28	24,71	38,95	33,62
12.5.2022	9:31	280	33,89	32,34	30,75	25,68	30,01	34,50	31,55	24,77	39,19	33,89
12.5.2022	9:32	253	34,03	32,18	30,81	25,74	30,14	34,67	31,66	24,81	39,46	34,16
12.5.2022	9:33	255	34,19	31,98	30,77	25,78	30,28	34,94	31,99	24,88	39,63	34,44
12.5.2022	9:34	258	34,30	32,17	30,90	25,84	30,39	35,15	32,10	24,94	40,04	34,44
12.5.2022	9:35	258	34,37	32,42	31,05	25,91	30,50	35,35	32,27	25,01	40,21	34,64
12.5.2022	9:36	36	34,44	32,45	31,08	25,95	30,62	35,42	32,47	25,07	40,48	34,54
12.5.2022	9:37	37	34,56	32,17	31,05	26,00	30,75	35,83	32,64	25,13	40,82	35,01
12.5.2022	9:38	37	34,61	32,07	31,02	26,05	30,84	36,03	32,74	25,21	40,99	35,18
12.5.2022	9:39	37	34,64	32,28	31,14	26,09	30,95	36,27	32,91	25,26	41,30	35,35
12.5.2022	9:40	36	34,65	32,49	31,38	26,12	31,06	36,54	33,08	25,33	41,57	35,56
12.5.2022	9:41	34	34,65	32,83	31,60	26,14	31,17	36,68	33,28	25,38	41,84	35,62
12.5.2022	9:42	35	34,72	32,91	31,65	26,19	31,28	36,98	33,42	25,42	42,04	35,89
12.5.2022	9:43	34	34,77	33,04	31,78	26,23	31,40	37,15	33,62	25,47	42,38	36,10
12.5.2022	9:44	35	34,87	33,13	31,93	26,26	31,50	37,46	33,79	25,52	42,76	36,40
12.5.2022	9:45	40	34,94	33,28	32,03	26,29	31,62	37,52	33,89	25,56	42,96	36,30
12.5.2022	9:46	37	35,04	33,28	32,10	26,34	31,71	37,80	34,10	25,60	43,27	36,91
12.5.2022	9:47	40	35,12	33,64	32,33	26,38	31,82	38,14	34,16	25,66	43,51	36,64
12.5.2022	9:48	36	35,21	33,75	32,48	26,42	31,94	38,24	34,33	25,69	43,85	36,98
12.5.2022	9:49	28	35,32	33,91	32,60	26,48	32,04	38,51	34,61	25,74	44,05	37,08
12.5.2022	9:50	25	35,46	33,81	32,62	26,50	32,16	38,78	34,71	25,78	44,36	37,22
12.5.2022	9:51	328	35,61	34,01	32,72	26,55	32,27	38,95	34,84	25,83	44,70	37,39
12.5.2022	9:52	325	35,71	34,16	32,91	26,61	32,37	39,12	35,01	25,89	44,90	37,56
12.5.2022	9:53	327	35,81	34,22	32,93	26,65	32,48	39,32	35,25	25,93	45,14	37,52
12.5.2022	9:54	328	35,81	34,23	33,03	26,69	32,48	39,32	35,25	25,97	45,41	37,52
12.5.2022	9:55	330	35,95	34,23	33,03	26,69	32,60	39,63	35,35	25,97	45,78	37,63
12.5.2022	9:56	332	36,06	34,24	33,12	26,74	32,71	39,94	35,35	26,01	46,09	38,07
12.5.2022	9:57	334	36,19	34,60	33,29	26,80	32,83	40,00	35,69	26,07	46,33	38,14
12.5.2022	9:58	336	36,28	34,90	33,46	26,84	32,95	40,38	35,73	26,12	46,09	38,20
12.5.2022	9:59	333	36,40	35,00	33,59	26,89	33,07	40,65	35,89	26,16	46,81	38,31
12.5.2022	10:00	340	36,53	34,97	33,62	26,95	33,19	40,85	35,96	26,22	47,08	38,34
12.5.2022	10:01	342	36,69	35,18	33,71	27,00	33,31	41,06	36,20	26,27	47,56	38,44
12.5.2022	10:02	344	36,83	35,21	33,29	27,06	33,45	41,46	36,34	26,33	47,66	38,54
12.5.2022	10:03	346	36,96	35,13	32,65	27,11	33,57	41,53	36,34	26,37	48,03	38,75
12.5.2022	10:04	348	37,07	35,49	32,28	27,17	33,69	41,67	36,57	26,42	48,41	38,75
12.5.2022	10:05	350	37,17	35,58	32,07	27,22	33,80	41,97	36,64	26,50	48,65	38,92
12.5.2022	10:06	352	37,31	35,77	31,95	27,29	33,93	42,31	36,71	26,55	48,88	38,98
12.5.2022	10:07	350	37,44	35,85	31,78	27,38	34,05	42,55	36,68	26,58	49,09	39,02
12.5.2022	10:08	357	37,59	36,09	31,74	27,47	34,18	42,65	36,51	26,65	49,39	39,02
12.5.2022	10:09	358	37,77	36,09	31,63	27,62	34,33	42,65	36,51	26,72	49,70	39,02
12.5.2022	10:10	360	37,77	36,09	31,63	27,62	34,33	43,00	36,34	26,72	49,91	39,09

12.5.2022	10:11	362	37,94	35,80	31,47	27,73	34,47	43,27	36,20	26,80	50,25	39,12
12.5.2022	10:12	364	38,05	36,31	31,45	27,89	34,62	43,47	36,06	26,94	50,49	39,12
12.5.2022	10:13	366	38,20	36,39	31,36	28,04	34,75	43,81	35,93	27,17	50,18	39,02
12.5.2022	10:14	368	38,29	36,41	31,21	28,14	34,88	44,08	35,86	27,38	51,06	38,78
12.5.2022	10:15	369	38,43	36,13	30,97	28,20	34,99	44,46	35,79	27,61	51,30	38,85
12.5.2022	10:16	371	38,48	36,63	31,04	28,28	35,11	44,56	35,69	27,82	51,58	38,64
12.5.2022	10:17	373	38,56	36,94	31,05	28,35	35,24	44,76	35,59	27,93	51,92	38,61
12.5.2022	10:18	375	38,70	36,46	30,86	28,40	35,35	44,97	35,52	28,04	52,16	38,54
12.5.2022	10:19	377	38,78	36,36	30,73	28,43	35,47	45,17	35,56	28,09	52,26	38,61
12.5.2022	10:20	378	38,87	36,22	30,56	28,44	35,58	45,48	35,49	28,14	52,67	38,51
12.5.2022	10:21	379	38,87	36,54	30,62	28,47	35,70	45,78	35,42	28,18	52,94	38,64
12.5.2022	10:22	381	38,91	36,45	30,49	28,48	35,81	45,99	35,22	28,21	53,14	38,24
12.5.2022	10:23	390	38,91	36,39	30,39	28,48	35,93	46,23	35,35	28,24	53,42	38,37
12.5.2022	10:24	390	38,90	37,08	30,50	28,49	36,02	46,40	35,32	28,27	53,59	38,31
12.5.2022	10:25	390	38,91	36,83	30,38	28,50	36,13	46,64	35,22	28,29	53,93	38,47
12.5.2022	10:26	391	38,95	37,00	30,37	28,50	36,24	46,87	35,25	28,30	54,27	38,44
12.5.2022	10:27	388	39,02	36,66	30,22	28,50	36,34	47,04	35,18	28,33	54,41	38,31
12.5.2022	10:28	391	39,06	36,98	30,01	28,48	36,43	47,32	35,15	28,33	54,51	38,34
12.5.2022	10:29	393	39,11	37,18	29,99	28,49	36,51	47,49	35,11	28,36	54,95	38,10
12.5.2022	10:30	395	39,15	37,06	29,89	28,48	36,60	47,79	35,08	28,37	55,19	38,00
12.5.2022	10:31	396	39,14	37,68	30,15	28,47	36,71	47,83	35,08	28,40	55,47	37,63
12.5.2022	10:32	399	39,18	38,01	30,29	28,47	36,82	48,24	35,05	28,42	55,67	37,90
12.5.2022	10:33	400	39,27	37,86	30,23	28,48	36,91	48,44	35,01	28,44	56,11	37,63
12.5.2022	10:34	401	39,40	37,62	30,09	28,48	37,00	48,58	35,08	28,45	56,18	37,32
12.5.2022	10:35	403	39,51	37,81	30,04	28,50	37,11	49,05	34,91	28,47	56,46	37,69
12.5.2022	10:36	403	39,51	38,01	30,09	28,51	37,11	49,05	34,91	28,48	56,59	37,69
12.5.2022	10:37	405	39,58	38,01	30,09	28,51	37,18	49,05	34,98	28,48	56,80	37,52
12.5.2022	10:38	406	39,66	38,19	30,09	28,52	37,29	49,22	34,91	28,51	57,14	37,59
12.5.2022	10:39	409	39,73	38,41	30,19	28,55	37,40	49,50	34,91	28,52	57,28	37,52
12.5.2022	10:40	410	39,81	38,61	30,26	28,57	37,51	49,67	34,91	28,56	57,51	37,63
12.5.2022	10:41	412	39,93	38,79	30,27	28,59	37,62	49,94	34,91	28,57	57,79	37,73
12.5.2022	10:42	414	40,07	38,98	30,32	28,62	37,72	50,18	34,84	28,59	58,09	37,69
12.5.2022	10:43	415	40,22	39,05	30,36	28,66	37,83	50,38	34,94	28,62	57,75	37,69
12.5.2022	10:44	416	40,33	39,18	30,46	28,70	37,94	50,69	34,94	28,64	58,61	37,63
12.5.2022	10:45	418	40,50	39,14	30,39	28,74	38,07	50,79	34,88	28,66	58,74	37,66
12.5.2022	10:46	420	40,62	39,25	30,39	28,78	38,17	51,00	34,94	28,68	58,95	37,80
12.5.2022	10:47	420	40,71	39,33	30,47	28,81	38,28	51,34	34,98	28,72	59,19	37,86
12.5.2022	10:48	422	40,80	39,44	30,49	28,86	38,41	51,47	34,88	28,75	59,46	37,93
12.5.2022	10:49	422	40,92	39,63	30,52	28,89	38,50	51,71	34,91	28,77	59,63	37,90
12.5.2022	10:50	423	41,09	39,54	30,32	28,93	38,61	51,92	34,94	28,79	59,94	37,86
12.5.2022	10:51	425	41,15	39,83	30,51	28,98	38,72	52,12	34,94	28,82	60,11	37,93
12.5.2022	10:52	423	41,24	40,00	30,58	29,00	38,86	52,50	34,94	28,86	60,32	37,97
12.5.2022	10:53	429	41,39	39,61	30,43	29,04	38,95	52,53	35,01	28,89	60,49	38,10
12.5.2022	10:54	430	41,50	39,87	30,45	29,09	39,06	52,80	34,98	28,94	60,62	38,03
12.5.2022	10:55	431	41,57	39,98	30,40	29,10	39,18	53,04	35,08	28,94	60,66	38,07

