

Proračun energetske pokazatelja prozora

Marković, Anja

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:155731>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Anja Marković

PRORAČUN ENERGETSKIH POKAZATELJA PROZORA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: Zvonimir Glasnović, izv.prof.dr.sc.

Članovi ispitnog povjerenstva:

Zvonimir Glasnović, izv.prof.dr.sc.

Igor Sutlović, izv. prof. dr. sc.

Juraj Šipušić, izv. prof. dr.sc.

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

Prozori su jedni od najvažnijih elemenata u strukturi zgrada. Njihova važnost leži u pružanju neophodnog dnevnog svjetla, svježeg zraka i topline prostoriji. U cilju štednje energije i sredstava, stavlja se veliki naglasak na energetske učinkovitost prozora, odnosno sposobnost održavanja željene temperature prostorije sa što manjim utroškom energije. Prozor ima svoju energetske bilancu koja se sastoji od dobitka topline putem Sunčeva zračenja i gubitka topline. Na energetske učinkovitost prozora utječu svi elementi prozora: staklo, okvir te način montiranja, odnosno 'spoj' prozora sa zidom, pri čemu najveći utjecaj ima staklo budući da zauzima najveću površinu (90-95 %). Stakla mogu biti čista, obojena, s reflektirajućim premazima i filmovima, premazima s niskom emisijom, a također postoje i jedinice s inertnim plinom između staklenih površina. Aluminijski, čelik, drvo, polivinil-klorid te razne modifikacije i kombinacije tih materijala se koriste kao okvirovi. Mehanizmi prijenosa topline kroz prozor uključuju konvekciju, kondukciju i radijaciju. Toplinska energija može proći kroz prozor (transmisija), apsorbirati se ili reflektirati. Bitni faktori pri proučavanju energetske učinkovitosti su: ukupna vrijednost prijenosa topline (koeficijent U), dobit sunčeve energije (SHGC), koeficijent zamračenja (SC), transmisija vidljivog svjetla (VT), propuštanje zraka, omjer svjetlo-dobit Sunčeve energije (LSG) i kontrola toplinskog zračenja, koje sve uzimamo u obzir prilikom odabira prozora koji se vrši pomoću proračuna energetske pokazatelja prozora kako bismo dobili najpogodniju vrstu prozora (vrsta stakla, okvir, spoj između prozora i zida) za određeno klimatsko podneblje, orijentaciju prozora i željenu estetiku prostorije, a vrijednosti dobivene proračunom uspoređuju se s propisanim normama. Verifikacija proračuna energetske pokazatelja prozora napravljena je za primjer obiteljske stambene zgrade u Zagrebu, pri čemu se dobiveni rezultati u potpunosti slažu s očekivanim vrijednostima.

ključne riječi: prozor, energetske učinkovitost, dobitak topline, gubitak topline, energetske pokazatelji, U koeficijent, proračun

SUMMARY

Windows are one of the most important elements of the building structure. Their importance lies in providing necessary daylight, fresh air and warmth to the room. U cilju štednje energije i sredstava, stavlja se veliki naglasak na energetske učinkovitost prozora, odnosno sposobnost održavanja željene temperature prostorije sa što manjim utroškom energije. Window has its own energy balance which consists of solar gain through solar radiation and heat loss. All window elements affect the energy efficiency of a window: glass, which has the biggest impact considering its big surface (90-95 %), frame and the method of installation. Window glass can be clean, tinted, with reflective coatings, films or low emissivity coatings. There are also IGUs - insulated glazing units with inert gases between glass surfaces. Aluminium, steel, wood, PVC (polyvinyl chloride) and many modifications and combinations of these materials are used as frame materials. Heat transfer mechanisms include conduction, convection and radiation. Heat can be transmitted, absorbed or reflected of the window surface. The most important energy indicators of a window are: total heat transfer value (U factor), solar heat gain coefficient (SHGC), shading coefficient (SC), visible transmittance (VT), air leakage, light-to-solar-gain ratio (LSG) and solar radiation control. In order to choose the most suitable window (glass and frame type, window joint) for a certain climate area, window orientation and wanted room aesthetics, an estimation of these properties is conducted. Values obtained by this estimation are compared to prescribed norms. The verification of the estimation of windows energy indicators was made for an example of a residential family building in Zagreb, which showed that obtained results match the expected values.

key words: window, energy efficiency, heat gain, heat loss, energy indicators, U factor, estimation

SADRŽAJ

1. UVOD

1.1. Općenito.....	5
--------------------	---

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Elementi prozora.....	8
----------------------------	---

2.2. Prijenos topline kroz prozor

2.2.1. Mehanizmi prijenosa topline.....	9
---	---

2.2.2. Najvažnije energetske karakteristike prozora.....	10
--	----

2.3. Vrste i svojstva elemenata prozora

2.3.1. Staklene površine i njihova obrada.....	13
--	----

2.3.2. Okviri.....	19
--------------------	----

2.3.3. Spoj prozora.....	22
--------------------------	----

3. PRORAČUN

3.1. Temelji i opis proračuna.....	28
------------------------------------	----

3.2. Primjeri proračuna za različite vrste prozora.....	36
---	----

4. RASPRAVA.....

	50
--	----

5. ZAKLJUČAK.....

	59
--	----

6. POPIS SIMBOLA.....

	60
--	----

7. LITERATURA.....

	61
--	----

8. ŽIVOTOPIS.....

	63
--	----

1. UVOD

1.1. Općenito

Unatoč velikim dometima u razvoju sustava za osvjetljavanje i ventilaciju, sve prednosti prozora je nemoguće u potpunosti nadomjestiti. Neovisno promatramo li s aspekta arhitekture i dizajna, osjećaja ugone u prostoriji, zdravlja ili energetske bilance objekta, prozor se ističe kao jedan od ključnih faktora prostorije. Vrsta prozora, odnosno korišteni materijali, veličina i položaj iznimno utječu na doživljaj prostorije. Prirodno danjeg svjetlo i svjež zrak je potreba od životne važnosti. Pogotovo ako se radi o prostoru u kojem se boravi duže vremena, nužna je prisutnost prozora kako bi se čovjeku pružio osjećaj za doba dana i godine i bar u nekoj mjeri povezanost s prirodom. Nedostatak prozora, odnosno nedovoljna količina svjetlosti i svježeg zraka u prostoriji uzrokuje osjećaj tjeskobe i klaustrofobije i negativno utječe na zdravlje i produktivnost. Za percepciju nekog prostora također je bitan i pogled koji prozor pruža, pa tako atraktivan pogled može znatno povećati vrijednost nekretnine. S energetskeg stajališta, s dovoljnom količinom svjetlosti koja ulazi u prostoriju, smanjuje se količina energije potrebna za osvjetljavanje, a ponekad i grijanje (tzv. dobitak topline) prostora, pod uvjetom da je sustav za osvjetljavanje dizajniran tako da je u ravnoteži s brojem i smještajem prozora. Integrirani sustav danje/električno svjetlo je kvalitetno rješenje, premda skuplje. Pomoću foto-senzora sustav za osvjetljenje reagira na količinu ulaznog svjetla izvana tako da automatski ili gasi određene elemente osvjetljenja ili prigušuje svjetlost. Još jedna očita karakteristika životnog ili radnog prostora koja je uvelike određena odabirom odgovarajuće vrste prozora je toplinska udobnost. Preniska ili previsoka temperatura, prevelika vlaga i nedostatak nužno potrebnog kisika za normalno funkcioniranje ljudskog organizma može dovesti do raznih oboljenja i narušavanja općenitog zdravstvenog stanja, odnosno imuniteta. Eventualne pukotine u okviru ili spoju prozora sa zidom zbog čega dolazi do neželjenog ulaska vanjskog zraka u prostoriju i curenja zraka iznutra prema van što je posebno bitno u hladnijim mjesecima, su još jedna opasnost za ljudsko zdravlje. Zato je pri dizajnu i odabiru prozora potrebno obratiti veliku pozornost na klimatsko podneblje u kojem se nalazi zgrada, odnosno temperaturne raspone, sunčane sate, brzinu i najučestaliji smjer vjetrova, intenzitet kiše, vrijeme trajanja hladnijeg vremena i

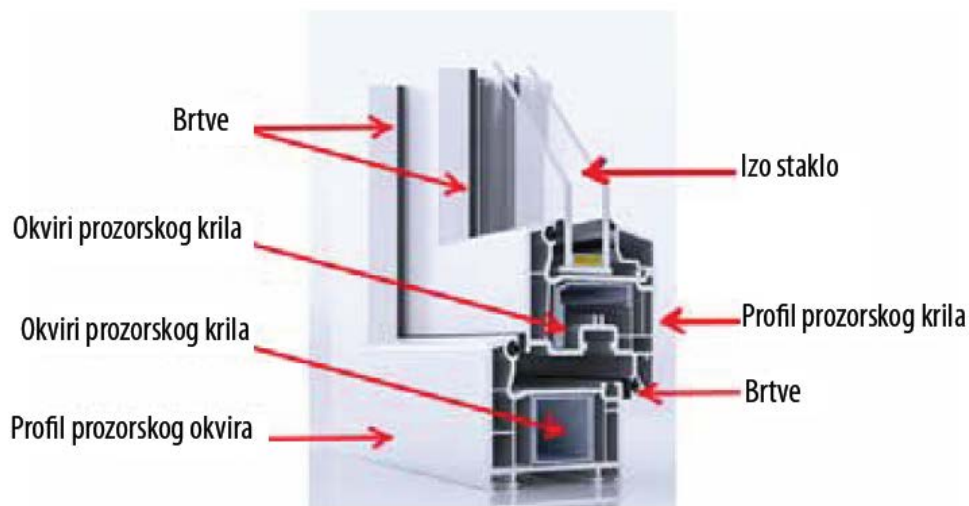
opterećenje uzrokovano količinom snijega. [1] Nekvalitetni prozori tijekom zime imaju hladnu površinu. Zbog toga se i zrak u blizini prozora hladi, postaje gušći, pada niz prozor i jer postaje još hladniji, ubrzava. Budući da je površina prozora hladnija od ostalih površina u prostoriji, stanar u blizini prozora može zračiti više topline prema prozoru nego prema ostatku prostorije (osjećaj jeze). [2] Neželjeno curenje zraka, kao i hladne površine prozora mogu dovesti do pojave kondenzacije, a samim time i do pojave plijesni.. Previše svjetla, bilo direktno iz izvora svjetla ili indirektno zbog reflektirajućih površina, je neugodno za ljudsko oko i ometa normalno funkcioniranje i rad stanara ili zaposlenika objekta, što pogotovo vrijedi za prostorije u kojima se koriste računala. S obzirom na debljinu i materijal prozora u odnosu na zid i mogućnost postojanja mnogih otvor i šupljina ili nemogućnosti pravilnog zatvaranja prozora zbog nepravilne instalacije ili istrošenosti brtvi, prozor uvelike utječe na količinu buke koja ulazi u prostoriju. Prevelika buka onemogućuje nesmetan rad kao i prijeko potreban odmor, pogotovo noću. Dobra akustična izolacija je od velike važnosti za objekte koji se nalaze u blizini velikih izvora buke kao što su kolodvori, aerodromi ili sportski objekti. Zbog toga prije početka dizajniranja arhitekti i inženjeri provode analizu koja započinje s ispitivanjem učestalosti i amplitude buke kojoj je zgrada izložena kao funkcije doba godine i dana. Na temelju rezultata ispitivanja odabire se optimalna izvedba prozora, najčešće akustično poboljšane verzije uobičajenih proizvoda. To su prozori s dvostrukim ili trostrukim ostakljenjem, PVB (poli-vinil-butiral) folijom između staklenih površina (tzv. laminirano staklo), dodatnim brtvama ili gumenim trakama za zatvaranje pukotina. Težina takvih proizvoda može uzrokovati teže otvaranje i zatvaranje, a ako se radi o dvostrukim prozorima s monolitnom vanjskom staklenom površinom otpornost na dugotrajan i snažan vjetar će biti manja. Upravo izdržljivost prozora, odnosno njegova otpornost na strukturna opterećenja je također zahtjev koji prozor mora ispuniti. Koristeći izdržljivije materijale ili povećavajući površinu okvira prozora kako bi ispravno odgovorili na opterećenja možemo negativno utjecati na toplinsku izvedbu prozora s obzirom da izdržljiviji materijali koji se uglavnom koriste za okvire u komercijalnim zgradama imaju veću provodljivost nego drvo ili plastika, a povećana površina okvira vodi do većeg gubitka energije (veći U-faktor i niži koeficijent dobitka solarne topline) s obzirom da se upravo na okviru i njegovom spoju gubi veliki dio topline. Pri poboljšanju vatrootpornosti prozora radi se na poboljšanju karakteristika svih elemenata prozora – stakla, okvira i spoja, odnosno brtvi.