12.5.2022	10:56	433	41,62	40,33	30,59	29,13	39,30	53,18	35,08	29,00	61,03	38,03
12.5.2022	10:57	434	41,74	40,47	30,54	29,16	39,41	53,35	34,94	29,02	61,41	38,07
12.5.2022	10:58	435	41,83	40,79	30,69	29,20	39,52	53,62	35,11	29,06	61,48	38,34
12.5.2022	10:59	437	41,93	40,97	30,77	29,22	39,65	53,90	35,11	29,08	61,65	38,34
12.5.2022	11:00	438	42,14	40,53	30,63	29,25	39,78	54,10	35,15	29,10	62,09	38,37
12.5.2022	11:01	439	42,29	40,35	30,49	29,29	39,85	54,34	35,22	29,16	62,16	38,51
12.5.2022	11:02	440	42,34	40,97	30,70	29,32	39,96	54,65	35,22	29,18	62,44	38,78
12.5.2022	11:03	441	42,41	41,18	30,78	29,35	40,08	54,71	35,28	29,22	62,64	38,51
12.5.2022	11:04	442	42,47	41,34	30,88	29,38	40,21	54,85	35,28	29,24	62,92	38,61
12.5.2022	11:05	443	42,60	41,29	30,86	29,42	40,32	54,85	35,28	29,29	63,19	38,61
12.5.2022	11:06	444	42,60	41,29	30,86	29,42	40,32	55,12	35,28	29,29	63,39	38,61
12.5.2022	11:07	446	42,75	41,04	30,73	29,44	40,43	55,33	35,49	29,33	63,53	38,85
12.5.2022	11:08	447	42,79	41,65	30,99	29,47	40,54	55,50	35,35	29,35	63,70	38,88
12.5.2022	11:09	447	42,88	41,95	31,10	29,52	40,67	55,70	35,35	29,38	63,94	38,68
12.5.2022	11:10	449	43,02	42,03	31,11	29,55	40,82	55,94	35,49	29,44	63,77	38,81
12.5.2022	11:11	447	43,17	42,10	31,13	29,61	40,95	56,25	35,59	29,47	64,22	38,78
12.5.2022	11:12	451	43,32	42,03	31,10	29,64	41,08	56,39	35,59	29,51	64,52	38,98
12.5.2022	11:13	452	43,45	42,22	31,29	29,69	41,24	56,66	35,62	29,54	64,76	39,12
12.5.2022	11:14	452	43,60	42,35	31,26	29,75	41,33	56,80	35,59	29,59	64,97	39,12
12.5.2022	11:15	454	43,74	42,42	31,28	29,78	41,44	56,97	35,73	29,62	65,14	39,22
12.5.2022	11:16	455	43,88	42,14	31,22	29,81	41,58	57,21	35,76	29,66	65,24	39,36
12.5.2022	11:17	454	43,95	42,65	31,36	29,87	41,69	57,34	35,73	29,68	65,55	39,36
12.5.2022	11:18	457	44,05	42,65	31,33	29,91	41,82	57,51	35,83	29,73	65,82	39,36
12.5.2022	11:19	455	44,14	42,95	31,44	29,94	41,92	57,72	35,89	29,77	65,89	39,49
12.5.2022	11:20	32	44,14	42,95	31,44	29,94	41,92	57,72	35,89	29,77	66,10	39,49
12.5.2022	11:21	32	44,24	43,19	31,51	29,98	42,05	57,89	35,83	29,81	66,34	39,63
12.5.2022	11:22	32	44,36	43,30	31,57	30,02	42,18	58,13	35,93	29,85	66,44	39,66
12.5.2022	11:23	31	44,46	43,42	31,63	30,07	42,30	58,20	35,96	29,89	66,65	39,60
12.5.2022	11:24	32	44,57	43,58	31,72	30,11	42,42	58,40	36,06	29,93	66,92	39,70
12.5.2022	11:25	31	44,72	43,83	31,74	30,16	42,53	58,54	36,06	29,96	67,16	39,87
12.5.2022	11:26	31	44,83	43,86	31,85	30,20	42,67	58,81	36,23	30,01	67,23	39,83
12.5.2022	11:27	31	44,93	43,86	31,87	30,25	42,80	58,91	36,23	30,05	67,47	39,87
12.5.2022	11:28	31	45,08	44,25	31,95	30,32	42,92	59,19	36,20	30,09	67,64	39,97
12.5.2022	11:29	31	45,23	44,04	31,87	30,35	43,03	59,36	36,27	30,13	67,47	40,11
12.5.2022	11:30	34	45,32	44,42	32,03	30,41	43,18	59,63	36,34	30,18	67,98	40,17
12.5.2022	11:31	442	45,45	44,76	32,16	30,46	43,31	59,74	36,40	30,21	68,29	40,17
12.5.2022	11:32	442	45,57	44,90	32,25	30,50	43,41	59,87	36,40	30,26	68,39	40,34
12.5.2022	11:33	443	45,74	44,87	32,27	30,55	43,55	60,04	36,54	30,28	68,57	40,38
12.5.2022	11:34	444	45,97	44,21	31,95	30,58	43,68	60,18	36,54	30,33	68,74	40,41
12.5.2022	11:35	444	46,03	44,77	32,18	30,64	43,80	60,49	36,61	30,37	68,91	40,38
12.5.2022	11:36	444	46,15	44,58	32,13	30,68	43,93	60,62	36,68	30,42	69,01	40,55
12.5.2022	11:37	445	46,20	44,62	32,13	30,70	44,01	60,73	36,71	30,47	69,18	40,65
12.5.2022	11:38	444	46,22	44,82	32,26	30,73	44,14	60,90	36,78	30,51	69,22	40,79
12.5.2022	11:39	447	46,26	45,36	32,36	30,78	44,27	61,10	36,81	30,56	69,59	40,79
12.5.2022	11:40	447	46,38	45,14	32,26	30,80	44,39	61,31	36,91	30,57	69,73	40,72



12.5.2022	11:41	448	46,53	44,53	32,00	30,84	44,49	61,41	36,98	30,63	69,83	40,99
12.5.2022	11:42	448	46,51	45,33	32,37	30,85	44,60	61,62	36,95	30,67	69,97	41,02
12.5.2022	11:43	450	46,58	45,47	32,47	30,88	44,72	61,79	37,08	30,71	70,28	41,06
12.5.2022	11:44	450	46,63	45,34	32,50	30,92	44,83	61,96	37,12	30,75	70,48	41,06
12.5.2022	11:45	450	46,73	45,39	32,41	30,95	44,93	62,16	37,32	30,79	70,59	41,06
12.5.2022	11:46	451	46,81	45,55	32,51	30,98	45,05	62,27	37,25	30,84	70,66	41,30
12.5.2022	11:47	452	46,92	45,58	32,51	31,01	45,16	62,50	37,25	30,87	70,93	41,30
12.5.2022	11:48	451	46,92	45,92	32,69	31,07	45,16	62,50	37,25	30,93	71,03	41,30
12.5.2022	11:49	451	46,95	45,92	32,69	31,07	45,28	62,64	37,42	30,93	71,20	41,63
12.5.2022	11:50	452	47,09	45,51	32,56	31,09	45,39	62,71	37,46	30,94	71,38	41,50
12.5.2022	11:51	453	47,16	45,75	32,62	31,13	45,48	62,88	37,49	30,98	71,48	41,53
12.5.2022	11:52	455	47,22	46,21	32,78	31,17	45,60	63,09	37,49	31,03	71,65	41,60
12.5.2022	11:53	455	47,29	46,25	32,85	31,21	45,70	63,26	37,63	31,07	71,82	41,63
12.5.2022	11:54	455	47,38	46,23	32,87	31,24	45,79	63,29	37,69	31,11	71,96	41,80
12.5.2022	11:55	455	47,50	45,76	32,68	31,27	45,90	63,39	37,76	31,15	72,03	41,80
12.5.2022	11:56	455	47,55	46,11	32,76	31,30	46,00	63,57	37,83	31,18	72,23	42,01
12.5.2022	11:57	455	47,62	45,75	32,59	31,31	46,07	63,74	37,83	31,22	72,47	42,01
12.5.2022	11:58	455	47,63	46,44	32,89	31,35	46,18	64,11	37,97	31,25	72,44	42,04
12.5.2022	11:59	456	47,65	46,53	32,93	31,37	46,29	64,15	37,93	31,29	72,61	42,21
12.5.2022	12:00	455	47,69	46,26	32,96	31,41	46,37	64,25	37,97	31,33	72,41	42,28
12.5.2022	12:01	457	47,75	46,81	33,06	31,45	46,48	64,35	38,17	31,36	72,89	42,42
12.5.2022	12:02	455	47,82	47,09	33,15	31,47	46,59	64,39	38,10	31,41	73,16	42,31
12.5.2022	12:03	457	47,91	47,38	33,31	31,51	46,71	64,56	38,24	31,44	72,95	42,48
12.5.2022	12:04	455	48,05	47,57	33,37	31,55	46,80	64,63	38,10	31,48	73,40	42,45
12.5.2022	12:05	456	48,20	47,55	33,41	31,60	46,91	64,83	38,34	31,53	73,47	42,65
12.5.2022	12:06	458	48,34	47,91	33,50	31,65	47,01	64,83	38,37	31,56	73,50	42,55
12.5.2022	12:07	457	48,51	47,73	33,51	31,69	47,12	65,14	38,34	31,59	73,57	42,69
12.5.2022	12:08	458	48,64	47,70	33,56	31,74	47,21	65,21	38,47	31,63	73,78	42,69
12.5.2022	12:09	457	48,78	47,76	33,58	31,80	47,31	65,35	38,41	31,66	73,98	42,79
12.5.2022	12:10	458	48,78	47,76	33,58	31,80	47,31	65,35	38,41	31,66	73,88	42,79
12.5.2022	12:11	457	48,88	47,88	33,70	31,85	47,45	65,58	38,64	31,73	73,92	42,96
12.5.2022	12:12	457	49,02	48,03	33,63	31,89	47,54	65,72	38,58	31,75	74,26	43,17
12.5.2022	12:13	458	49,20	47,97	33,54	31,95	47,68	65,82	38,85	31,80	74,26	43,03
12.5.2022	12:14	458	49,30	48,28	33,78	32,00	47,81	65,96	38,85	31,85	74,53	43,17
12.5.2022	12:15	457	49,39	48,52	33,87	32,03	47,92	66,13	39,15	31,89	74,50	43,13
12.5.2022	12:16	458	49,50	48,61	33,94	32,07	48,01	66,20	38,81	31,92	74,43	43,30
12.5.2022	12:17	459	49,61	48,94	34,06	32,13	48,12	66,37	39,05	31,98	74,84	43,37
12.5.2022	12:18	459	49,76	48,45	33,87	32,16	48,24	66,37	38,95	32,01	74,84	43,57
12.5.2022	12:19	458	49,91	47,98	33,72	32,20	48,33	66,58	39,19	32,05	75,01	43,54
12.5.2022	12:20	459	49,98	48,31	33,74	32,23	48,42	66,85	39,12	32,11	75,15	43,51
12.5.2022	12:21	459	49,94	48,64	33,95	32,26	48,52	66,71	39,26	32,13	75,29	43,64
12.5.2022	12:22	459	49,98	48,58	33,90	32,29	48,63	66,99	39,39	32,19	75,29	43,85
12.5.2022	12:23	459	49,99	48,60	33,96	32,31	48,72	67,13	39,32	32,21	75,36	43,95
12.5.2022	12:24	458	50,06	48,24	33,77	32,33	48,81	67,16	39,36	32,25	75,46	43,81
12.5.2022	12:25	458	50,08	48,31	33,78	32,35	48,87	67,26	39,43	32,29	75,56	43,91

12.5.2022	12:26	459	50,05	48,56	33,90	32,36	48,98	67,26	39,49	32,32	75,84	43,98
12.5.2022	12:27	459	50,04	49,17	34,15	32,38	49,06	67,57	39,56	32,35	75,84	44,19
12.5.2022	12:28	458	50,12	49,21	34,31	32,40	49,15	67,50	39,60	32,41	75,91	44,05
12.5.2022	12:29	459	50,18	49,55	34,41	32,43	49,25	67,74	39,70	32,45	76,22	44,42
12.5.2022	12:30	457	50,28	49,60	34,45	32,46	49,33	67,71	39,83	32,47	76,11	44,36
12.5.2022	12:31	458	50,38	49,34	34,46	32,49	49,43	68,05	39,73	32,50	76,25	44,42
12.5.2022	12:32	457	50,38	49,34	34,46	32,49	49,43	68,05	39,73	32,50	76,22	44,42
12.5.2022	12:33	458	50,49	49,88	34,53	32,54	49,52	68,05	39,94	32,55	76,49	44,22
12.5.2022	12:34	457	50,56	49,99	34,63	32,57	49,59	68,12	39,83	32,59	76,53	44,59
12.5.2022	12:35	457	50,67	50,20	34,70	32,62	49,68	68,12	39,87	32,61	76,42	44,70
12.5.2022	12:36	456	50,75	50,02	34,67	32,68	49,78	68,19	40,07	32,64	76,59	44,56
12.5.2022	12:37	457	50,84	49,94	34,75	32,71	49,86	68,29	40,04	32,67	76,70	44,66
12.5.2022	12:38	455	50,92	49,83	34,81	32,76	49,95	68,50	40,11	32,72	76,87	44,83
12.5.2022	12:39	454	51,01	50,00	34,85	32,80	50,03	68,53	40,24	32,75	76,87	44,93
12.5.2022	12:40	455	51,10	49,62	34,77	32,84	50,11	68,70	40,31	32,79	76,90	44,97
12.5.2022	12:41	455	51,18	49,07	34,52	32,88	50,15	68,77	40,38	32,81	76,94	45,00
12.5.2022	12:42	455	51,20	49,13	34,40	32,90	50,22	68,87	40,45	32,85	77,11	45,21
12.5.2022	12:43	454	51,17	49,37	34,44	32,93	50,29	68,87	40,58	32,89	77,18	45,17
12.5.2022	12:44	455	51,09	49,93	34,64	32,94	50,36	68,87	40,51	32,93	77,04	45,27
12.5.2022	12:45	454	51,07	50,61	34,85	32,97	50,46	69,01	40,58	32,96	77,45	45,17
12.5.2022	12:46	452	51,13	50,66	34,97	32,99	50,52	69,18	40,62	33,01	77,38	45,14
12.5.2022	12:47	450	51,19	50,37	35,02	33,01	50,62	69,18	40,68	33,04	77,38	45,41
12.5.2022	12:48	450	51,31	50,23	34,96	33,03	50,70	69,32	40,79	33,07	77,35	45,48
12.5.2022	12:49	450	51,41	50,63	35,08	33,04	50,76	69,28	40,75	33,11	77,42	45,44
12.5.2022	12:50	450	51,51	50,36	34,99	33,09	50,82	69,42	40,82	33,14	77,69	45,68
12.5.2022	12:51	450	51,59	50,56	35,14	33,12	50,89	69,52	40,92	33,17	77,59	45,61
12.5.2022	12:52	450	51,67	50,08	34,85	33,16	50,95	69,73	41,09	33,19	77,76	45,78
12.5.2022	12:53	449	51,73	49,61	34,69	33,18	51,00	69,66	40,99	33,23	77,62	45,99
12.5.2022	12:54	449	51,69	49,97	34,80	33,19	51,04	69,70	41,06	33,26	77,73	45,92
12.5.2022	12:55	448	51,65	50,36	35,04	33,22	51,13	69,76	41,13	33,30	77,80	45,96
12.5.2022	12:56	447	51,62	50,78	35,17	33,23	51,19	69,83	41,16	33,33	77,73	46,16
12.5.2022	12:57	448	51,64	50,78	35,22	33,27	51,24	70,00	41,23	33,36	77,73	46,06
12.5.2022	12:58	446	51,71	50,85	35,23	33,29	51,31	69,87	41,33	33,40	77,90	46,26
12.5.2022	12:59	446	51,77	51,05	35,33	33,32	51,38	70,00	41,33	33,43	77,90	46,06
12.5.2022	13:00	446	51,86	50,96	35,40	33,36	51,46	70,00	41,33	33,47	78,14	46,06
12.5.2022	13:01	446	51,86	50,96	35,40	33,36	51,46	70,07	41,36	33,47	78,11	46,43
12.5.2022	13:02	444	51,96	51,07	35,48	33,39	51,51	70,04	41,40	33,51	77,97	46,47
12.5.2022	13:03	32	52,07	50,80	35,25	33,43	51,58	70,21	41,53	33,53	78,35	46,13
12.5.2022	13:04	32	52,13	50,92	35,37	33,47	51,63	70,18	41,67	33,58	78,11	46,43
12.5.2022	13:05	32	52,18	50,96	35,46	33,50	51,69	70,35	41,67	33,61	78,14	46,64
12.5.2022	13:06	32	52,21	51,11	35,58	33,53	51,77	70,31	41,67	33,63	78,07	46,57
12.5.2022	13:07	32	52,28	51,59	35,64	33,57	51,82	70,21	41,84	33,67	78,17	46,43
12.5.2022	13:08	32	52,37	51,53	35,68	33,60	51,90	70,42	41,70	33,70	78,17	46,74
12.5.2022	13:09	31	52,47	50,96	35,35	33,62	51,93	70,45	41,87	33,74	78,14	46,94
12.5.2022	13:10	31	52,52	50,65	35,27	33,65	51,98	70,52	41,84	33,76	78,21	46,84