Izvedbe stakla otporne na vatru uključuju staklo s ugrađenim tankim žicama, staklenu keramiku u kombinaciji s izolacijskim staklom i višestruke staklene površine s materijalom koji bubri. Kako bi se poboljšale i energetske karakteristike prozorskog sustava takvi materijali se mogu kombinirati sa staklima niske emisije, premazima sa solarnom kontrolom, primjenjenim filmovima i laminiranim staklom. Također, jedna od opcija je i da se s jedne strane staklene jedinice postavlja vatrootoprno staklo, a s druge kaljeno ili termički obrađeno staklo. Otpornost na vatru kod poboljšanih verzija prozora je od 20 minuta do čak 3 sata. Pri dizajniranju vatrootpornih prozorskih sustava bitno je pripaziti na to da vatrootporne verzije određenih proizvoda nisu dostupne u svim veličinama i da je unutarnji sustav prskalica za slučaj požara postavljen tako da mu prozori nisu dometu s obzirom da se vruće staklo može rasprsnuti kada je na njega usmjerena voda iz prskalice. [1]

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Elementi prozora

Prozorski sklop (Slika 1) se dijeli na tri osnovna područja: staklo, koje zauzima 95 % cjelokupne površine prozora, okvir i spoj prozora s okolnim zidom. Većina prozora sadrži više staklenih površina, najčešće dvije, a postoje i oni s četiri ostakljenja, iako rijetki, između kojih se nalazi odvajač. Okvir prozora može biti izveden na mnoge načine. Najčešće postoje dva prozorska krila, nekada i višestruka, svaki sa svojim okvirom. U stambenim objektima mogu se naći i prozori s ubačenim elementima okvira koji razdvajaju staklenu površinu na više dijelova, uobičajeno na dvije ili četiri. Kada je prozor, gledajući iz prostorije, “udubljen” u zid, s unutrašnjem strane prozora postavljaju se prozorski pragovi i daske na neobrađenu površinu zida koji, uz estetske razloge, služe i za bolju izolaciju. Staklo s okvirom i različite elemente okvira jedne s drugima povezuju šarke koje su, uz ručice, pokretni dijelovi prozorskog sklopa. Spoj prozora podrazumijeva način ugradnje prozorskog sklopa u zidnu konstrukciju.

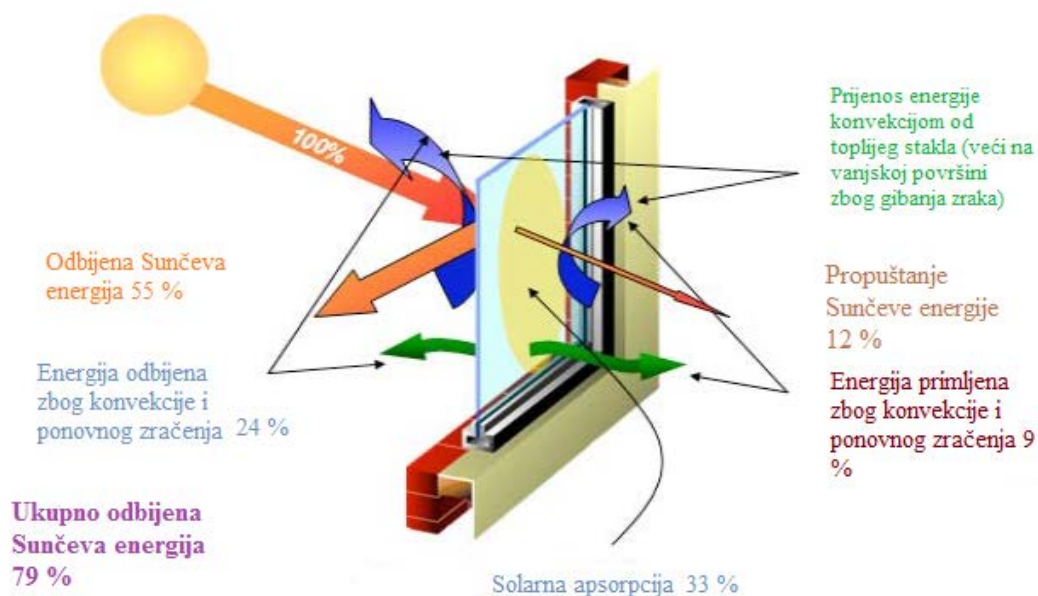


Slika 1. Elementi prozora

2.2. PRIJENOS TOPLINE KROZ PROZOR

2.2.1. Mehanizmi prijenosa topline

Toplina se kroz prozorski sklop može prenositi na tri načina: kondukcijom (prijenos topline dodirrom, odnosno kroz čvrstu, tekuću ili plinovitu tvar), konvekcijom (prijenos topline usmjerenim gibanjem plinova ili tekućina (fluida) tako da se topliji fluid giba prema hladnijem i predaje toplinu okolini) i zračenjem (gibanje energije kroz prostor bez kondukcije kroz zrak ili gibanja zraka, odnosno prijenos topline preko elektromagnetnog zračenja). Transmisija (propuštanje), refleksija (odbijanje), apsorpcija i emisija su karakteristike koje određuju prijenos energije zračenja (Slika 2)



Slika 2. Prijenos topline kroz prozor [1]

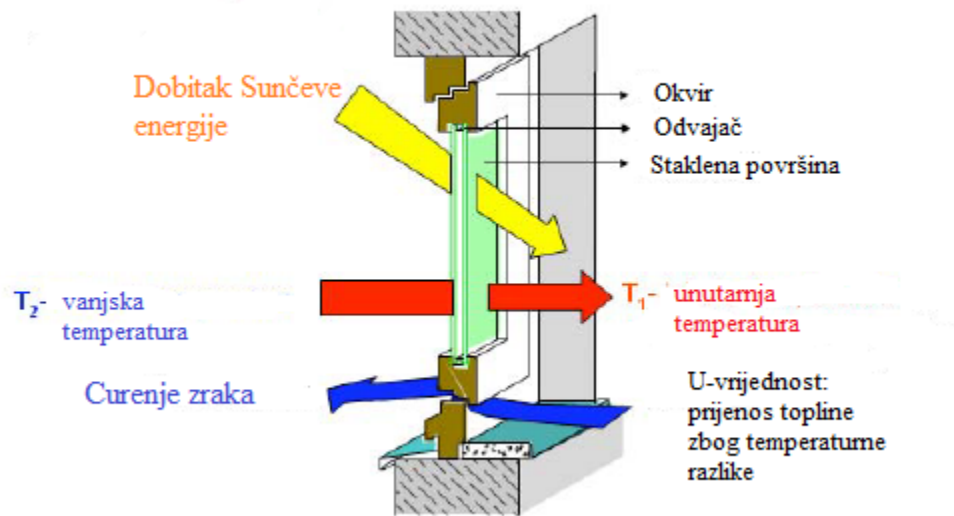
Transmisija vidljivog svjetla predstavlja postotak zračenja koje može proći kroz staklenu površinu, pa određuje sposobnost stakla da prostoriji pruži potrebnu svjetlost i jasan pogled. Osjetljivost ljudskog oka na svjetlo obuhvaća interval od 0.4 do 0.7 mikrometara, a najviša je pri valnoj duljini od 0,55 mikrometara s nešto nižom osjetljivošću na plavom i crvenom kraju

spektra. S obzirom na vrstu energije koja dopire do površine stakla razlikujemo vidljivu, UV i totalnu transmisiju solarne energije. Onaj dio energije koji je dospio do površine stakla, a nije propušten ili odbijen, je apsorbiran i preveden u toplinu koja povećava temperaturu stakla, a koja se prenosi konvekcijom ili je staklo ponovno emitira. Postotak energije koji je apsorbiran je u pravilu nizak – tipično čisto staklo debljine približno 0,64 cm apsorbira samo oko 7 posto sunčeve svjetlosti pri normalnom kutu upada. U svrhu nižeg koeficijenta dobitka topline i kontrole blještanja, cilj je staklu što više povećati sposobnost apsorpcije. Zato se na staklo nanose razni aditivi koji, ovisno o valnoj duljini energije koju apsorbiraju, mogu uzrokovati promjenu u izgledu stakla. Kod apsorpcije infracrvenog ili ultraljubičastog dijela spektra neće biti promjene u optičkim svojstvima stakla ili će promjena biti vrlo mala. Apsorpcijom vidljivog dijela spektra, staklo će potamniti pa će propuštati manju količinu solarne energije u prostoriju i smanjiti potrebu za hlađenjem prostorije. Energija koju je staklo prethodno apsorbiralo pa je emitira je dugovalna infracrvena energija čija valna duljina ovisi o temperaturi površine stakla. Gledano s aspekta energetske djelotvornosti, poželjno je smanjiti emisiju kako se energija ne bi bespotrebno gubila. [1]

2.2.2. Najvažnije energetske karakteristike prozora

- U-faktor – Najistaknutija i najkorištenija vrijednost koja se koristi za sveobuhvati opis energetske izvedbe prozora je koeficijent U cjelokupnog prozora koji predstavlja njegovu ukupnu vrijednost prijenosa topline ili vrijednost izolacije. Koeficijentom U ($\text{W/m}^2\text{C}$ ili $\text{BTU (hft}^2\text{F)}$) se mjeri razina prijenosa topline po jedinici površine i temperaturnoj razlici, pa se množenjem vrijednosti faktora s površinom prozora i prosječnom ili najvećom mogućom temperaturnom razlikom dobiva iznos gubitka topline (W ili BTU/h).
- Koeficijent dobitka solarne topline (Solar Heat Gain Coefficient-SHGC) – Toplina se može dobiti kroz prozor putem direktno propuštenog zračenja i unutrašnjeg apsorbiranog zračenja u kretanju. SHGC predstavlja udio Sunčeve energije koji je propušten kroz vanjsku površinu prozora i koji se tretira kao dobitak topline (Slika 3). Iako je dobitak

solarne topline kroz okvir i spoj prozora niskih vrijednosti, i on se, uz dobitak topline kroz staklo, ubraja u ukupnu vrijednost koeficijenta. Vrijednost koeficijenta se nalazi između 0 (potpuno neprozirno) i 1 (potpuno prozirno). Na primjer, za obojena stakla i stakla s odbijajućim premazom, SHGC iznosi 0.20, dok za jednostruke prozore ta vrijednost doseže 0.87. [2]



Sika 3. Energetske karakteristike prozora [1]

- Koeficijent zasjenjenja (Shading Coefficient-SC) - Sposobnost prozora da promijeni svoja optička svojstva kako bi se snizio prijenos topline, može uključivati i standardne načine smanjenja prijenosa topline: višestruki slojevi stakla, odbijajući premazi ili rolete između slojeva stakla.
- Propuštanje vidljive svjetlosti (Visible Transmittance) - Opisuje količinu vidljivog svjetla koje je propušteno kroz staklo. S dovoljnom količinom dnevnog svjetla koje ulazi u prostoriju, štedi se na energiji za osvjetljenje.

- Curenje zraka (Air Leakage) - Curenje može biti izvana prema unutra (infiltracija) ili iz prostorije prema van (eksfiltracija), a događa se prvenstveno kroz loše zatvorene praznine između ručica za otvaranje i vanjskih okvira te u manjoj mjeri kroz praznine između okvira i stakla. Uzrokuje dobitak ili gubitak topline, a pojavljuje se zbog razlike tlakova s vanjske i unutarnje strane prozorskog sklopa (uzrokovana vjetrom ili razlikom temperatura). Druge negativne posljedice neželjenog curenja zraka su nastanak vlage i plijesni zimi curenjem unutarnjeg zraka prema van zbog kondenzacije vlažnog unutarnjeg zraka unutar zida i ljeti u klimatiziranim prostorima. Kondenzacija tijekom zimskog perioda može nastati i zbog ulaska hladnijeg vanjskog zraka koji uzrokuje hladne površine u prostoriji. Curenje zraka nije povezano s kontroliranom ventilacijom koja je nužna za dobru kvalitetu zraka u prostoriji, odnosno uklanjanje mirisa i prevenciju kondenzacije i koja se ne uzima u obzir kod energetske procjene otvora prostorije. Za zrak koji je ušao u prostoriju na ovaj način potrebno je utrošiti dodatnu energiju za njegovo grijanje ili hlađenje kako bi ga prilagodili željenoj temperaturi životnog prostora. Curenje zraka se kvantitativno izražava preko količine zraka (kubni metar po minuti) koja prolazi kroz jedinično područje prozora (metar kvadratni) pod određenim tlakom. Prozori koje je lakše zabrtviti i održati čvrstima smanjuju ovaj efekt (npr. fiksni prozori).

- Kontrola solarnog zračenja (Solar Radiation Control) - Sposobnost kontrole dobitka topline kroz staklo.

- Omjer svjetlosti i dobitka topline (Light-to-Solar-Gain Ratio - LSG) - Odvajanje kontrole dobitka topline i kontrole svjetla je vrlo bitno, s obzirom da prozori s kojima snižavamo dobitak topline uzrokuju i smanjenje količine svjetla koje ulazi u prostoriju. Veličina kojom se izražava je svjetlosna efikasnost (k), $k=VT/SC$. Zbog toga su razvijena iznijansirana stakla i stakla s premazima niske emisije i dobitka topline koja smanjuju dobitak topline uz vrlo malu promjenu u količini propuštenog vidljivog svjetla. [1]

2.3. VRSTE I SVOJSTVA PROZORA

2.3.1. Staklene površine i njihova obrada

Osim vrste stakla i mogućih dodatnih premaza i filmova, jako veliku ulogu u energetske karakteristikama prozora igra i broj staklenih površina unutar prozorskog sklopa. Iako je toplinska vodljivost stakla vrlo dobra, korištenjem višestrukih staklenih površina smanjuje se gubitak topline zbog većeg broja slojeva izolirajućeg zraka između staklenih površina. Uz lošiju energetske izvedbu, nedostatak jednostrukih prozora je i u mogućnosti pojave kondenzacije, zbog čega mnogi građevinski propisi zabranjuju korištenje takvih prozora. Zbog težine prozorske konstrukcije, teže ugradnje i rukovanja, prozorska izolacijska jedinica može sadržavati maksimalno četiri staklene površine. Najčešće se koriste jedinice s dvostrukim ostakljenjem, dok se kod četverostrukih ostakljenja umjesto dvije staklene površine često koriste tanki plastični filmovi čime se postiže energetske izvedba prozora s četiri staklene površine i težina prozorskog sklopa s dva ostakljenja. Staklene površine (unutarnje i vanjske) se uobičajeno označavaju brojevima od 1 do maksimalno 8 (za četverostruke prozore), izvana prema unutrašnjosti prostorije. Dakle, brojem 1 se označava površina koja je okrenuta prema van i u izravnom kontaktu s vanjskim okruženjem, brojem 2 strana te iste površine koja gleda prema unutar, a na primjer brojem 6 strana staklene površine trostrukog prozora koja je najbliža unutrašnjosti prostorije. [2]

▪ ČISTO STAKLO

Tradicionalno najkorištenija vrsta prozora danas se najčešće proizvodi tehnikom “plutanja” iznad korita s rastaljenim kositrom kojom se postizu iznimno ravne površine i jednolika debljina. Zbog željeznih nečistoća, staklo ima blagu zelenu primjesu koja je najčešće vidljiva samo na rubovima. Takozvana “vodeno-bijela stakla” su još kvalitetnija stakla koja još bolje propuštaju Sunčevu energiju. U njima nema željeznih nečistoća, pa samim time niti zelenih primjesa.

Nejasna stakla, s uklesanim dekorativnim uzorcima ili “mat” koja raspršuju zrake svjetla, se koriste u svrhu privatnosti, što uvelike smanjuje kvalitetu pogleda. No, takva stakla ipak propuštaju većinu svjetla.

▪ OBOJENO STAKLO

Dvije su kategorije obojenih stakala: ona s tradicionalnom bojom koja u manjoj mjeri propušta svjetlo, ali i smanjuje koeficijent dobitka solarne topline i ona sa spektralno selektivnom bojom koja također smanjuje dobitak topline ali propušta više svjetla. Tradicionalna obojena stakla obično sadrže broncanu ili sivu nijansu. S pozitivne strane, umanjuju blještanje smanjenjem sjajnosti površine stakla, no smanjuju i količinu ulazne dnevne svjetlosti. Spektralno selektivna obojena stakla se dobivaju dodavanjem posebnih kemikalija u proces proizvodnje stakla “plutanjem”. Ona propuštaju udio dnevne svjetlosti solarnog spektra, ali apsorbiraju dijelove Sunceve svjetlosti koja su blizu infracrvenom području. Zbog toga su najkorisnija kao vanjski sloj u dvoslojnim jedinicama, no kao i ostala iznijansirana stakla mogu se koristiti i kod jednoslojnih jedinica. Za još bolju izvedbu mogu se kombinirati s premazima s niskom emisijom. U odnosu na tradicionalna obojena stakla spektralno selektivna stakla pokazuju više vrijednosti propuštanja vidljivog svjetla, ali niže vrijednosti koeficijenta dobitka topline, a nijansa im je svjetlo plava ili zelena za razliku od tradicionalne brončane ili sive.

▪ PREMAZI

Glavne karakteristike stakla s premazom, kojih može biti jedna ili više kod neke vrste stakla, su solarna refleksija, solarna apsorpcija, odbijanje vidljivog svjetla i odbijanje topline dugih valova (premazi niske emisije). Razlike među premazima se temelje na količini i vrsti solarne transmisije (ultraljubičasta, infracrvena ili vidljiva) kroz prozor.

• ODBIJAJUĆI PREMAZI I FILMOVI

Ako postoji potreba za većim smanjenjem dobitka topline, koriste se reflektirajući premazi koji se obično sastoje od tankih metalnih slojeva. Ovisno o debljini i refleksiji premaza i njegovom položaju na staklu, smanjenje dobitka topline može biti veliko ili malo. Reflektirajući premazi se mogu koristiti na čistom i iznijansiranom staklu, i dolaze u raznim metalnim bojama: zlatna, srebrna i brončana. Propuštanje vidljivog svjetla se smanjuje mnogo brže nego dobitak topline i

kod iznijansiranih stakala i reflektirajućih premaza, pa postoje ograničenja na smanjenje dobitka topline obojenjima i premazima kako bi prostoriji omogućili dovoljnu količinu vidljivog svjetla. Prednost filmova leži u njihovoj isplativosti jer je jeftinije nanijeti film na unutarnju stranu stakla nego zamijeniti cijeli prozor, a primjenjivi su na sve vrste stakla. Pri tome je iznimno bitno ispravno nanijeti film na površinu stakla, inače film neće proizvesti željeni učinak. Proizvode se od poliesterskih slojeva koji se prevode u tanki prozirni plastični film ili metalni laminat. Dvije su glavne vrste filmova: standardni (obojeni i odbijajući) i spektralno selektivni. I dok standardni filmovi uz snižavanje razine dobitka topline, imaju i mnoge neenergetske prednosti kao što su smanjenje blještanja i razine UV zračenja i povećanja otpora lomu, također uzrokuju i smanjenje količine dnevnog svjetla koje ulazi u prostoriju te ponekad neželjeno odbijanje. S druge strane, spektralno selektivni filmovi apsorbiraju ili reflektiraju infracrveni dio solarnog spektra koji uzrokuje dobitak topline propuštajući više vidljivog dijela spektra. Zbog toga spektralno selektivni filmovi mogu više doprinjeti energetske djelatnosti zgrade pa je i izdatak za nabavu ovih filmova veći.

- PREMAZI NISKE EMISIJE

Razvijanje premaza niske emisije za stakla je trenutno područje koje je od najveće važnosti za industriju proizvodnje energetske djelatnosti prozora. Glavna karakteristika ovakvih premaza je odbijanje velikog dijela infracrvene energije dugih valova, odnosno topline zračene iznutra, natrag u zgradu čime pridonosi toplinskoj izolaciji, dok kratkovalno solarno zračenje prolazi kroz premaz relativno nepromijenjeno. Emisija koju pružaju premazi se izražava tako da emisija od 0,10 znači da se 90 posto dugovalnog zračenja reflektira. Mogu se nanijeti tijekom procesa „plutanja“ (pirolitički premazi) ili na dovršenu površinu stakla (vakuumom nanijeti premazi), pri čemu postoji nekoliko različitih metoda proizvodnje koje daju različite konačne proizvode.

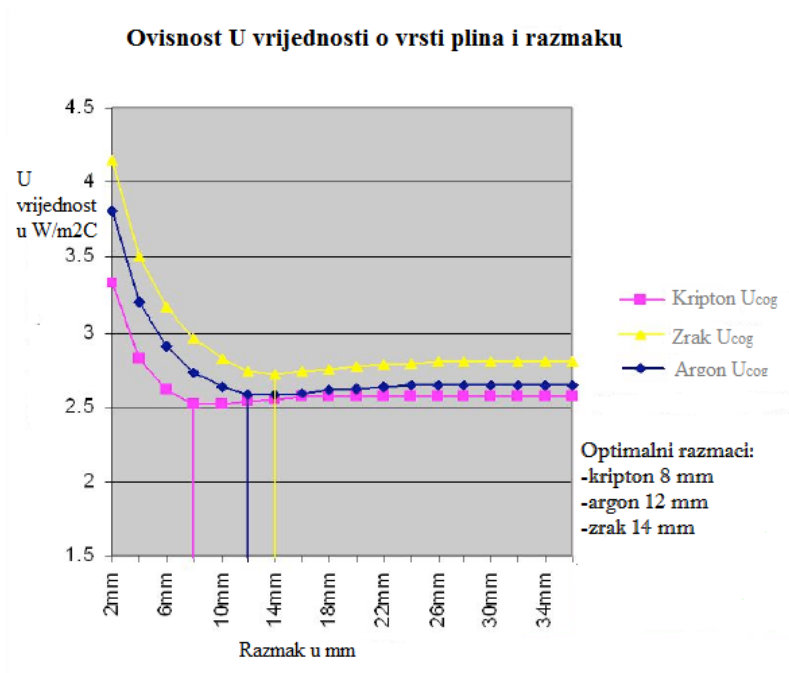
Nanosu se više različitih gotovo nevidljivih premaza od metala ili metalnih oksida na površinu 2 ili 3 dvostruko ostakljene izolacijske jedinice. Veća refleksija, samim time i bolje zadržavanje topline unutar prostorije, se postiže nanošenjem premaza niske emisije na površinu 2 nego na površinu 3, što se koristi pri dizajniranju stakla za toplu (premaz se nanosi na površinu 3) ili hladnu klimu (površina 2). Ovisno o načinu kojim su naeseni na staklenu površinu, razlikujemo dvije vrste premaza - meki premazi, nanoseni tehnikom „prskanja“ i tvrdi premazi, nanoseni

pirolitički. Trenutno jedni od najdjelotvornijih premaza za smanjenje U-faktora stakla su meki premazi. Njih dobivamo procesom “prskanja” u kojem se iz materijala izbacuju njegove čestice „bombardiranjem“ površine materijala česticama, najčešće plinovitim ionima. Tako dobivamo nekoliko slojeva premaza čija je ukupna debljina 10 000 puta veća od debljine ljudske dlake. Iako ih je potrebno zaštititi od vlage i dugog kontakta s atmosferom, meki premazi unutar zapečaćene jedinice imaju jednak vijek trajanja kao i sama jedinica. Dvije su vrste mekih premaza koje dobivamo “prskanjem”: premazi niske emisije umjerenog propuštanja, koji smanjuju gubitak topline i propuštaju razumnu količinu svjetlosti i premazi niske emisije niskog propuštanja (tzv. spektralno selektivni premazi), koji smanjuju ili gubitak ili dobitak topline, ovisno što je potrebnije za određeno godišnje doba. Premazi niskog propuštanja daju veću količinu propuštanja vidljive svjetlosti za dano smanjenje dobitka topline u odnosu na većinu obojenih i odbijajućih stakala. Vrijednosti emisije za stakla s mekim premazima mogu biti od 0,05 do 0,10 dok stakla bez premaza pokazuju emisiju od 0,89, što znači da će stakla bez premaza reflektirati samo 11 posto energije zračenja koja dopire do površine stakla, a ona s premazom između 90 i 95 posto. Prije premaza u izolacijsku staklenu jedinicu potrebno je ukloniti meki premaz, tzv. „brisanje ruba“. To zahtijeva dodatni proces i opremu što povećava troškove i moguće rasipanje u procesu. Druga vrsta premaza niske emisije su tvrdi premazi nanoseni pirolitički na površinu stakla. Pri pirolitičkom premazivanju slojevi metala ili metalnih oksida se nanose izravno na površinu stakla dok je još vruće na kraju njegova procesa proizvodnje. Zbog toga su takvi premazi jako tvrdi, izdržljivi i do 20 puta deblji i jeftiniji u odnosu na meke premaze koji pak 2 do 4 puta više doprinose energetske djelatnosti. Naime, vrijednost emisije za tvrde premaze varira od 0,15 do 0,20 (za meke premaze vrijednost emisije leži u intervalu od 0,05 do 0,10).

▪ JEDINICE PUNJENE PLINOM

Uobičajena izolacijska staklena jedinica se sastoji od dvije staklene površine ujedno i povezane i razdvojene odvajanjem. Praznina među površinama je obično ispunjena zrakom. No, utvrđeno je da inertni plinovi, budući da su gušći od zraka, imaju manju provodnost i tako smanjuju konvekcijske struje i kondukciju topline kroz prazninu između stakala. Najčešće korišteni inertni plinovi su argon i kripton. Iako je kripton energetski najpovoljniji, argon se najviše koristi zbog

niže cijene, jednostavne upotrebe i održivosti. Postoji više načina umetanja inertnog plina u prazninu: putem ulaza i ventilacije u odvađaču ili posebnih kutnih dijelova, ili sklapanjem same jedinice u prosoru ispunjenom inertnim plinom. Još veće smanjenje efekta kondukcije i konvekcije se postiže kombinacijom plinom ispunjene jedinice s premazima niske emisije budući da oni smanjuju prijenos topline zračenjem što utječe na kondukciju i konvekciju. Maksimalna djelotvornost izolacijske staklene jedinice, tj. IGU-a, ovisi o duljini razmaka između staklenih površina. Ako je taj razmak veći od optimalnog, energetska djelotvornost jedinice se može blago smanjiti. Optimalni razmak, pri kojem je U vrijednost na minimalnoj vrijednosti, za jedinicu punjenu zrakom približno 14 mm, za jedinicu punjenu argonom približno 12 mm, a za jedinicu punjenu kriptonom oko 8 mm (Slika 4). Inertni plinovi ne utječu na koeficijent dobijta topline i propuštanje vidljivog svjetla kao ni na zdravlje i sigurnost stanara s obzirom da su neotrovni. Vrlo važna stavka kada govorimo o jedinicama punjenim plinom je zadržavanje inertnog plina unutar jedinice budući da curenje plina uzrokuje gubitak topline. Za kvalitetno proizveden produkt gubitak topline je manji od 0.5 % godišnje, a za period od 20 godina oko 10 %.