12.5.2022	13:11	32	52,47	51,03	35,57	33,69	52,05	70,55	41,94	33,80	78,14	46,94
12.5.2022	13:12	32	52,48	51,13	35,54	33,71	52,11	70,69	42,04	33,83	78,21	47,01
12.5.2022	13:13	32	52,46	51,28	35,58	33,73	52,19	70,62	42,08	33,88	78,21	47,04
12.5.2022	13:14	31	52,47	51,14	35,64	33,76	52,22	70,66	42,18	33,91	78,21	47,15
12.5.2022	13:15	32	52,47	51,14	35,64	33,76	52,22	70,66	42,18	33,91	78,14	47,15
12.5.2022	13:16	32	52,51	51,40	35,78	33,77	52,28	70,72	42,18	33,95	78,31	47,52
12.5.2022	13:17	31	52,57	51,55	35,76	33,80	52,33	70,76	42,25	33,98	78,24	47,28
12.5.2022	13:18	31	52,63	51,02	35,61	33,83	52,38	70,72	42,28	34,00	78,28	47,42
12.5.2022	13:19	31	52,69	50,23	35,38	33,87	52,41	70,79	42,35	34,03	78,24	47,42
12.5.2022	13:20	32	52,65	50,66	35,46	33,89	52,43	70,86	42,42	34,06	78,24	47,49
12.5.2022	13:21	445	52,57	51,11	35,77	33,89	52,49	70,86	42,52	34,10	78,31	47,79
12.5.2022	13:22	443	52,56	51,25	35,86	33,89	52,52	70,86	42,52	34,14	78,17	47,62
12.5.2022	13:23	437	52,55	51,29	35,82	33,91	52,54	70,86	42,62	34,15	78,17	47,73
12.5.2022	13:24	444	52,57	51,68	35,96	33,93	52,59	70,93	42,62	34,20	78,24	47,76
12.5.2022	13:25	440	52,61	51,58	36,09	33,96	52,65	70,86	42,65	34,23	78,24	47,79
12.5.2022	13:26	435	52,66	52,09	36,11	33,99	52,68	70,76	42,72	34,26	78,11	47,93
12.5.2022	13:27	435	52,71	51,77	36,16	34,01	52,74	70,86	42,79	34,28	78,17	47,96
12.5.2022	13:28	438	52,81	51,41	36,00	34,02	52,77	70,86	42,82	34,32	78,11	48,03
12.5.2022	13:29	437	52,86	51,22	35,98	34,05	52,79	70,86	42,89	34,33	78,07	48,10
12.5.2022	13:30	437	52,87	51,52	35,99	34,07	52,81	70,90	42,89	34,36	78,04	48,13
12.5.2022	13:31	436	52,87	51,48	36,06	34,09	52,84	70,93	43,00	34,39	78,07	48,13
12.5.2022	13:32	435	52,89	51,92	36,22	34,11	52,88	71,00	43,10	34,42	78,04	48,34
12.5.2022	13:33	435	52,92	51,70	36,23	34,13	52,92	70,86	43,06	34,45	77,97	48,30
12.5.2022	13:34	433	52,94	52,11	36,38	34,18	52,97	70,90	43,17	34,47	78,04	48,37
12.5.2022	13:35	429	52,98	52,10	36,41	34,21	52,99	71,00	43,17	34,51	77,97	48,41
12.5.2022	13:36	431	53,04	52,35	36,50	34,26	53,05	70,79	43,13	34,53	77,93	48,44
12.5.2022	13:37	430	53,09	52,31	36,56	34,27	53,10	70,96	43,23	34,56	77,97	48,58
12.5.2022	13:38	429	53,16	52,57	36,54	34,31	53,13	70,96	43,27	34,59	78,00	48,58
12.5.2022	13:39	425	53,24	52,26	36,45	34,34	53,16	70,96	43,37	34,62	77,87	48,71
12.5.2022	13:40	420	53,33	51,92	36,28	34,37	53,18	71,00	43,51	34,65	77,76	48,71
12.5.2022	13:41	417	53,38	51,21	36,05	34,39	53,20	70,96	43,54	34,69	77,73	48,82
12.5.2022	13:42	419	53,35	51,10	36,08	34,40	53,21	71,03	43,54	34,69	77,59	48,78
12.5.2022	13:43	418	53,28	51,92	36,42	34,41	53,24	70,93	43,71	34,72	77,73	48,92
12.5.2022	13:44	420	53,28	51,87	36,42	34,41	53,24	70,93	43,71	34,77	77,56	48,92
12.5.2022	13:45	416	53,23	51,87	36,42	34,41	53,26	70,93	43,61	34,77	77,62	48,95
12.5.2022	13:46	418	53,20	52,02	36,56	34,41	53,30	70,86	43,71	34,79	77,59	49,09
12.5.2022	13:47	414	53,17	52,00	36,51	34,45	53,32	70,90	43,78	34,82	77,49	49,09
12.5.2022	13:48	415	53,17	51,92	36,52	34,45	53,33	70,83	43,85	34,84	77,42	49,19
12.5.2022	13:49	414	53,17	51,82	36,48	34,47	53,36	70,79	43,91	34,87	77,56	49,19
12.5.2022	13:50	413	53,20	51,45	36,33	34,50	53,37	70,79	43,91	34,89	77,38	49,33
12.5.2022	13:51	411	53,17	51,53	36,38	34,48	53,38	70,79	43,95	34,89	77,32	49,36
12.5.2022	13:52	410	53,13	51,52	36,43	34,51	53,40	70,79	44,05	34,93	77,25	49,46
12.5.2022	13:53	409	53,10	51,67	36,44	34,51	53,40	70,72	44,05	34,96	77,14	49,46
12.5.2022	13:54	408	53,07	52,07	36,65	34,54	53,41	70,69	44,08	34,99	77,04	49,53
12.5.2022	13:55	405	53,07	51,48	36,42	34,55	53,41	70,66	44,15	34,99	77,14	49,63

12.5.2022	13:56	404	53,05	51,25	36,36	34,58	53,42	70,72	44,19	35,01	77,14	49,77
12.5.2022	13:57	403	52,99	51,42	36,39	34,60	53,41	70,55	44,22	35,04	76,94	49,77
12.5.2022	13:58	401	52,96	51,29	36,27	34,58	53,43	70,55	44,19	35,07	76,80	49,70
12.5.2022	13:59	400	52,89	51,58	36,47	34,57	53,41	70,52	44,42	35,09	76,80	49,87
12.5.2022	14:00	399	52,84	51,76	36,66	34,61	53,42	70,45	44,39	35,11	76,63	49,74
12.5.2022	14:01	397	52,81	51,84	36,74	34,62	53,43	70,35	44,53	35,16	76,56	50,04
12.5.2022	14:02	395	52,80	51,80	36,81	34,63	53,41	70,31	44,42	35,15	76,63	50,18
12.5.2022	14:03	395	52,79	51,83	36,90	34,66	53,42	70,38	44,39	35,18	76,39	49,77
12.5.2022	14:04	392	52,79	51,70	36,89	34,68	53,43	70,24	44,59	35,21	76,28	49,87
12.5.2022	14:05	391	52,82	52,09	36,99	34,70	53,44	70,21	44,59	35,24	76,25	50,18
12.5.2022	14:06	389	52,80	51,97	36,92	34,72	53,44	70,18	44,63	35,26	76,08	50,25
12.5.2022	14:07	391	52,81	52,05	36,96	34,73	53,44	70,18	44,73	35,28	76,04	50,49
12.5.2022	14:08	30	52,79	51,97	37,03	34,75	53,43	70,11	44,70	35,30	75,91	50,31
12.5.2022	14:09	30	52,79	52,17	37,12	34,77	53,43	70,11	44,70	35,32	75,53	50,31
12.5.2022	14:10	30	52,76	52,17	37,12	34,77	53,43	70,11	44,76	35,32	75,87	50,42
12.5.2022	14:11	30	52,76	51,97	37,06	34,80	53,42	69,90	44,76	35,35	75,67	50,59
12.5.2022	14:12	30	52,83	51,79	37,03	34,82	53,41	69,87	44,80	35,37	75,60	50,52
12.5.2022	14:13	29	52,86	52,16	37,20	34,84	53,42	69,90	44,97	35,38	75,46	50,62
12.5.2022	14:14	29	52,91	51,62	37,03	34,86	53,41	69,63	44,97	35,40	75,32	50,69
12.5.2022	14:15	29	52,91	52,04	37,26	34,91	53,40	69,66	45,07	35,43	75,22	50,72
12.5.2022	14:16	29	52,93	51,92	37,28	34,94	53,40	69,56	45,07	35,46	75,05	50,79
12.5.2022	14:17	29	52,95	51,94	37,38	34,96	53,41	69,63	45,10	35,48	74,88	50,62
12.5.2022	14:18	29	52,95	51,83	37,31	34,99	53,41	69,46	45,17	35,50	74,88	50,83
12.5.2022	14:19	29	52,95	51,81	37,36	35,02	53,40	69,35	45,21	35,53	74,71	50,93
12.5.2022	14:20	29	52,95	51,76	37,45	35,05	53,41	69,32	45,24	35,55	74,64	50,86
12.5.2022	14:21	29	52,95	51,80	37,47	35,09	53,40	69,18	45,41	35,58	74,43	51,03
12.5.2022	14:22	285	52,94	52,07	37,56	35,11	53,41	69,11	45,41	35,60	74,50	51,20
12.5.2022	14:23	283	52,93	52,12	37,61	35,13	53,40	69,15	45,41	35,63	74,26	51,10
12.5.2022	14:24	285	52,93	51,84	37,55	35,17	53,41	69,01	45,55	35,66	74,29	51,20
12.5.2022	14:25	283	52,93	51,99	37,57	35,21	53,41	69,01	45,58	35,68	73,88	51,34
12.5.2022	14:26	281	52,94	52,03	37,62	35,22	53,41	68,80	45,65	35,71	73,92	51,30
12.5.2022	14:27	274	52,95	51,53	37,58	35,24	53,41	68,80	45,72	35,74	73,81	51,34
12.5.2022	14:28	272	52,95	51,53	37,58	35,24	53,41	68,80	45,72	35,74	73,40	51,34
12.5.2022	14:29	276	52,97	52,27	37,71	35,24	53,40	68,74	45,72	35,76	73,61	51,41
12.5.2022	14:30	273	53,00	52,35	37,75	35,25	53,41	68,67	45,82	35,80	73,54	51,47
12.5.2022	14:31	271	52,99	52,28	37,80	35,26	53,38	68,53	45,92	35,81	73,47	51,44
12.5.2022	14:32	265	53,00	52,27	37,85	35,27	53,38	68,39	45,96	35,84	73,23	51,54
12.5.2022	14:33	264	53,02	52,28	37,88	35,28	53,37	68,36	46,02	35,85	72,92	51,41
12.5.2022	14:34	265	53,08	51,89	37,75	35,31	53,37	68,26	46,09	35,87	72,99	51,64
12.5.2022	14:35	264	53,12	51,61	37,65	35,32	53,37	68,12	46,13	35,90	72,82	51,54
12.5.2022	14:36	263	53,10	51,35	37,59	35,31	53,35	68,09	46,19	35,90	72,65	51,75
12.5.2022	14:37	260	53,07	51,65	37,66	35,35	53,33	68,02	46,26	35,95	72,58	51,88
12.5.2022	14:38	257	53,01	51,88	37,86	35,36	53,33	67,91	46,33	35,97	72,37	51,88
12.5.2022	14:39	254	52,97	52,26	38,00	35,38	53,33	67,78	46,40	35,99	72,37	51,92
12.5.2022	14:40	252	52,95	52,06	38,05	35,38	53,30	67,64	46,50	36,02	72,06	52,02