Slika 4. Graf ovisnosti U-faktora o vrsti plina i razmaku staklenih površina; optimalni razmaci [1]

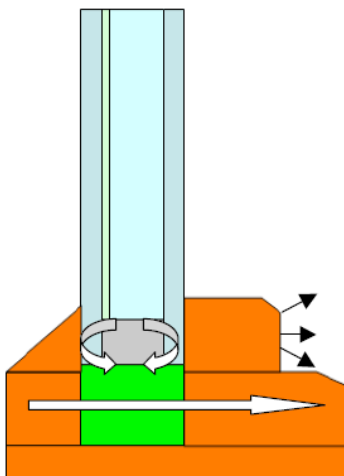
▪ NOVE TEHNOLOGIJE

Naravno, kao i u svim područjima ljudske djelatnosti, pa tako i u razvitku energetski isplativih prozora, uvijek postoji prostor za napredak. Neke od dostupnih opcija koje su još uvijek u razvoju uključuju: elektrokromatska stakla (u koja ubrajamo i hidridna stakla), stakla s tekućim kristalima, uređaji suspendiranih čestica (SPD), fotokromatska stakla, aerogel, termotropna stakla i IG vakuum jedinice (izolacijske staklene vakuum jedinice). Trenutno možda i najistraživaniji su elektrokromatski materijali za stakla budući da takva stakla slove kao najpogodnija za primjenu u zgradama. Ubrizgavanjem svjetlosnih iona, elektrokromatski materijali reverzibilno mijenjaju svoja optička svojstva, pri čemu prozirni konduktori čine spoj. Poseban oblik elektrokromatskih materijala su hidridni materijali s ponešto drugačijim svojstvima od običnih oksidnih elektrokromata. Iako baš ovakve prozore s pravom možemo nazvati “pametnim” prozorima, oni još nisu primijenjivi za izvedbu u stambenim zgradama. Njihov doprinos energetskim svojstvima leži u odbijajućem efektu koji se dobiva prevođenjem prethodno nanijetog metala u djelomično proziran hidrid ubrizgavanjem hidrogena iz plinske ili čvrste faze. Za potrebe brze promjene između prozirnog i difuznog bijelog stakla koje omogućuje privatnost i smanjenje blještanje koriste se stakla s tekućim kristalima. Ipak, kod difuznog bijelog stakla nije moguće dobro kontrolirati dobitak topline jer su tekući kristali uglavnom raspršeni prema naprijed. Bolja svojstva od često korištenih elektrokromatskih materijala imaju uređaji suspendiranih čestica. Takvi uređaji brže mijenjaju stanja (u roku par sekundi), blokiraju više svjetla te se mijenjaju ravnomjerno dok kod elektrokromatskih uređaja to ponekad nije slučaj. Još materijala s mogućnošću promjene vlastitih optičkih svojstava su fotokromatski i termotropni materijali. Dok fotokromatski materijali reagiraju na svjetlo, termotropni reagiraju na toplinu, te zbog toga obe vrste materijala nemaju toliko široku primjenu kao elektrokromatski materijali, odnosno promjena (zatamnjenje) se ne događa isključivo na želju stanara. Na primjer, onda kada ne postoji potreba za velikim smanjenjem dobitka topline, korištenjem termotropnih stakala žrtvuje se pogled i danje svjetlo potrebno prostoriji. Također, na hladan i sunčan dan poželjna je što veća količina topline, no fotokromatski prozor će se ipak zamračiti umanjujući dobitak topline. Dobra zamjena za jednoslojno ostakljene jedinice su vakuum IG jedinice, odnosno vakuum izolacijska stakla koja praktično eliminiraju kondukciju i konvekciju. Sastoje se od premaza niske emisije i evakuiranog zračnog prostora, najbolje bez

punjenja plinom. Vakuum zatvorena jedinica je optimalna opcija kada govorimo o izolacijskim staklenim jedinicama. Aerogel je materijal na silikatnoj bazi sličan pjeni, s otvorenim mikroskopskim ćelijama koje zarobljavaju zrak. S oko 4 % silicij-dioksida i 96 % zraka, aerogel je izniman izolirajući materijal koji i dalje vrlo dobro propušta svjetlo. [1]

2.3.2. Okviri

Okvir također prenosi toplinu konvekcijom, kondukcijom i zračenjem (Slika 5). Kroz prozorski okvir može se izgubiti velika količina topline, pa koeficijent U okvira prozora (U frame) uvelike doprinosi ukupnom U koeficijentu prozorskog sklopa. Stoga, smanjenje koeficijenta U okvira jedan je od ključnih problema pri dizajnu prozora. Kod tipičnog prozora s 2 pokretna panela dimenzija 1.2 x 0.9 m, okvir može zauzimati i do 30 posto cjelokupne površine prozorskog sklopa, zbog čega okvir ima tako velik utjecaj na energetske izvedbe prozora. Prijenos topline kroz okvir u velikoj mjeri ovisi o poprečnom presjeku okvira. Ako se poprečni presjek sastoji samo od jednog, čvrstog materijala, U-faktor se temelji na kondukciji topline kroz taj materijal. Ta kondukcija se kombinira s konvekcijom zraka u blizini staklene površine i izmjene topline zračenjem između različitih površina kada su u pitanju složenije konstrukcije; šuplji okviri i kompozitni materijali s različitim pojačavajućim i oblagajućim materijalima. Također, treba obratiti pozornost i na činjenicu da prozorski okviri najčešće nemaju isti poprečni presjek kroz cijeli sklop, a svaki od tih presjeka ima drugačiju vrijednost protoka topline.



Slika 5. Prijenos topline kroz okvir kondukcijom, konvekcijom i zračenjem [1]

Kako bi se dobio što manji U-faktor kao i što bolja sveukupna izvedba prozora pri proizvodnji materijala za okvir, sve češće se poseže za hibridnim i kompozitnim rješenjima. U daljnjem tekstu su opisani najčešće korišteni materijali i kompoziti.

- **Aluminij**

Aluminij je, usprkos tome što je snažan i lako obradiv materijal, sveukupno gledajući nepovoljan materijal za izradu prozorskih okvira. Razlog tomu je njegova velika provodljivost topline zbog čega se povećava ukupni U-faktor prozora. Osim nepoželjnog transfera energije, više zabrinjava mogućnost pojave kondenzacije vlage ili mraza koja se javlja zbog niske temperature aluminjskog okvira u hladnijim klimama. Razdvajanje vanjskih i unutarnjih komponenata okvira i spajanje manje provodljivim materijalima (tzv. toplinska barijera) se koristi za smanjenje negativnih efekata korištenja aluminijskih okvira. Pri tome je iznimno bitna lokacija na kojoj će barijera biti postavljena.

- **Čelik**

Iako manja nego kod aluminija, provodljivost čelika je i dalje prevelika da bi se mogla ocijeniti zadovoljavajućom. Energetska izvedba čeličnih okvira je poboljšanja užim okvirima i visokim dobitkom topline cjelokupnog prozora.

- Drvo

S obzirom na jako dobru toplinsku izvedbu (niske vrijednosti gubitka topline) i njihov privlačan izgled i tradiciju u upotrebi, drveni okviri su jedni do najpopularnijih izvedbi prozorskih okvira. Toplinska izvedba ovakvih okvira ovisi o njihovoj debljini; što je deblji okvir, izolacija je bolja. Voodootoprnost vanjske površine se poboljšava oblaganjem vinilom ili aluminijem, no ako se metalni dio proteže od hladnije do toplije strane okvira, može nastati toplinski krug preko kojeg se toplina prenosi mnogo brže putem konvekcije. Isti efekt mogu uzrokovati i metalna pojačanja.

- Vinil

Polivinil-klorid, poznatiji samo kao vinil, je vrlo prilagodljiv materijal a po toplinskoj izvedbi se ne razlikuje mnogo od drveta. Kod vinilnih okvira moguća je pojava neželjenog prijenosa topline preko konvekcijskih struja zbog velikih praznih komora unutar okvira. Utjecaj ovog efekta se smanjuje stvaranjem manjih ćelija ili dodavanjem izolacijskih materijala. Za korištenje u visokim zgradama, često se otpornost na strukturna opterećenja ovakvih okvira povećava metalnim dijelovima prozvedenim „istiskivanjem“.

- Stakleno vlakno i termoplastika

Osim polivinil-klorida, druga dva polimerna materijala koja se koriste za izradu prozorskih okvira su stakleno vlakno, odnosno poliester pojačan staklenim vlaknima i termoplastika. Polieseter sa staklenim vlaknima se proizvodi procesom „izvlačenja“, odnosno izvlači se u linearne oblike i nakon toga uklapa u prozorski sklop. Kao i vinil, ovi materijali su dobri izolatori, pogotovo nakon zatvaranja komora unutar okvira.

- Drveni kompoziti

Drveni kompoziti su vrlo snažni kompozitni materijali, budući da se sastoje od komprimiranih komadića drveta i smole. Upotreba takvih materijala, kao što su iverica i laminirano obalno drvo, je vrlo česta. Nova generacija drvenih kompozita su kompoziti drveta i polimera koji se „istiskuju“ u niz linearnih oblika za dijelove okvira i koji se mogu obojati kako bi izgledali kao pravo drvo. Uz ostale brojne prednosti kao što su stabilnost, ista ili bolja strukturna i toplinska svojstva nego konvencionalno drvo, bolja otpornost na vlagu i trulež, najveća prednost ovakvih

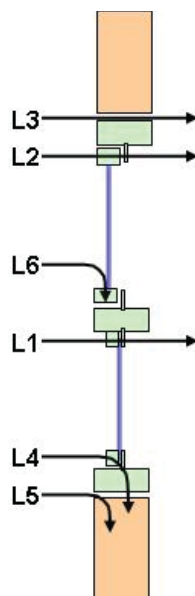
materijala u odnosu na druge je ekološki doprinos s obzirom da se za proizvodnju koriste piljevina i staro drvo koji bi inače bili odbačeni.

- Hibridni i kompozitni okviri

Kako bi se zadovoljile i druge potrebe korisnika, osim onih energetskih, gore opisani materijali se kombiniraju i stvaraju hibridni proizvodi. Kao što je već spomenuto, za olakšano vanjsko održavanje drveni okviri se oblažu vinilom ili aluminijem, dok se vinilni okviri prekrivaju drvenom „glazurom“ za željeni izgled. [1]

2.3.3. Spoj prozora

Pojam spoja prozora podrazumijeva način ugradnje prozorskog sklopa u zid i spoja staklenih površina s okvirom. Izvedba spoja prozora predstavlja veliki izazov pri ugradnji prozorskog sklopa i sastavni je dio dizajna zidne konstrukcije. Kako bi se osigurala dobra izolacija od nepovoljnih vanjskih uvjeta i spriječio nepoželjan gubitak topline, potrebno je osigurati kontinuitet kritičnih pregrada (pregrade za zrak, vodenu paru, vlagu i površina za razlijevanje vode) kroz prozorski sklop i spoj prozora i zida. Osim očitog problema nepoželjnog curenja zraka prema unutar ili prema van koje značajno utječe na temperaturu i ugodu u prostoriji, prodiranje kiše kroz otvore u spoju prozorskog sklopa i zida odnosno loša izvedba sustava za upavljanje vodom koja prodire i detalja prozorskog sklopa su glavni uzroci stvaranja vlage i oštećenja unutar vanjskih zidova. Putanje kroz prozor (L4) i spoj prozora i zida (L5) predstavljaju najveći rizik budući da voda prisutna u tim područjima može ostati nezamijećena duži period vremena tijekom kojeg može doći do ozbiljnih oštećenja (Slika 6). Također, prodiranje vode putem otvora u prozorskom sklopu L1, L2, i L3 može izazvati značajnu štetu na unutarnjoj finoj obradi kao što su gipsani odbori, tepisi, tvrde podnice, drvene klupice i oblozi, i utjecati na udobnost (temperatura i vlažnost zraka) u prostoriji i nastanak vlage. S druge strane, takvo prodiranje vode može upozoriti stanare na nedostatke i oštećenja u zidnoj konstrukciji.



Slika 6. Prodiranje vode kroz prozorski sklop [2]

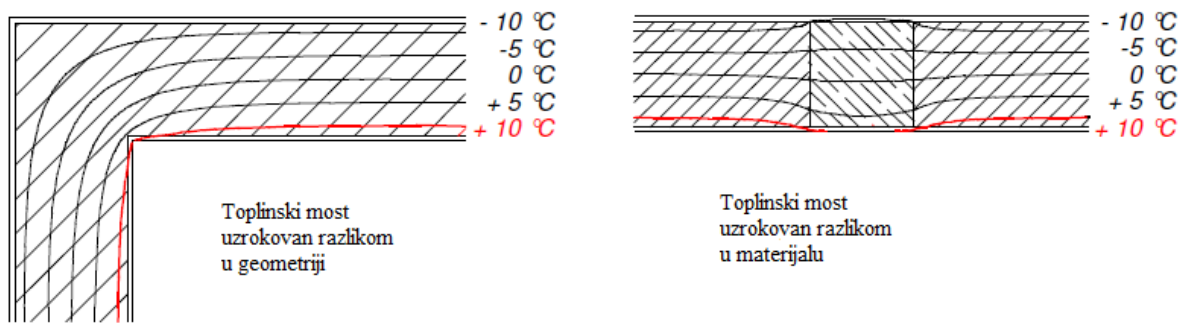
Sprječavanje prodiranja vode putem nedostataka u prozorskoj konstrukciji uključuje više rješenja kao što su: zaštita grubog otvora prozora, oblagajuće membrane, hermetično i vodonepropusno brtvljenje i oluci. Čak i kada je smjer vjetra takav da kiša ne pada direktno prema prozoru, oštećenja u ovitku zida dopuštaju vodi da doprije do donje površine prozorskog praga. To se rješava postavljanjem oluka ispod prozorskog praga koji skuplja nepoželjnu vodu, ili ako je potrebna dodatna zaštita, postavljanjem pod-praga i stražnje brane. Ako zidna konstrukcija ima vlastiti drenažni susatv, odnosno sadrži odgovarajuće zračne otvore, tj. "kapilare" na oblozi, voda s praga se može odvoditi putem tih otvora, osim u slučajevima kada je obloga zida direktno nanižeta ili ako zid ima vanjsku potpuno nepropusnu površinu. Kod obloženih prozora može doći do nemogućnosti odvoda vode. Kako bi se omogućila drenaža, na prozorski sklop se nanosi posebna prevlaka ili se uklanja oblaga na pragu. Danas se često koristi hermetično ili vodonepropusno brtvljenje iza obloge duž cijelog opsega grubog okvira prozora, pogotovo kod prozora u nižim stambenim objektima. Pri tome je vrlo bitno postići odgovarajući pritisak kod postavljanja brtvljenja, odnosno osigurati kontinuitet pritiska, bez prekida. Na postojeću oblagu još se mogu postaviti oblagajuće membrane na polimernoj ili papirnatj bazi čija je zadaća usmjeriti vodu dolje i od unutrašnjosti zidne konstrukcije. Membrane se postavljaju tako da preklapaju dovranti vijenac i oblagu i oluke na uzglavlju prozora. U slučaju postavljanja oluka,

više je zahtjeva na koje treba pripaziti. Oluci iznad prozora trebaju biti 6 % nagnuti i kontinuirani iznad prozora, pružati se do dodatne prozorske prevlake, imati rub za kapanje koji visi 10 mm iznad donjeg elementa prozora i 5 mm iznad površine prozora. Također je poželjno ugraditi oluke ispod praga prozora s rubnim branama da bi se voda odbila od dijela zida ispod prozora.

Kako se ne bi prekinuo kontinuitet toplinske barijere kod metalnih prozora, potrebno je postaviti toplinski prekid iznad izolacije zida kako ne bi došlo do gubitka topline i pojave kondenzacije zbog toplinskog mosta. Nepravilna ugradnja prozora može rezultirati lošim funkcioniranjem pokretnih dijelova prozora, odnosno težim otvaranjem i zatvaranjem prozora. Preporuča se da se prije ugradnje prozora obavi probna ugradnja pomoću koje dizajneri, majstori za ugradnju i građevinari mogu dobiti uvid u moguće problem pri ugradnji. [2]

Propuštanje zraka se pokušava suzbiti razvitkom novog dizajna okvira i boljim brtvljenjem kako bi se smanjila količina pukotina na spojevima okvira. Danas se koriste često i vanjske i unutarnje brtve, koje su poboljšale brtvljenje između prozorskih otvarača i vanjskog okvira. Materijal od kojeg su napravljene je dovoljno fleksibilan za zatvaranje svih vrsta pukotina, ali i dovoljno elastičan da ne dođe do prevelike kompresije ako je zatvoren duže vremena. Također su u upotrebi i fleksibilni čepovi. Zahvaljujući svemu tome, moderni prozori danas mogu imati efektivnu vrijednost curenja zraka približnu nuli. U cilju sprječavanja propuštanja zraka, operabilnim prozorima se ugrađuju brtve na spojevima stakla s okvirom prozorskog krila i vanjskog okvira i okvira prozorskog krila. Brtva stakla (između stakla i okvira prozora ili okvira prozorskog krila) je uobičajeno dvostrana vrpca butilne smjese. Izvedba s fleksibilnim vinilom je U-oblika (“staklena čizma”) ili tzv. “fin-and-bulb” sklop koji je istisnut na dio PVC okvira odmah uz staklenu površinu koji je i pridržava. Većina prozora ima dvije brtve za prozorska krila. Primarna zračna brtva služi za zaustavljanje curenja zraka i najčešće je vinilna okrugla (bulb) ili pjenasta brtva. S vanjske strane primarne zračne brtve treba biti postavljena brtva, odnosno pregrada za zaštitu od vanjske vlage i odvodnju vode od prozora prema van. Budući da postoji opasnost od tlačenja između primarne brtve i brtve za zaštitu od vlage pri otvaranju i zatvaranju prozora, potonja ne bi smjela biti hermetična. Zamrzavanje, nakupljanje prljavštine i nanošenje boje mogu uzrokovati začepljenje otvora za drenažu. Pri nižim temperaturama vlaga može zamrznuti brtvu i učiniti je krhkom. Zbog toga se sve češće koriste tzv. ”sweep“ brtve, odnosno trake nalik malim metlama. [1]

Nepravilno ugrađen prozor uzrokuje jedan od glavnih problema u toplinskoj izolaciji i energetskom unaprijeđenju objekta – toplinski most, koji se definira kao područje u omotaču grijanog dijela zgrade kod kojeg se javlja povećanje toplinskog toka. Posljedica postojanja toplinskog mosta je povećan gubitak topline i niža površinska temperatura unutarnje plohe vanjskog građevnog dijela što vodi do kondenzacije i pojave gljivica i plijesni, pa i do štete na finoj obradi unutarnjih površina zida (boja) i samom zidu. Dakle, toplinski most izrazito negativno utječe na energetske izvedbe objekta i zdravlje stanara. Takva pojava je uzrokovana kombinacijom materijala s različitim svojstvima vođenja topline na određenom području omotača (npr. armirani beton u zidu od opeke), promjenom geometrije ili različitom veličinom vanjske i unutarnje plohe, lošom izvedbom i dotrajalošću materijala (nastajanje pukotina, otvorene reške kod prozora i kutija za rolete) (Slika 7). Toplinski mostovi se dijele na točkaste (npr. pojedini prodori metalnih nosača), dvodimenzionalne ili linijske (spoj dvije ravnine) i trodimenzionalne (spoj tri ravnine, npr. dva ugla zida i strop). Spojevi prozora s neizoliranim zidovima i nadvojima su značajni toplinski mostovi jer na tom području dolazi do promjene i geometrije i vrste materijala. Sami prozori zbog dotrajalošću propuštaju zrak kroz spojnice. Zbog povećanih toplinskih gubitaka na toplinskim mostovima dolazi do razlike u unutarnjim površinskim temperaturama između mjesta gdje se nalazi toplinski most i ostatka oplošja. Ako je ta unutarnja površinska temperatura preniska, odnosno na temperaturi rosišta, može doći do površinske kondenzacije vodene pare. Kako bi dosegla vrijednost iznad temperature rosišta, temperatura unutarnjih ploha se povisuje dodatnim slojevima toplinske izolacije. Kod sanacije problema toplinskog mosta, smještaj toplinske izolacije igra iznimno bitnu ulogu. Poželjno je da je toplinska izolacija smještena s vanjske strane kako ne bi došlo do prekida izolacije. Ako je izolacija ipak postavljena s unutarnje strane, gdje je moguća pojava jakih toplinskih mostova, produžuje se toplinski most. To se izvodi bočnim oblaganjem u minimalnoj dužini od 50 centimetara od mjesta stvaranja toplinskog mosta, a zbog estetike oblaže se pločama sa zakošenim stranicama. Tako se kod prozora dodatna toplinska izolacija postavlja bočno kod špatula, ispod klupčića, ispod nadvoja ili obnovom dotrajalih brtvi. [3]



Slika 7. Toplinski mostovi uzrokovani razlikom u geometriji i materijalu [4]

Takozvani efekt ruba, odnsono utjecaj rubnih dijelova prozora na energetska izvedbu, prodire barem 65 mm unutar zatvorene prozorske jedinice. Sam efekt je neovisan o veličini zatvorene jedinice, no njegov utjecaj na U-faktor prozorskog sklopa bitno ovisi o veličini prozora i relativnoj količini rubnog prostora naspram cjelokupne površine stakla. Što je manja površina prozora, veći je utjecaj efekta na energetska izvedbu prozorskog sklopa. Također, na područjima s hladnijom klimom, hladni rub će uz povećani gubitak topline uzrokovati i pojavu kondenzacije u prostoriji. Slojevi stakla kod višestrukih prozora moraju biti razmaknuti na određenu daljinu odvajачima. Mnogi materijali su korišteni za izradu odvajачa, a prvi među njima je bio aluminij, odnosno njegova legura cjevastog oblika. Takav odvajач je u sebi sadržavao sredstvo za sušenje koje je apsorbiralo preostalu vlagu, a bio je povezivan na dva staklena sloja s organskom zaptivnom smjesom koja je bila prepreka za vlagu i pružala strukturalnu potporu. Međutim, izvedba odvajачa nije bila dobra; gubilo se previše topline i pogodovao je kondenzaciji unutar prostorije. Bolja opcija od aluminijevih odvajачa su odvajачi od nehrđajućeg čelika koji imaju manju provodnost (17 W/mK naspram 160 W/mK). Provodnost se može poboljšati i drugačijim dizajnom. Najčešće korišten dizajn je onaj u kojem su odvajач, zatvarač i sredstvo za sušenje u jednom elementu u obliku trake. Ta traka sadrži čvrstu termoplastičnu komponentu koja je mješavina materijala za sušenje i tanki metalni podmetač s utorima od aluminijevske legure ili nehrđajućeg čelika. Također se koristi i silikatni izolirajući odvajач od pjene koji sadrži i sredstvo za sušenje i ima vrlo snažno ljepilo na krajevima kako bi se povezao sa staklom. Pjena je poduprta sekundarnim brtvilom. Još neki odvajачi su vinil, stakleno vlakno (tzv. „pleksiglas“) i dvostruke aluminijevske cijevi povezane poliuretanskim termalnim barijerama i potpornim brtvom. [1]

3. PRORAČUN

3.1. Temelji i opis proračuna

U cilju ostvarivanja uštede kako energenata tako i novčanih sredstava odabirom najpogodnije izvedbe prozora, a s obzirom na veliki utjecaj prozora na energetske bilancu zgrade, prozore se svrstava u razrede energetske učinkovitosti kako bi korisnici dobili pravovaljane i potvrđene informacije o energetske izvedbi pojedinog prozora. Takva ocjena prozora se dobiva pomoću proračuna. Proračun energetske pokazatelja prozora temelji se prvenstveno na energetske bilanci prozora budući da je prozor element zgrade koji ima kombinirani učinak. Kao jedinstvenom prozirnom elementu primarna zadaća mu je pružanje prirodnog danjeg svjetla, svježeg zraka, privlačnog pogleda i ugodnog interijera. No, prozirnost prozora mu omogućava još jednu, iznimno bitnu prednost: dobitak solarne energije koji pridonosi energetske bilanci. Dakle, s energetske stajališta prozor se ne smije promatrati samo u svrhu izolacije, odnosno sprječavanja gubitka topline kao neprozirni materijali, već kao i sredstvo pomoću kojeg nam je dostupna besplatna Sunčeva energija. S obzirom na učinak koji daju, dijelovi prozora se mogu podijeliti u dvije skupine: dijelovi koji uzrokuju samo gubitak topline (okvir, odvajači, instalacijski rub) i staklo, preko kojeg je moguće ostvariti i dobitak i gubitak topline. Gubitak topline kroz prozorske elemente se mjeri pomoću koeficijenta U , dobitak solarne topline kroz g vrijednost, a energetska izvedba cjelokupnog prozorskog sklopa treba se računati pomoću jednadžbe koja uzima u obzir sve gubitke i dobitke topline i odrednice klime za koju se vrši procjena. Ovisno o sustavu za ocjenjivanje koji se koristi, postoje i varijacije u jednadžbi. Dva sustava za ocjenjivanje energetske performansi prozora su sustavi koje koriste National Fenestration Rating Council (NFRC) i Passive House Institute (PHI). Kako bi se energetske pokazatelji različitih vrsta prozora mogli uspoređivati, određena je referentna veličina prozora. Za područje Europske unije ona iznosi 1.23×1.48 m, a za Švicarsku, gdje su priloženi proračuni i provedeni, 1.55×1.15 .