12.5.2022	14:41	250	52,93	52,00	38,08	35,39	53,30	67,64	46,53	36,03	72,03	52,16
12.5.2022	14:42	248	52,92	51,65	38,01	35,40	53,28	67,47	46,50	36,05	71,86	52,26
12.5.2022	14:43	246	52,90	51,88	38,14	35,42	53,27	67,40	46,60	36,07	71,65	52,36
12.5.2022	14:44	238	52,87	51,83	38,21	35,43	53,26	67,37	46,67	36,09	71,55	52,50
12.5.2022	14:45	241	52,83	51,89	38,35	35,45	53,24	67,23	46,67	36,12	71,34	52,63
12.5.2022	14:46	235	52,82	51,74	38,37	35,47	53,24	67,06	46,77	36,13	71,10	52,77
12.5.2022	14:47	237	52,81	51,81	38,42	35,50	53,22	67,02	46,70	36,16	71,03	52,94
12.5.2022	14:48	233	52,79	51,57	38,42	35,51	53,21	66,92	46,84	36,18	70,96	53,04
12.5.2022	14:49	233	52,76	51,46	38,37	35,54	53,16	66,78	46,84	36,19	70,66	53,14
12.5.2022	14:50	231	52,69	51,83	38,55	35,56	53,16	66,61	47,04	36,22	70,66	53,28
12.5.2022	14:51	228	52,66	51,81	38,58	35,58	53,15	66,58	46,98	36,24	70,45	53,42
12.5.2022	14:52	226	52,61	51,55	38,60	35,61	53,12	66,44	47,04	36,27	70,31	53,42
12.5.2022	14:53	224	52,55	51,51	38,65	35,63	53,11	66,27	47,01	36,28	70,11	53,45
12.5.2022	14:54	220	52,50	51,08	38,46	35,65	53,07	66,20	47,18	36,30	70,07	53,55
12.5.2022	14:55	217	52,45	51,13	38,53	35,67	53,05	66,03	47,35	36,32	69,76	53,49
12.5.2022	14:56	214	52,40	51,23	38,65	35,69	53,01	65,93	47,45	36,34	69,59	53,66
12.5.2022	14:57	212	52,40	50,90	38,73	35,71	53,01	65,93	47,45	36,35	69,11	53,66
12.5.2022	14:58	211	52,36	50,90	38,73	35,71	52,98	65,76	47,69	36,35	69,42	53,62
12.5.2022	14:59	210	52,28	51,06	38,65	35,71	52,97	65,72	47,86	36,39	69,28	53,69
12.5.2022	15:00	209	52,23	50,86	38,65	35,73	52,92	65,58	48,10	36,41	69,11	53,66
12.5.2022	15:01	209	52,18	51,06	38,82	35,74	52,89	65,48	48,34	36,43	68,91	53,69
12.5.2022	15:02	23	52,12	51,27	38,79	35,76	52,86	65,35	48,44	36,45	68,74	53,38
12.5.2022	15:03	23	52,07	51,08	38,72	35,76	52,83	65,17	47,83	36,48	68,46	52,46
12.5.2022	15:04	23	52,01	51,38	38,72	35,78	52,79	65,04	47,45	36,48	68,33	51,71
12.5.2022	15:05	23	51,97	51,14	38,66	35,79	52,73	64,93	47,21	36,51	68,15	51,27
12.5.2022	15:06	23	51,91	51,12	38,67	35,81	52,68	64,73	47,01	36,52	67,91	50,96
12.5.2022	15:07	22	51,88	50,83	38,53	35,81	52,64	64,59	46,94	36,54	67,85	50,72
12.5.2022	15:08	22	51,79	50,24	38,29	35,82	52,59	64,46	46,77	36,56	67,54	50,49
12.5.2022	15:09	21	51,69	50,29	38,36	35,80	52,54	64,35	46,67	36,58	67,43	50,38
12.5.2022	15:10	21	51,59	50,36	38,35	35,78	52,49	64,15	46,60	36,58	67,16	50,08
12.5.2022	15:11	21	51,44	50,71	38,37	35,75	52,43	63,94	46,50	36,60	67,02	49,97
12.5.2022	15:12	21	51,30	50,66	38,35	35,73	52,36	63,94	46,50	36,61	67,02	49,97
12.5.2022	15:13	21	51,30	50,66	38,35	35,73	52,36	63,84	46,43	36,61	66,75	49,80
12.5.2022	15:14	21	51,20	50,40	38,33	35,72	52,32	63,70	46,33	36,62	66,58	49,74
12.5.2022	15:15	21	51,09	50,40	38,36	35,70	52,23	63,46	46,16	36,63	66,13	49,53
12.5.2022	15:16	21	50,99	50,38	38,42	35,69	52,15	63,33	46,19	36,63	66,00	49,46
12.5.2022	15:17	20	50,92	50,05	38,33	35,69	52,10	63,12	46,09	36,65	65,82	49,39
12.5.2022	15:18	20	50,88	49,65	38,32	35,69	52,04	62,95	46,09	36,64	65,48	49,26
12.5.2022	15:19	20	50,79	49,85	38,39	35,69	51,98	62,88	45,99	36,65	65,24	49,16
12.5.2022	15:20	20	50,71	50,09	38,48	35,69	51,93	62,64	45,92	36,66	65,17	48,92
12.5.2022	15:21	227	50,64	49,81	38,40	35,71	51,85	62,33	45,85	36,68	64,93	48,82
12.5.2022	15:22	224	50,58	49,58	38,32	35,71	51,79	62,23	45,61	36,66	64,93	48,95
12.5.2022	15:23	228	50,48	49,58	38,22	35,71	51,74	62,06	45,68	36,68	64,49	48,92
12.5.2022	15:24	226	50,41	49,63	38,24	35,71	51,67	62,03	45,68	36,68	64,35	48,82
12.5.2022	15:25	223	50,32	49,19	38,07	35,73	51,61	61,79	45,58	36,69	64,08	48,68

12.5.2022	15:26	220	50,23	48,58	38,08	35,73	51,53	61,55	45,58	36,70	63,98	48,58
12.5.2022	15:27	217	50,13	48,78	38,17	35,72	51,47	61,41	45,48	36,69	63,63	48,54
12.5.2022	15:28	215	49,96	48,60	38,10	35,72	51,39	61,27	45,41	36,70	63,33	48,44
12.5.2022	15:29	213	49,83	48,30	38,03	35,72	51,30	61,03	45,31	36,71	63,26	48,37
12.5.2022	15:30	211	49,69	48,27	38,01	35,71	51,23	60,97	45,31	36,71	62,95	48,17
12.5.2022	15:31	208	49,51	48,62	38,04	35,71	51,15	60,69	45,27	36,71	62,64	48,20
12.5.2022	15:32	207	49,34	48,50	38,06	35,69	51,07	60,52	45,21	36,72	62,44	48,24
12.5.2022	15:33	204	49,20	48,48	38,06	35,68	50,96	60,32	45,10	36,71	62,27	48,03
12.5.2022	15:34	201	49,05	48,20	37,98	35,69	50,90	60,18	45,00	36,72	61,99	48,10
12.5.2022	15:35	199	48,94	48,09	37,85	35,69	50,80	59,80	44,97	36,72	61,85	47,79
12.5.2022	15:36	197	48,82	48,29	37,93	35,67	50,71	59,77	44,97	36,71	61,48	47,83
12.5.2022	15:37	194	48,75	48,39	37,99	35,68	50,60	59,56	44,87	36,72	61,24	47,69
12.5.2022	15:38	191	48,67	48,30	37,95	35,68	50,52	59,39	44,87	36,72	61,03	47,66
12.5.2022	15:39	189	48,61	47,99	37,91	35,68	50,43	59,22	44,80	36,71	60,79	47,56
12.5.2022	15:40	186	48,52	47,76	37,89	35,66	50,34	58,98	44,70	36,70	60,52	47,56
12.5.2022	15:41	180	48,52	47,76	37,89	35,66	50,34	58,98	44,70	36,70	59,84	47,56
12.5.2022	15:42	185	48,42	47,92	37,86	35,65	50,27	58,71	44,73	36,71	60,35	47,28
12.5.2022	15:43	181	48,32	47,58	37,85	35,65	50,17	58,61	44,59	36,72	60,04	47,35
12.5.2022	15:44	180	48,20	47,80	37,84	35,64	50,07	58,37	44,53	36,70	59,84	47,18
12.5.2022	15:45	178	48,12	47,95	37,88	35,64	50,00	58,20	44,49	36,71	59,70	47,11
12.5.2022	15:46	175	48,06	47,75	37,80	35,63	49,90	57,96	44,46	36,71	59,46	47,08
12.5.2022	15:47	172	48,01	47,63	37,76	35,63	49,83	57,75	44,36	36,71	59,05	46,91
12.5.2022	15:48	170	47,93	47,21	37,75	35,61	49,75	57,55	44,29	36,70	58,91	46,87
12.5.2022	15:49	168	47,83	47,27	37,71	35,59	49,67	57,45	44,22	36,70	58,61	46,74
12.5.2022	15:50	165	47,76	46,93	37,69	35,60	49,57	57,28	44,22	36,70	58,40	46,74
12.5.2022	15:51	163	47,67	46,72	37,59	35,58	49,48	56,93	44,08	36,71	58,30	46,67
12.5.2022	15:52	161	47,54	46,79	37,58	35,59	49,40	56,80	44,08	36,69	57,96	46,53
12.5.2022	15:53	159	47,44	46,52	37,35	35,58	49,31	56,59	44,02	36,66	57,72	46,47
12.5.2022	15:54	156	47,34	46,79	37,50	35,58	49,22	56,39	43,98	36,68	57,48	46,33
12.5.2022	15:55	154	47,27	46,66	37,46	35,56	49,13	56,25	43,95	36,69	57,24	46,30
12.5.2022	15:56	151	47,19	46,53	37,43	35,56	49,04	56,01	43,88	36,66	57,07	46,19
12.5.2022	15:57	148	47,09	46,55	37,44	35,56	48,97	55,81	43,81	36,65	56,76	46,09
12.5.2022	15:58	146	47,02	46,50	37,35	35,53	48,88	55,67	43,71	36,64	56,52	45,96
12.5.2022	15:59	144	46,95	46,48	37,39	35,52	48,80	55,43	43,71	36,64	56,25	45,85
12.5.2022	16:00	142	46,90	45,84	37,18	35,51	48,71	55,16	43,51	36,64	56,08	46,06
12.5.2022	16:01	140	46,84	45,93	37,20	35,47	48,63	54,99	43,57	36,63	55,84	45,68
12.5.2022	16:02	138	46,74	46,05	37,24	35,47	48,54	54,85	43,40	36,62	55,77	45,65
12.5.2022	16:03	135	46,66	46,06	37,19	35,45	48,45	54,58	43,44	36,62	55,29	45,44
12.5.2022	16:04	133	46,58	45,91	37,18	35,45	48,38	54,34	43,37	36,61	55,19	45,24
12.5.2022	16:05	131	46,50	45,78	37,12	35,43	48,29	54,27	43,20	36,60	54,99	45,58
12.5.2022	16:06	129	46,43	45,53	36,97	35,41	48,20	54,03	43,20	36,59	54,71	45,31
12.5.2022	16:07	122	46,36	45,61	37,06	35,40	48,11	53,86	43,13	36,59	54,51	45,14
12.5.2022	16:08	79	46,31	45,52	37,06	35,39	48,04	53,59	42,96	36,58	54,37	45,04
12.5.2022	16:09	30	46,31	45,43	37,02	35,37	48,04	53,59	42,96	36,58	53,76	45,04
12.5.2022	16:10	21	46,24	45,43	37,02	35,37	47,96	53,55	42,93	36,58	53,96	44,90