National Fenestration Rating Council (NFRC) je neproftina organizacija s bazom u Sjedinjenim Američkim Državama koja obavlja jedinstvenu i neovisnu procjenu energetske izvedbe prozora, vrata, krovnih prozora i vezanih proizvoda puem proračuna, simulacija i verifikacijom rezultata provođenjem testova. Simulacijom se ocjenjuje koeficijent U prozora, koeficijent dobitka solarne topline ili SHGC koje su obavezne stavke, a moguće je provesti procjenu i curenja zraka i propuštanja vidljive svjetlosti (VLT). Koeficijent prolaza topline prozora se računa prema sljedećem izrazu:

$$U_w = \frac{(U_{cog} * A_{cog}) + (U_f * A_f) + (U_{edge} * A_{edge})}{A_w}$$

Pri čemu je:

U_w - U-faktor prozora, W/m ² K	A_w - cjelokupna površina prozora, m ²
U_{cog} - U-faktor srednjeg dijela stakla, W/m ² K	A_{cog} - površina srednjeg dijela stakla, m ²
U_f - U-faktor okvira, W/m ² K	A_f - površina okvira, m ²
U_{edge} - U-faktor ruba stakla, W/m ² K	A_{edge} - površina ruba stakla, m ²

Verifikacija rezultata se provodi testom na destrukciju i tvorničkom inspekcijom.

Passive House Institute (PHI) je neovisni istraživački institut koji se bavi razvojem koncepta pasivne kuće, sa sjedištem u Njemačkoj koji postavlja standarde energetske izvedbe prozora i koji se bavi simulacijom ali ne i testovima za razliku od NFRC-a. Još jedna razlika u sustavima se nalazi u postojanju minimalnih standarda. Dok PHI ima postavljene minimalne standarde koje energetski učinkovit prozor mora ispuniti, to za NFRC nije slučaj. Minimalni standardi koji se zahtijevaju od strane Passive House Instituta su:

- 1) $U_w < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (0.14 BTU/ hrft² ili 6.7 hrft² F/BTU)

2) U_w , ugrađeni $\leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$

3) $f_{Rsi} \leq 0.7$ (temperaturni faktor na rubu stakla)

f_{Rsi} predstavlja razliku između temperature unutarnje površne komponente θ_{si} i temperature vanjskog zraka, θ_e u odnosu na razliku temperature unutarnjeg, θ_i i vanjskog zraka, θ_e .

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

U – faktor prozora prema Passive House Institutu se računa na sljedeći način:

$$U_{w, ugrađeni} = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g + l_E \cdot \psi_E}{A_w}$$

Gdje je:

U_w , ugrađeni – U-faktor ugrađenog prozora, $\text{W/m}^2\text{K}$

A_w - površina ugrađenog prozora, m^2

U_f - U-faktor okvira, $\text{W/m}^2\text{K}$

A_f - površina okvira, m^2

U_g - U-faktor stakla, $\text{W/m}^2\text{K}$

A_g - površina stakla, m^2

Ψ_g - toplinski gubici uzrokovani toplinskim mostovima ruba stakla i odvajanja, W/mK

L_g - duljina ruba stakla, m

Ψ_E - toplinski gubici uzrokovani ugradnjom prozora, W/mK

L_E - duljina ruba ugrađenog prozora, m [5]

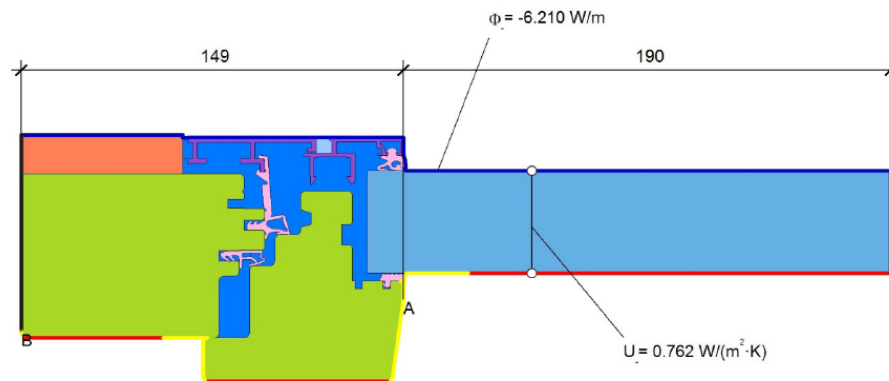
- U-faktor stakla, U_g

Parametar U_g se preuzima direktno od proizvođača.

- Parametri za proračun ukupnog (srednjeg) U-faktora okvira, U_f i toplinskih gubitaka ruba prozora Ψ_g

U-faktor okvira je zapravo srednja vrijednost U-faktora gornjeg (U_{fo}), donjeg (U_{fu}), srednjeg (U_{fm}) i bočnog dijela prozorskog okvira (U_{fs}). Za svaki od tih dijelova zasebno računa se koeficijent U simulacijom pomoću fiktivnih ploča koje predstavljaju potrebnu vrstu i oblik prozora. Parametri potrebni za izračun tih vrijednosti su toplinski tok kroz odgovarajuće područje okvira, temperaturna razlika vanjske i unutarnje površine, duljina i U-faktor fiktivne ploče (b_p i $U_p = \lambda_p/b_p$) i duljina odgovarajućeg područja okvira (b_f). Toplinska provodljivost λ_p je funkcija vrste materijala ploče i proizlazi iz propisanih normi. Parametar Ψ_g se također računa na temelju Ψ_g za različita područja ruba stakla: bočni (Ψ_s), srednji (Ψ_m), gornji (Ψ_o) i donji rub stakla (Ψ_u). Budući da se radi o području stakla koje je u dodiru s okvirom, pri proračunu se uzimaju u obzir U-vrijednosti kako staklene površine, tako i okvira. Prikazani primjeri izračuna su izuzeti iz 1. primjera proračuna u sljedećem poglavlju.

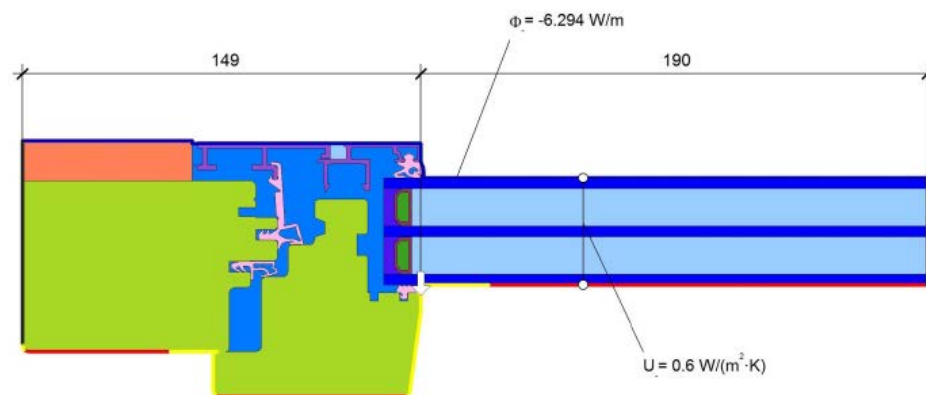
Bočna površina:



Slika 8. Presjek bočne površine okvira prozora, proračun U_{fs}

$$U_{fs} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_p * b_p}{b_f}$$

$U_p = 0.762 \text{ W/m}^2\text{K}$, $b_p = 0.19 \text{ m}$, $b_f = 0.149 \text{ m}$



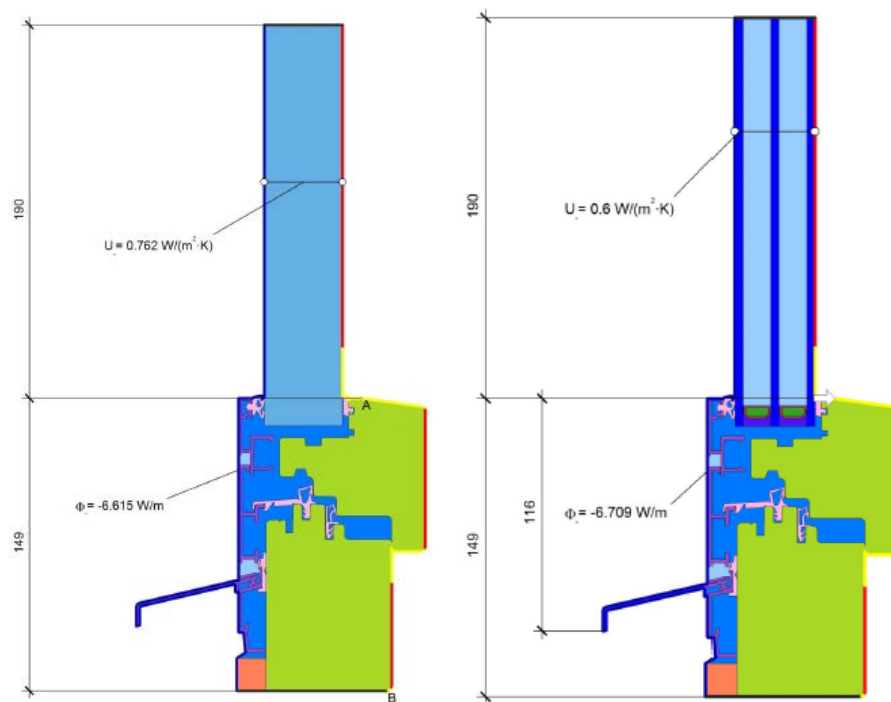
Slika 9. Presjek bočne površine okvira prozora, proračun Ψ_s

$$\Psi_s = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_g * b_g - U_{fs} * b_f$$

$U_g = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $b_g = 0.19 \text{ m}$

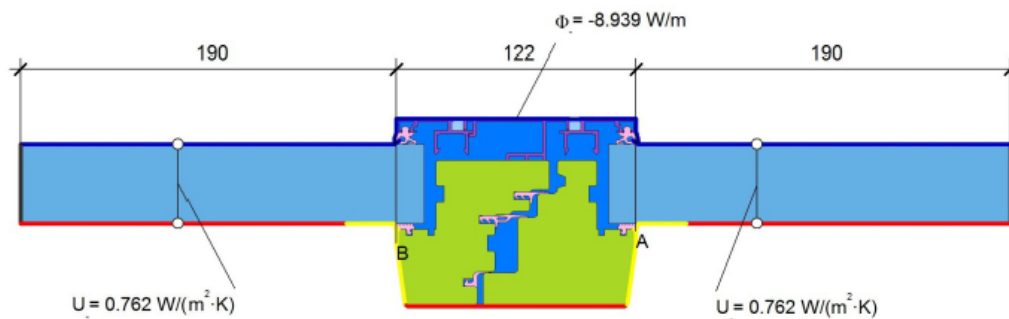
Donja površina:

- za izračun U-faktora i Ψ_g vrijednosti donje (U_{fu} , Ψ_u) i gornje površine okvira (U_{fo} , Ψ_o) vrijedi ista jednačba kao i za izračun U-faktora bočne površine okvira



Slika 11. Presjek donje površine okvira prozora, proračun U_{fu} i Ψ_s

Srednja površina:

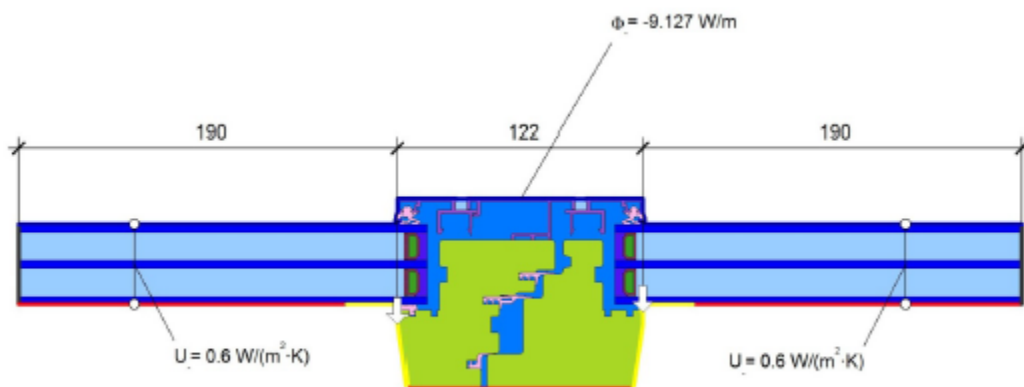


Slika 12. Presjek srednje površine okvira prozora, proračun U_{fm}

$$U_{fm} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_{p1} * bp1 - U_{p2} * bp2}{bf}$$

$$U_{p1}, U_{p2} = 0.762 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$bf1, bf2 = 0.19 \text{ m}$$



Slika 12. Presjek srednje površine okvira prozora, pro račun Ψ_m

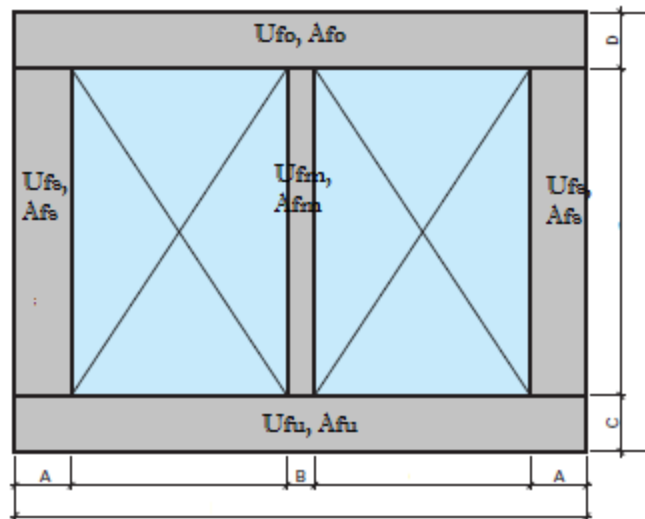
$$\Psi_m = \frac{\frac{\Phi}{\Delta T} - U_{g1} * bg1 - U_{fm} * bf - U_{g2} * bg2}{2}$$

$$U_{g1}, U_{g2} = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$bg1, bg2 = 0.19 \text{ m}$$