12.5.2022	16:11	21	46,17	45,29	36,92	35,36	47,86	53,18	42,86	36,56	53,86	44,97
12.5.2022	16:12	21	46,07	44,72	36,83	35,34	47,79	53,01	42,82	36,56	53,62	44,63
12.5.2022	16:13	21	45,95	44,35	36,71	35,30	47,68	52,87	42,76	36,54	53,25	44,46
12.5.2022	16:14	21	45,79	44,20	36,69	35,27	47,58	52,46	42,55	36,54	53,04	44,59
12.5.2022	16:15	20	45,61	44,65	36,73	35,24	47,47	52,50	42,62	36,50	52,70	44,29
12.5.2022	16:16	20	45,45	44,64	36,72	35,21	47,36	52,12	42,52	36,50	52,67	44,39
12.5.2022	16:17	20	45,29	43,92	36,68	35,16	47,25	51,95	42,38	36,48	52,29	44,05
12.5.2022	16:18	19	45,16	42,95	36,59	35,13	47,16	51,44	42,42	36,46	51,88	43,47
12.5.2022	16:19	19	45,07	42,01	36,56	35,11	47,06	51,03	42,38	36,45	51,68	43,98
12.5.2022	16:20	19	44,94	41,53	36,51	35,08	46,96	51,03	42,21	36,41	51,44	43,64
12.5.2022	16:21	19	44,84	41,31	36,43	35,04	46,87	50,76	42,14	36,40	51,41	43,37
12.5.2022	16:22	19	44,73	41,08	36,41	35,00	46,77	50,52	42,18	36,37	51,13	43,51
12.5.2022	16:23	19	44,73	41,08	36,41	35,00	46,77	50,52	42,18	36,37	50,66	43,51
12.5.2022	16:24	19	44,64	40,89	36,40	34,97	46,67	50,25	41,97	36,35	50,83	43,47
12.5.2022	16:25	19	44,50	40,70	36,38	34,95	46,58	50,08	42,04	36,33	50,72	43,34
12.5.2022	16:26	19	44,39	40,31	36,28	34,90	46,46	50,08	41,87	36,32	50,52	43,20
12.5.2022	16:27	19	44,24	40,24	36,22	34,87	46,35	49,57	41,63	36,29	50,28	43,17
12.5.2022	16:28	18	44,07	40,29	36,17	34,84	46,25	49,50	41,57	36,26	50,11	43,27
12.5.2022	16:29	18	43,89	40,00	36,07	34,81	46,13	49,26	41,57	36,22	49,74	43,06
12.5.2022	16:30	18	43,65	39,90	36,05	34,78	46,02	49,02	41,53	36,22	49,70	42,65



## Vitrages Décision 5.2.23 - Study report - Integrated calculation

Date: 10/27/2022 - Time: 12:2:17

Project reference: Diplomski rad

Glazing: ExtraClear® LamiGlass 66.2 12 + Ar90 16 + ExtraClear® Float (6mm) 6

Description: Shadow box

### Calculations performed

- |  |  |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Solar characteristics                        | <input checked="" type="checkbox"/> Light characteristics          |
| <input type="checkbox"/> Glazing solar factor                                    | <input type="checkbox"/> Bay solar factor                          |
| <input type="checkbox"/> Glazing U-Value   |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Maximal temperatures                         | <input checked="" type="checkbox"/> Thermal breakage               |
| <input type="checkbox"/> Sliding sash  |  |
| <input type="checkbox"/> Maximum stresses based on combinations of actions (MPa) |  |
| <input type="checkbox"/> Eurocode  |  |
| <input type="checkbox"/> Sealing joint   | <input type="checkbox"/> Sealing joint, structural sealant glazing |
| <input checked="" type="checkbox"/> Interpretation according to the french norms |  |

### Compositions

Number of panes: 2

**Pane 1: GUARDIAN-EUROPE - ExtraClear® LamiGlass 66.2 - (VD)**

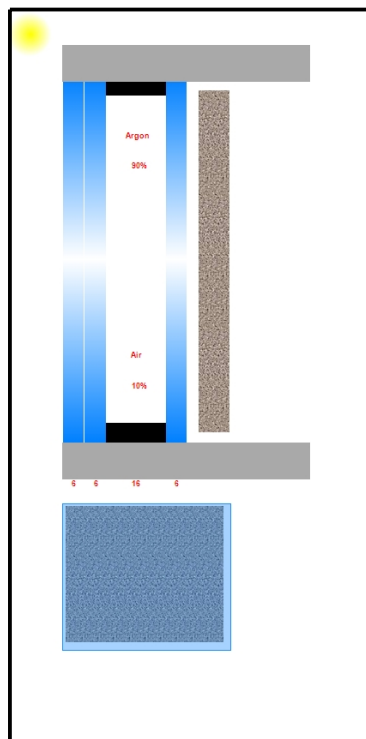
Composition: laminated glass      Thickness: 12 mm

**Gas gap 1:**      Thickness: 16 mm

Mixed gas gap with 90% Argon 0% Krypton 0% Xenon and 10% Air

**Pane 2: GUARDIAN-EUROPE - ExtraClear® Float (6mm) - (VD)**

Composition: Monolithic      Thickness: 6 mm



User name: KORISNIK

License N°: 258340

Company: KFK

Tel: 01234567 / Fax: 02345677

E-mail: KORISNIK@gmail.com

Calculation software verified  
EN 410 and EN 673  
Rapport nr 89206581

**GINGER**  
CEBTP





## Vitrages Décision 5.2.23 - Study report - Integrated calculation

Date: 10/27/2022 - Time: 12:2:17

Project reference: Diplomski rad

Glazing: ExtraClear® LamiGlass 66.2 12 + Ar90 16 + ExtraClear® Float (6mm) 6

Description: Shadow box

Total glazing thickness: 34 mm

	Solar characteristics							Light characteristics				
	Te(%)	Re1(%)	Ab1(%)	Emn1(%)	Re2(%)	Ab2(%)	Emn2(%)	Tl(%)	Rl1(%)	Ab1(%)	Rl2(%)	Ab2(%)
Pane 1	72	7	21	89	7	21	89	89	8	3	8	3
Pane 2	84	8	8	89	8	8	89	90	8	2	8	2

### Dimensions / Assembling

Dimensions: (Height x Width): 1732 x 1070 mm

Surface: 1,85324 m<sup>2</sup>

Glass slope / horizontal: 90°

Conditions of supports: In rebate - on 4 sills

Framing: immovable

Frame: Aluminium not connected to structure

### Blind

With blind: no

### Localization

Project out of France: yes

Weather station: Kutina - Croatia

Project altitude: 97 m

Height above ground: 2 m

Glazing altitude: 99 m

### Thermal

Climatic conditions: specific

#### Orientation

- North
                      North - East
                      East
                      South - East  
 South
                      South - West
                      West
                      North- West  
 Standard climatic conditions

Cast shadow: yes

### Climatic conditions used for the calculations

#### Maximal temperatures - Sealing joint

	Flux (W/m <sup>2</sup> )	he (W/m <sup>2</sup> K)	hi (W/m <sup>2</sup> K)	Te max (°C)	Ti max (°C)
South - Spring	793	11	9	11	20
South - Summer	493	13	9	34	34

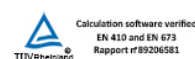
User name: KORISNIK

License N°: 258340

Company: KFK

Tel: 01234567 / Fax: 02345677

E-mail: KORISNIK@gmail.com



Calculation software verified  
EN 410 and EN 673  
Rapport nr 89206581





## Vitrages Décision 5.2.23 - Study report - Integrated calculation

Date: 10/27/2022 - Time: 12:2:17

Project reference: Diplomski rad

Glazing: ExtraClear® LamiGlass 66.2 12 + Ar90 16 + ExtraClear® Float (6mm) 6

Description: Shadow box

	Flux (W/m <sup>2</sup> )	he (W/m <sup>2</sup> K)	hi (W/m <sup>2</sup> K)	Te max (°C)	Ti max (°C)
South - Autumn	789	11	9	22	20

### Thermal breakage

	Flux (W/m <sup>2</sup> )	he (W/m <sup>2</sup> K)	hi (W/m <sup>2</sup> K)	Te max (°C)	Ti max (°C)
South - Spring	830	17	17	31	31
South - Summer	493	13	9	34	25
South - Autumn	789	11	9	22	20
South - Winter	833	11	9	-1	20

### Spandrel / Backups / Heater

- Presence of spandrel
- Opaque spandrel

Geometry (mm)			Peripheral gaps (mm)			Rth (m <sup>2</sup> K/w)	Colour	Te (%)	Re (%)	Em (%)
Height	Width	Distance	High	Low	Lateral					
1732	1070	34	0	0	0	5,73	(*)	0	10	90

(\*): Black



## Vitrages Décision 5.2.23 - Study report - Integrated calculation

Date: 10/27/2022 - Time: 12:2:17

Project reference: Diplomski rad

Glazing: ExtraClear® LamiGlass 66.2 12 + Ar90 16 + ExtraClear® Float (6mm) 6

Description: Shadow box

### Solar characteristics

#### Glazing alone

Solar global characteristics: Transmittance: 0,61  
Reflectance: 0,11  
Absorption: 0,28

Effective absorption - Pane 1: 0,2222

Effective absorption - Pane 2: 0,0579

#### Glazing + Obstacle

Solar global characteristics: Transmittance: 0,00  
Reflectance: 0,15  
Absorption (Glazing + Obstacle): 0,85

Effective absorption - Pane 1: 0,2331

Effective absorption - Pane 2: 0,0631

Absorption - Opaque spandrel: 0,5546

### Light characteristics

#### Glazing alone

Light global characteristics: Transmittance: 0,81  
Reflectance: 0,14  
Absorption: 0,05

### Maximal temperatures (°C)

Opaque spandrel

	Pane 1	Lgas 1	Pane 2	Wall 1	Wall 2
South - Spring	70,3	94,9	119,5	150,9	22,5
South - Summer	65,1	82,0	98,8	121,8	35,7
South - Autumn	80,9	103,9	126,9	156,8	22,6

Temperature Pane 1: 80,9 °C

Temperature Pane 2: 126,9 °C

Temperature Lgas 1: 103,9 °C

Temperature Wall (glazing slide) 1: 156,8 °C

Temperature Wall (glazing slide) 2: 35,7 °C

Wall (glazing slide) 1: Wall (glazing slide)

Wall (glazing slide) 2: Wall (glazing slide) indoors

User name: KORISNIK

License N°: 258340

Company: KFK

Tel: 01234567 / Fax: 02345677

E-mail: KORISNIK@gmail.com



Calculation software verified  
EN 410 and EN 673  
Rapport nr 89206581





## Vitrages Décision 5.2.23 - Study report - Integrated calculation

Date: 10/27/2022 - Time: 12:2:17

Project reference: Diplomski rad

Glazing: ExtraClear® LamiGlass 66.2 12 + Ar90 16 + ExtraClear® Float (6mm) 6

Description: Shadow box

In a general way the maximum temperature on the sealing joint should not exceed 60 °C.

### Thermal breakage

Opaque spandrel

	Max difference on T(°C) Pane 1	Max difference on T(°C) Pane 2
South - Spring	37,4	84,2
South - Summer	26,1	56,1
South - Autumn	53,1	95,1
South - Winter	56,0	104,6

Max difference on T(°C) Pane 1: 56,0

Max difference on T(°C) Pane 2: 104,6

**Allowable temperature difference according to NF DTU39 P3 Framing type (outside glass):**  
The type of roof glazing shall also satisfy the requirements of DTU 39 P5 (Safety Memento)

	Admissible T. diff (°C)
Laminated glass smooth ground	42,0
Laminated glass symmetrical smooth ground with all panes > 4 mm	42,0
Monolithic raw annealed	35,0
Laminated glass symmetrical raw annealed with all panes > 4 mm	35,0
Laminated glass symmetrical smooth ground with one or more panes < 3 mm	35,0
Laminated glass unsymmetrical smooth ground	35,0
Printed raw annealed or smooth ground	32,0
Laminated glass unsymmetrical raw annealed	26,0
Laminated glass symmetrical raw annealed with one or more panes < 3 mm	26,0
Laminated glass symmetrical sawed with all panes > 4 mm	26,0
Laminated glass unsymmetrical sawed	25,0
Wired	23,0
Toughened or strengthened enamelled glass	150,0
Strengthened glass	215,0
Strengthened printed glass	170,0
Printed enamelled glass	130,0

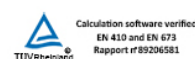
User name: KORISNIK

License N°: 258340

Company: KFK

Tel: 01234567 / Fax: 02345677

E-mail: KORISNIK@gmail.com



Calculation software verified  
EN 410 and EN 673  
Rapport nr 89206581



**GRAPHICS**



Figure 1. Frame section.

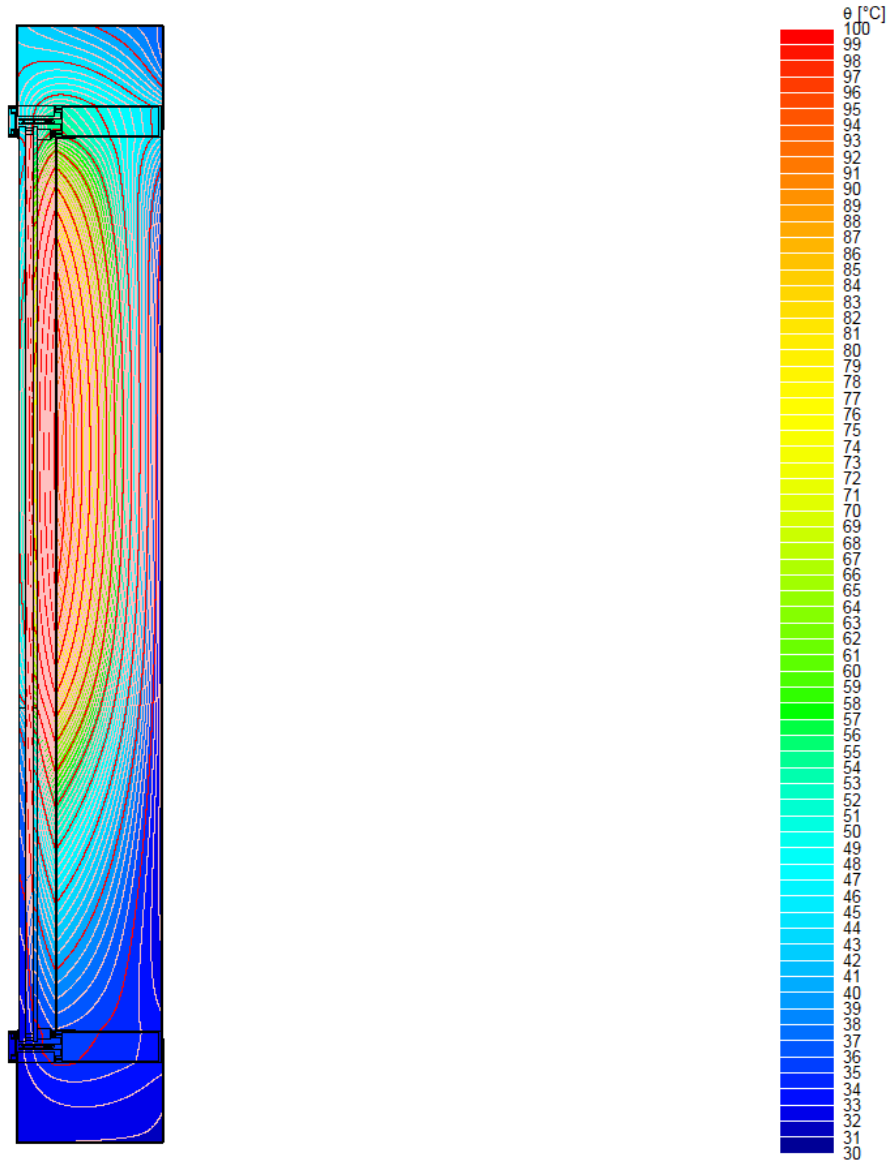


Figure 2. Isotherms (colour increment of 1°C, line increment of 5°C).

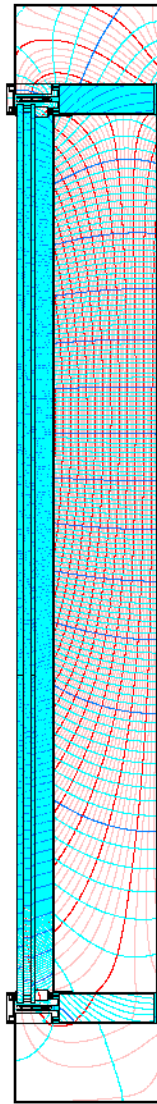


Figure 3. Heat flow lines (increment 0.1 W/m).