Ukupni koeficijent U okvira (srednja vrijednost), u $\text{W/m}^2\text{K}$:

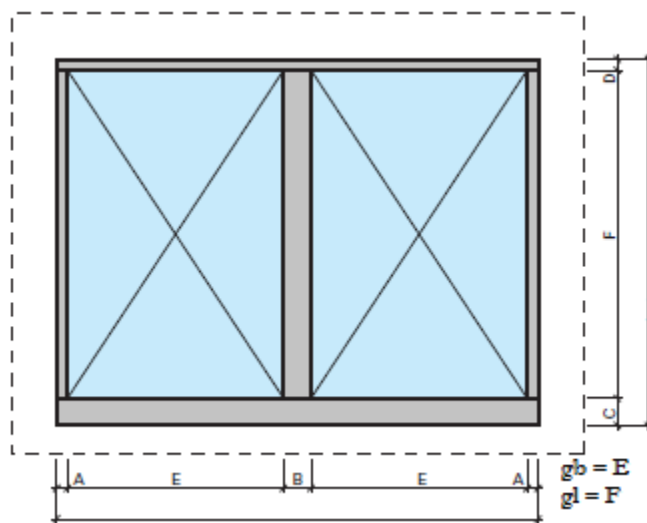
$$U_f = \frac{A_{fu} \cdot U_{fu} + A_{fo} \cdot U_{fo} + A_{fm} \cdot U_{fm} + A_{fs} \cdot U_{fs}}{A_f}$$



Slika 13. Površina okvira prozora i dimenzije

Ukupna vrijednost toplinskih gubitaka ruba stakla, u W/mK:

$$\Psi_g = \frac{\Psi_s * 2 * g_l + \Psi_o * 2 * g_b + \Psi_u * 2 * g_b + \Psi_m * 2 * g_l}{L_g}$$



Slika 14. Dimenzije ruba stakla

3.2. Primjer proračuna

Primjer 1.

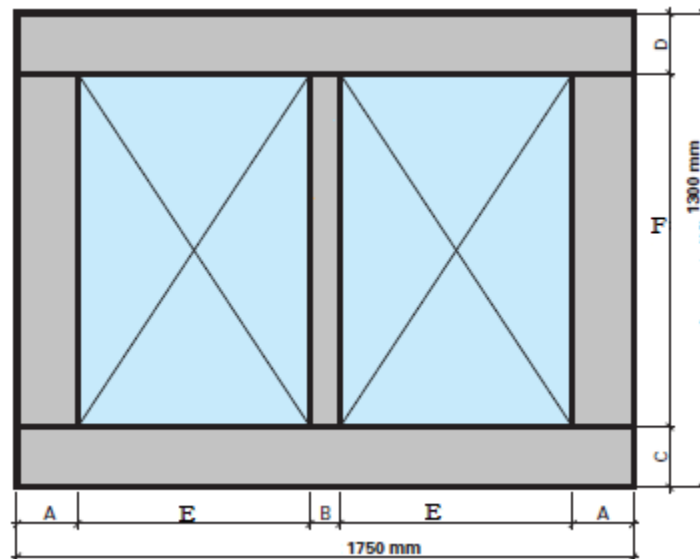
Tip prozora: Dvokrilni operabilni prozor, drvo s aluminijskom oblagom, trostruko ostakljenje

- stolarija: smreka, 64 x 95 mm
 - brtva stolarije: 2, materijal: etilen propilen dienska guma (EPDM)
 - prozorsko krilo: smreka 74 x 78 mm
 - brtve prozorskog krila: bočno, srednji dio 3, materijal: etilen propilen dienska guma
 - brtve staklenih površina: vanjska i unutarnja, materijal: etilen propilen dienska guma
- dimenzija zidnog otvora: 1.55 x 1.15 m

▪ Računanje U-faktora okvira, U_f

Geometrija za U-faktor okvira (U_f)

- Visina prozora: 1.3 m
- Širina prozora: 1.75 m
- Širina bočnog okvira, A: 0.149 m
- Širina središnjeg okvira, B: 0.149 m
- Širina donjeg okvira, C: 0.122 m
- Širina gornjeg okvira, D: 0.149 m



Slika 15. Površina okvira prozora i dimenzije

Površine okvira:

- Bočne površine, A_{fs} : $2 \cdot (1,3 - C - D) \cdot A \text{ [m}^2\text{]}$
- Središnja površina, A_{fm} : $(1,3 - C - D) \cdot B \text{ [m}^2\text{]}$
- Donja površina, A_{fu} : $1,75 \cdot C \text{ [m}^2\text{]}$
- Gornja površina, A_{fo} : $1,75 \cdot D \text{ [m}^2\text{]}$
- Duljina ruba stakla, L_g : $4 \cdot E + 4 \cdot F \text{ [m}^2\text{]}$

U-faktor okvira, U_f

	A_f	U_f
Bočne površine,s:	0.299 m ²	1.112 W/m ² K
Središnja površina,m:	0.122 m ²	1.291 W/m ² K
Donja površina,u:	0.261 m ²	1.249 W/m ² K
Gornja površina,o:	0.261 m ²	1.112 W/m ² K
Cijela površina okvira:	0.942 m ²	1.173 W/m ² K

Srednji U-faktor površine okvira:

$$U_f = \frac{A_{fu} \cdot U_{fu} + A_{fo} \cdot U_{fo} + A_{fm} \cdot U_{fm} + A_{fs} \cdot U_{fs}}{A_f}$$

$$U_f = 1.173 \text{ W/m}^2\text{K}$$

▪ Karakteristike stakla i prozorskog sklopa

- U-faktor stakla je izračunata prema EN 673 i izvučena iz dokumenta proizvođača stakla
- punjenje: argon, trostruko izolacijsko staklo

U-vrijednost stakla, U_g 0.6 [W/m²K]

Toplinski mostovi ruba, ψ_g 0.035 [W/mK]

Vidljiva visina stakla, g_i	0.990 [-]
Vidljiva širina stakla, g_b	0.670 [--]
Površina stakla, A_g	1.327 m ²
Duljina ruba stakla, l_g	6.640 m

-materijal odvažača: plastika/nehrđajući čelik

-udio stakla u prozorskom sklopu: $\frac{100 \cdot A_g}{A_w} = 74.4 \%$

površina stakla, $A_g = 1.327 \text{ m}^2$

projektirana površina, $A_w = 1.783 \text{ m}^2$

▪ Proračun spoja ruba stakla

Dimenzije: 2 x vidljiva visina prozora, 2 x g_i	1.980 m
2 x vidljiva širina prozora, 2 x g_b	1.340 m
Duljina ruba stakla, l_g	6.640 m

$$\Psi_g = \frac{\Psi_s \cdot 2 \cdot g_i + \Psi_o \cdot 2 \cdot g_b + \Psi_u \cdot 2 \cdot g_b + \Psi_m \cdot 2 \cdot g_i}{L_g}$$

Ψ_s	0.035 W/mK		
Ψ_m	0.035 W/mK		
Ψ_o	0.035 W/mK	ukupna Ψ_g vrijednost	0.035 W/mK
ψ_u	0.035 W/mK		

Ukupni U-faktor prozora, U_w

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g}{A_w}$$

$$U_w = 0.877 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Primjer 2.

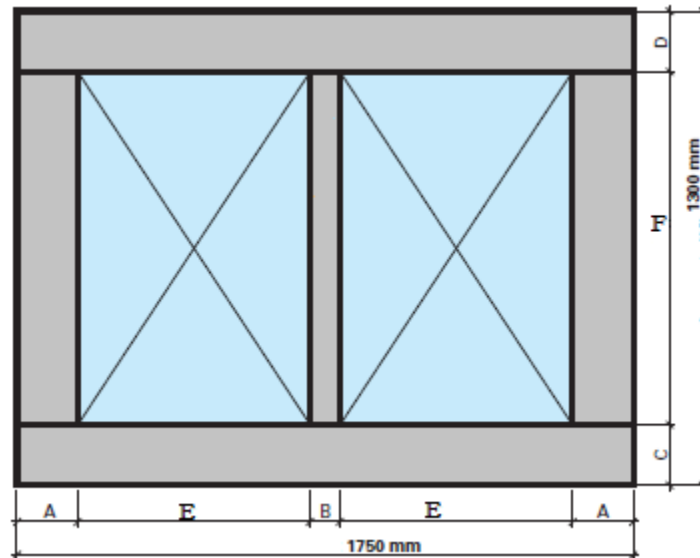
1a Hunkeler Top-Win Plus, 155 x 115; sa/bez toplinskih mostova; staklo 0,5/0,05/0.54

Tip prozora: 1a Hunkeler Top-Win Plus

▪ Geometrija za U-faktor okvira (Uf)

Površine okvira:

- Bočne površine, A_{fs} : $2 \cdot (1,3 - C - D) \cdot A$ [m²]
- Središnja površina, A_{fm} : $(1,3 - C - D) \cdot B$ [m²]
- Donja površina, A_{fu} : $1,75 \cdot C$ [m²]
- Gornja površina, A_{fo} : $1,75 \cdot D$ [m²]



Slika 16. Površina okvira prozora i dimenzije

Srednji U-faktor površine okvira:

$$U_f = \frac{A_{fu} \cdot U_{fu} + A_{fo} \cdot U_{fo} + A_{fm} \cdot U_{fm} + A_{fs} \cdot U_{fs}}{A_f}$$

U-faktor okvira, U_f	Dimenzije	Površina	U_f
Bočni okvir	A 0.131 [m]	0.26986 [m ²]	1.009 [W/m ² K]
Srednji okvir	B 0.092 [m]	0.09476 [m ²]	1.162 [W/m ² K]
Donja površina okvira	C 0.139 [m]	0.24325 [m ²]	1.277 [W/m ² K]
Gornja površina okvira	D 0.131 [m]	0.22925 [m ²]	1.009 [W/m ² K]
Cijela površina okvira		0.83712 [m ²]	1.104 [W/m ² K]

▪ Karakteristike stakla i prozorskog sklopa

Staklo varijanta 1: dvostruko izolacijsko staklo

U-faktor	U_g 0.500 [W/m ² K]
Toplinski mostovi ruba	ψ_g 0.050 [W/mK]
Transmisija energije	$g_{okomito}$ 0.540 [–]

Staklo varijanta 2: trostruko izolacijsko staklo

U-faktor	U_g 0.500 [W/m ² K]
Toplinski mostovi ruba	ψ_g 0.050 [W/mK]
Transmisija energije	$g_{okomito}$ 0.540 [–]

Gubitak topline zbog toplinskih mostova ugrađenog prozorskog sklopa:

Ugradbeni toplinski mostovi	ψ_E 0.057 [W/m ² K]
-----------------------------	-------------------------------------

Površina

Širina otvora prozora	1.550 [m]
Visina otvora prozora	1.150 [m]
Bočni okvir	A 0.005 [m]
Srednji okvir	B 0.092 [m]
Donja površina okvira	C 0.065 [m]
Gornja površina okvira	D 0.005 [m]
Površina prozora	A_w 1.783 [m ²]
Površina okvira	A_f 0.219 [m ²]
Površina stakla	A_g 1.564 [m ²]
Duljina ruba prozora	L_g 7.216 [m]
Duljina ruba ugrađenog prozora	L_E 5.400 [m]

Geometrija staklenih površina prozora za U_g

Površine i korekcije:

– Površina prozora:	$A_w = 1,55 \cdot 1,115 = 1,72825 \text{ [m}^2\text{]}$
– Površina stakla:	$A_g = 2 \cdot E \cdot F \text{ [m}^2\text{]}$
– Duljina ruba prozora:	$l_g = (4 \cdot E) + (4 \cdot F) \text{ [m]}$
– Površina okvira u otvoru zida:	$A_f^* = A_w - A_g \text{ [m}^2\text{]}$

▪ **Energetska bilanca prozora**

	bez UTM*	sa UTM
U-vrijednost prozora, U_w	0.777 [W/m ² K]	0.949 [W/m ² K]
Gubitak topline transmisijom, Q_T	123 [kWh/a]	151 [kWh/a]
Dobitak topline kroz Sunčevu svjetlost, Q_S		
Prema jugu	173 [kWh/a]	173 [kWh/a]
Prema zapadu	103 [kWh/a]	103 [kWh/a]
Prema istoku	98 [kWh/a]	98 [kWh/a]
Prema sjeveru	48 [kWh/a]	48 [kWh/a]
Energetska bilanca, $Q_T - Q_S$		
Prema jugu	- 50 [kWh/a]	-22 [kWh/a]
Prema zapadu	21 [kWh/a]	48 [kWh/a]
Prema istoku	26 [kWh/a]	53 [kWh/a]
Prema sjeveru	75 [kWh/a]	103 [kWh/a]
Energetski ekvivalentna vrijednost U, U_{weq}		
Prema jugu	-0.313 [W/m ² K]	-0.141 [W/m ² K]
Prema zapadu	0.129 [W/m ² K]	0.302 [W/m ² K]
Prema istoku	0.162 [W/m ² K]	0.334 [W/m ² K]
Prema sjeveru	0.474 [W/m ² K]	0.647 [W/m ² K]