## **BISCO DATA SUMMARY**

BISCO data file name           **Shadow box.bsc**  
Bitmap file name               **Shadow box.bmp**  
Pixel width                    **0.0003 m**  
Triangulation size             **5 pixels**  
Number of nodes               **299287**

### Material thermal conductivity table

Col.	Name	lambda [W/mK]	eps [-]
4	aluminium	160.000	
5	aluminium	160.000	
8	aluminium	160.000	
9	aluminium	160.000	
10	aluminium	160.000	
13	steel	50.000	
14	steel	50.000	
15	steel	50.000	
18	soda_lime	1.000	
19	soda_lime	1.000	
21	soda_lime	1.000	
22	soda_lime	1.000	
23	aluminium	160.000	
35	spacer	0.150	
44	polyamide_6.6_with_25_	0.300	
60	EPDM	0.250	
62	purenit	0.075	
86	polysulfide	0.400	
151	insulation_0.035_W/mK_	0.035	
252	cavity_<2x2_mm2	0.031	

### Boundary condition table

Col.	Name	t [°C]	h [W/m <sup>2</sup> K]	q [W/m <sup>2</sup> ]
170	exterior	31.0	16.50	0

### Cavity equivalent thermal conductivity table

Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]	Col.	lambda [W/mK]
81	0.147	192	0.060	193	0.985	194	0.063
195	0.074	196	0.302	197	0.090	198	0.094
201	0.048	203	0.343	204	0.764	205	0.045
207	0.068	208	0.246	209	0.081	210	0.083
213	0.058	214	0.043				



# FULL BISCO DATA

BISCO - Input Data

BISCO data file: Shadow box.bsc

Bitmap file: Shadow box.bmp

1 pixel = 0.0003 m

Col.	Width [pixels]	Width [m]	Height [pixels]	Height [m]	Area [pixels]	Zones	Triang.Size [pixels]
4	5	0.0015	183	0.0549	915	1	5.00
5	5	0.0015	183	0.0549	915	1	5.00
8	970	0.2910	6046	1.8138	50848	4	5.00
9	7	0.0021	6046	1.8138	42322	1	5.00
10	123	0.0369	3603	1.0809	25910	1	5.00
13	927	0.2781	7060	2.1180	22041	2	5.00
14	7	0.0021	573	0.1719	4011	1	5.00
15	21	0.0063	573	0.1719	4025	4	5.00
18	42	0.0126	3667	1.1001	154014	1	5.00
19	20	0.0060	3667	1.1001	73340	1	5.00
21	42	0.0126	2107	0.6321	88494	1	5.00
22	20	0.0060	2107	0.6321	42140	1	5.00
23	123	0.0369	2043	0.6129	14990	1	5.00
35	54	0.0162	5726	1.7178	2160	2	5.00
44	206	0.0618	5880	1.7640	4708	2	5.00
60	260	0.0780	5748	1.7244	3103	4	5.00
62	230	0.0690	6046	1.8138	41844	4	5.00
81	54	0.0162	5686	1.7058	307044	1	5.00
86	54	0.0162	5770	1.7310	2376	2	5.00
151	920	0.2760	7046	2.1138	4678828	3	5.00
170	2740	0.8220	7060	2.1180	12866685	2	
192	14	0.0042	31	0.0093	394	1	5.00
193	644	0.1932	179	0.0537	110491	1	5.00
194	27	0.0081	32	0.0096	784	1	5.00
195	35	0.0105	165	0.0495	4282	1	5.00
196	280	0.0840	119	0.0357	15063	1	5.00
197	60	0.0180	23	0.0069	1345	1	5.00
198	62	0.0186	23	0.0069	1379	1	5.00
201	17	0.0051	30	0.0090	455	1	5.00
203	115	0.0345	5646	1.6938	641478	1	5.00
204	644	0.1932	179	0.0537	110497	1	5.00
205	17	0.0051	31	0.0093	462	1	5.00
207	35	0.0105	165	0.0495	4281	1	5.00
208	280	0.0840	119	0.0357	15062	1	5.00
209	60	0.0180	23	0.0069	1345	1	5.00
210	62	0.0186	23	0.0069	1378	1	5.00
213	27	0.0081	32	0.0096	790	1	5.00
214	14	0.0042	31	0.0093	394	1	5.00
252	304	0.0912	6038	1.8114	3807	81	5.00

Col.	Type	Subtype	Phys. flow	Geom. flow	Name	eps1 / eps2 [- / -]
4	MATERIAL				aluminium	
5	MATERIAL				aluminium	
8	MATERIAL				aluminium	
9	MATERIAL				aluminium	
10	MATERIAL				aluminium	
13	MATERIAL				steel	
14	MATERIAL				steel	
15	MATERIAL				steel	
18	MATERIAL				soda_lime	
19	MATERIAL				soda_lime	
21	MATERIAL				soda_lime	
22	MATERIAL				soda_lime	
23	MATERIAL				aluminium	
35	MATERIAL				spacer	
44	MATERIAL				polyamide_6.6_with_25_%_g	
60	MATERIAL				EPDM	
62	MATERIAL				purenit	
81	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	air_space	0.90 / 0.90
86	MATERIAL				polysulfide	
151	MATERIAL				insulation_0.035_w/mK_	
170	BC_SIMPL	NIHIL			exterior	
192	EQUIMAT	CAVITY	HOR	Y		0.90 / 0.90
193	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90
194	EQUIMAT	CAVITY	HOR	Y		0.90 / 0.90
195	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90
196	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90
197	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X		0.90 / 0.90

198	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
201	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
203	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
204	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
205	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
207	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
208	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
209	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
210	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
213	EQUIMAT	CAVITY	HOR	Y	0.90 / 0.90
214	EQUIMAT	CAVITY	HOR	X	0.90 / 0.90
252	MATERIAL				cavity_<2x2_mm2

Col.	lambda [W/mK]	eps [-]	t [°C]	h [W/m2K]	q [W/m2]	ta [°C]	hc [W/m2K]	Pc [W/m]	tr [°C]	Standard
4	160.000									
5	160.000									
8	160.000									
9	160.000									
10	160.000									
13	50.000									
14	50.000									
15	50.000									
18	1.000									
19	1.000									
21	1.000									
22	1.000									
23	160.000									
35	0.150									
44	0.300									
60	0.250									
62	0.075									
81	0.147									EN10077
86	0.400									
151	0.035									
170			31.0	16.50	0					NIHIL
192	0.060									EN10077
193	0.985									EN10077
194	0.063									EN10077
195	0.074									EN10077
196	0.302									EN10077
197	0.090									EN10077
198	0.094									EN10077
201	0.048									EN10077
203	0.343									EN10077
204	0.764									EN10077
205	0.045									EN10077
207	0.068									EN10077
208	0.246									EN10077
209	0.081									EN10077
210	0.083									EN10077
213	0.058									EN10077
214	0.043									EN10077
252	0.031									EN10077

Borderline BCs

No.	Col.1	Col.2	Type	t [°C]	q [W/m2]
1	170	18	FLUX		106.993
2	170	21	FLUX		7.459
3	81	19	FLUX		28.963
4	81	22	FLUX		2.019
5	203	10	FLUX		254.561
6	203	23	FLUX		17.747
7	170	5	FLUX		413.1
8	170	4	FLUX		28.8
9	170	15	FLUX		229.5
10	170	14	FLUX		16

Calculation parameters

Contour approximation margin (triangulation) = 0 pixels  
Iteration cycles = 5  
Automatic recalculation of thermal values  
Use solution temperatures in recalculation of thermal values  
Default temperature difference for hc calculation = 5°C  
Bitmap border is no axis of symmetry  
Maximum number of iterations (per iteration cycle) = 10000  
Maximum temperature difference = 0.0001°C  
Heat flow divergence for total object = 0.001 %  
Heat flow divergence for worst node = 1 %

# FULL BISCO RESULTS

## BISCO Calculation Results

BISCO data file: Shadow box.bsc

Number of nodes = 299287

Heat flow divergence for total object = 0.000987414

Heat flow divergence for worst node = 0.135418

Col.	Type	Name	tmin [°C]	tmax [°C]	ta [°C]	flow in [W/m]	flow out [W/m]
4	MATERIAL	aluminium	32.26	32.28			
5	MATERIAL	aluminium	45.80	46.06			
8	MATERIAL	aluminium	32.25	55.91			
9	MATERIAL	aluminium	31.40	44.20			
10	MATERIAL	aluminium	54.38	96.11			
13	MATERIAL	steel	31.83	44.19			
14	MATERIAL	steel	32.04	32.27			
15	MATERIAL	steel	43.43	45.69			
18	MATERIAL	soda_lime	42.67	53.04			
19	MATERIAL	soda_lime	50.62	77.61			
21	MATERIAL	soda_lime	32.66	44.38			
22	MATERIAL	soda_lime	34.14	60.01			
23	MATERIAL	aluminium	35.61	71.98			
35	MATERIAL	spacer	32.93	51.60			
44	MATERIAL	polyamide_6.6_w	32.50	54.24			
60	MATERIAL	EPDM	32.22	56.39			
62	MATERIAL	purenit	32.25	56.47			
81	EQUIMAT	air_space	32.91	76.50			
86	MATERIAL	polysulfide	32.99	50.98			
151	MATERIAL	insulation_0.03	31.41	96.11			
170	BC_SIMPL	exterior	31.40	50.36		10.54	328.98
192	EQUIMAT		52.94	53.27			
193	EQUIMAT		44.12	55.67			
194	EQUIMAT		45.66	45.69			
195	EQUIMAT		45.67	46.06			
196	EQUIMAT		45.69	55.33			
197	EQUIMAT		47.00	50.25			
198	EQUIMAT		50.40	54.00			
201	EQUIMAT		45.67	45.70			
203	EQUIMAT		34.68	96.11			
204	EQUIMAT		33.56	35.86			
205	EQUIMAT		32.27	32.37			
207	EQUIMAT		32.25	32.28			
208	EQUIMAT		32.27	35.78			
209	EQUIMAT		32.91	34.05			
210	EQUIMAT		34.11	35.47			
213	EQUIMAT		32.25	32.26			
214	EQUIMAT		35.26	35.36			
252	MATERIAL	cavity_<2x2_mm2	32.22	56.36			