*ugradbeni toplinski most

- Klimatski uvjeti za klimatološku stanicu Zurich SMA

Dani stupnja grijanja 3717 [Kd/a]

Globalno zračenje

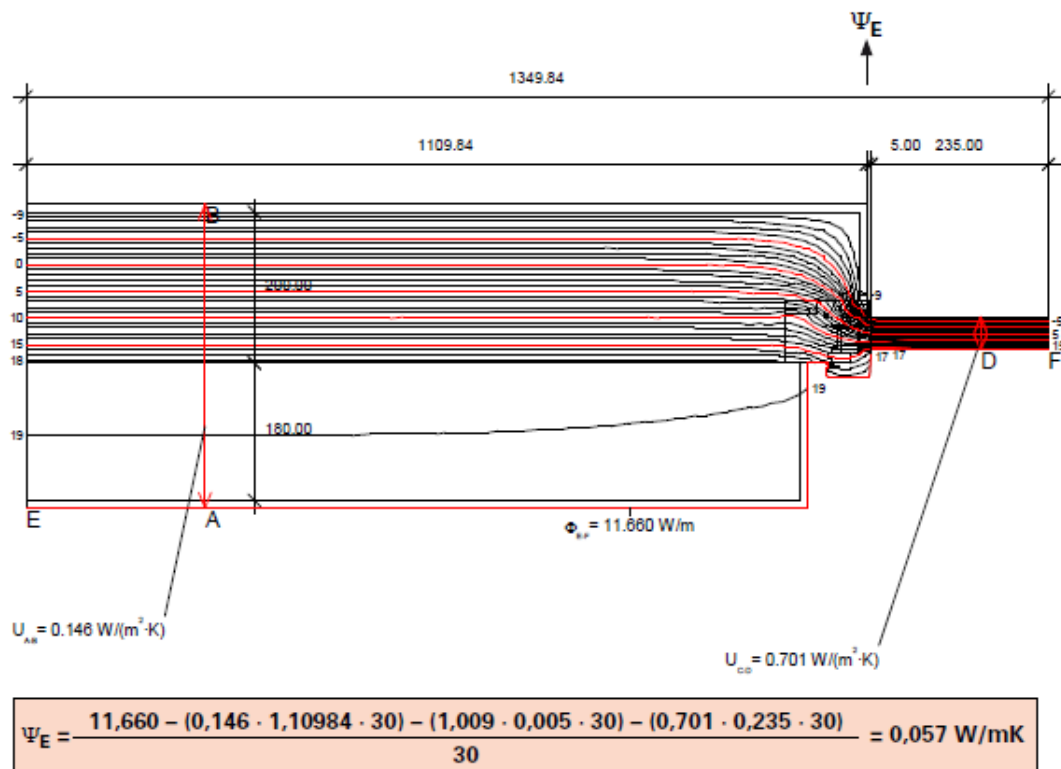
prema jugu	1710 [MJ / m ² a]
prema zapadu	1016 [MJ / m ² a]
prema istoku	965 [MJ / m ² a]
prema sjeveru	474 [MJ / m ² a]

Faktor zasjenjenja, FS (FS1*FS2*FS3) 0.8 [-]

Iskorištenje slobodne topline, η_g 0.6 [-]

U-faktor prozora bez gubitaka pri ugradnji:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g}{A_w}$$



Slika 17. Proračun ugradbenih toplinskih mostova

U-faktor prozora s gubicima pri ugradnji:

$$U_{w,E} = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g + l_E \cdot \psi_E}{A_w}$$

U-faktor prozora, U_w

U_w sa staklom varijante 1

U_w sa staklom varijante 2

U_w (bez ugradbenih toplinskih mostova)

0.777 [W/m²K]

0.777 [W/m²K]

$U_{w,E}$ (s ugradbenim toplinskim mostovima)

0.949 [W/m²K]

0.949 [W/m²K]

U vrijednost različitih stakala s referentnim dimenzijama 155/115 i rubom stakla od nehrđajućeg čelika ($\psi_g = 0,05$ W/mK)

U_g [W/m ² K]	U_w [W/m ² K]
1.200	1.391
1.100	1.303
1.000	1.215
0.700	0.952
0.600	0.864
0.500	0.777

Primjer 3.

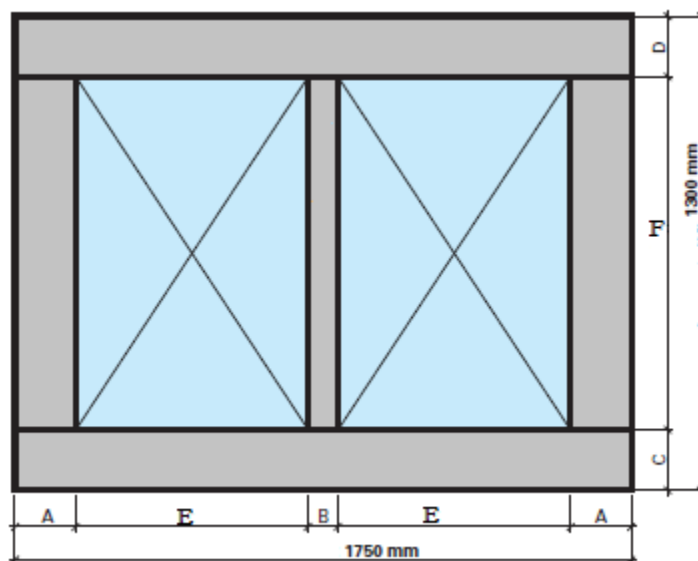
1a Hunkeler Top-Win Plus, 450 x 250; sa/bez toplinskih mostova; staklo 0,5/0,05/0.54

Tip prozora: 1a Hunkeler Top-Win Plus

▪ Geometrija za U-faktor okvira (Uf)

Površine okvira:

- Bočne površine, A_{fs} : $2 \cdot (1,3 - C - D) \cdot A$ [m²]
- Središnja površina, A_{fm} : $(1,3 - C - D) \cdot B$ [m²]
- Donja površina, A_{fu} : $1,75 \cdot C$ [m²]
- Gornja površina, A_{fo} : $1,75 \cdot D$ [m²]



Slika 18. Površina okvira prozora i dimenzije

Srednji U-faktor površine okvira:

$$U_f = \frac{A_{fu} \cdot U_{fu} + A_{fo} \cdot U_{fo} + A_{fm} \cdot U_{fm} + A_{fs} \cdot U_{fs}}{A_f}$$

U-faktor okvira, U_f	Dimnezije	Površina	U_f
Bočni okvir	A 0.131 [m]	0.26986 [m ²]	1.009 [W/m ² K]
Srednji okvir	B 0.092 [m]	0.09476 [m ²]	1.162 [W/m ² K]
Donja površina okvira	C 0.139 [m]	0.24325 [m ²]	1.277 [W/m ² K]
Gornja površina okvira	D 0.131 [m]	0.22925 [m ²]	1.009 [W/m ² K]
Cijela površina okvira		0.83712 [m ²]	1.104 [W/m ² K]

▪ Karakteristike stakla i prozorskog sklopa

Staklo varijanta 1: dvostruko izolacijsko staklo

U-faktor	U_g 0.500 [W/m ² K]
Toplinski mostovi ruba	ψ_g 0.050 [W/mK]
Transmisija energije	$g_{okomito}$ 0.540 [–]

Staklo varijanta 2: trostruko izolacijsko staklo

U-faktor	U_g 0.500 [W/m ² K]
Toplinski mostovi ruba	ψ_g 0.050 [W/mK]
Transmisija energije	$g_{okomito}$ 0.540 [–]

Gubitak topline zbog toplinskih mostova ugrađenog prozorskog sklopa:

Ugradbeni toplinski mostovi	ψ_E 0.057 [W/m ² K]
-----------------------------	-------------------------------------

Površina

Širina otvora prozora	4.500 [m]
Visina otvora prozora	2.500 [m]

Bočni okvir	A 0.005 [m]
Srednji okvir	B 0.092 [m]
Donja površina okvira	C 0.065 [m]
Gornja površina okvira	D 0.005 [m]
Površina prozora	A_w 11.250 [m ²]
Površina okvira	A_f 0.563 [m ²]
Površina stakla	A_g 10.687 [m ²]
Duljina ruba prozora	L_g 18.516 [m]

Duljina ruba ugrađenog prozora L_E 14.000 [m]

Geometrija staklenih površina prozora za U_g

Površine i korekcije:

– Površina prozora:	$A_w = 1,55 \cdot 1,115 = 1,72825$ [m ²]
– Površina stakla:	$A_g = 2 \cdot E \cdot F$ [m ²]
– Duljina ruba prozora:	$l_g = (4 \cdot E) + (4 \cdot F)$ [m]
– Površina okvira u otvoru zida:	$A_f^* = A_w - A_g$ [m ²]

▪ Energetska bilanca prozora

	bez UTM*	sa UTM
U-vrijednost prozora, U_w	0.613 [W/m ² K]	0.683 [W/m ² K]
Gubitak topline transmisijom, Q_T	615 [kWh/a]	686 [kWh/a]

Dobitak topline kroz Sunčevu svjetlost, Q_S

Prema jugu	1184 [kWh/a]	1184 [kWh/a]
Prema zapadu	704 [kWh/a]	704 [kWh/a]
Prema istoku	668 [kWh/a]	668 [kWh/a]
Prema sjeveru	328 [kWh/a]	328 [kWh/a]

Energetska bilanca, $Q_T - Q_S$

Prema jugu	-569 [kWh/a]	-498 [kWh/a]
Prema zapadu	-89 [kWh/a]	-18 [kWh/a]
Prema istoku	-54 [kWh/a]	18 [kWh/a]
Prema sjeveru	286 [kWh/a]	358 [kWh/a]

Energetski ekvivalentna vrijednost U , U_{weq}

Prema jugu	-0.567 [W/m ² K]	-0.497 [W/m ² K]
Prema zapadu	-0.089 [W/m ² K]	-0.018 [W/m ² K]
Prema istoku	-0.053 [W/m ² K]	0.018 [W/m ² K]
Prema sjeveru	0.285 [W/m ² K]	0.356 [W/m ² K]

*ugradbeni toplinski most

- **Klimatski uvjeti za klimatološku stanicu Zurich SMA**

Dani stupnja grijanja 3717 [Kd/a]

Globalno zračenje

prema jugu	1710 [MJ / m ² a]
prema zapadu	1016 [MJ / m ² a]

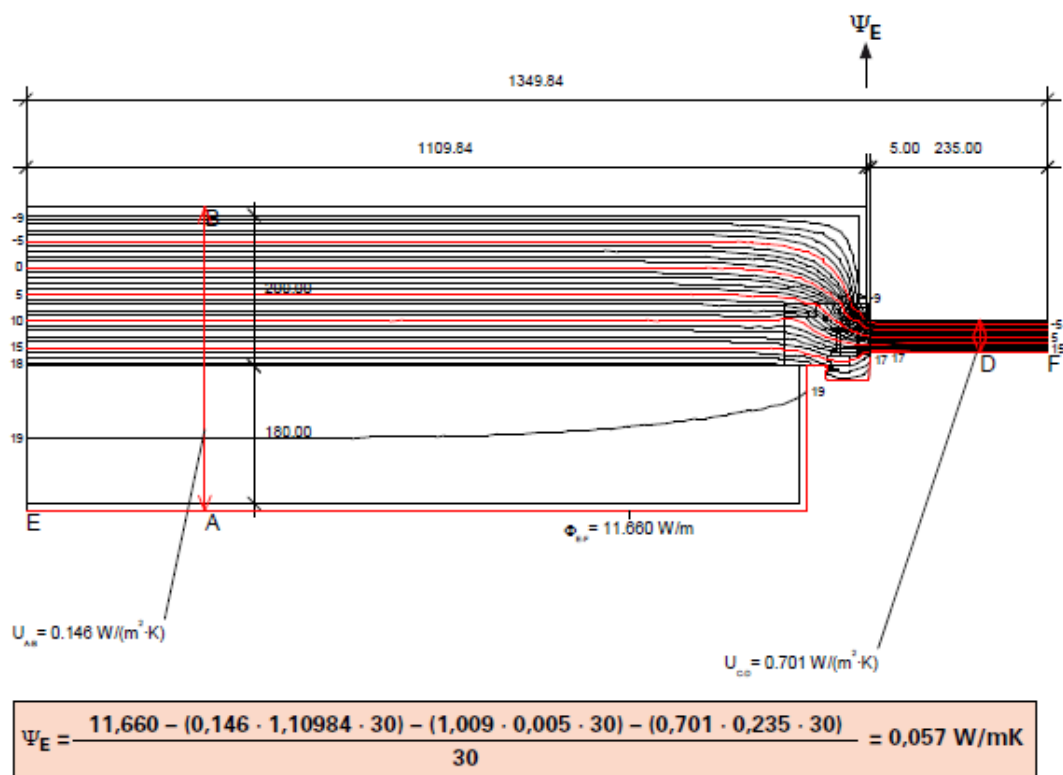
prema istoku 965 [MJ / m²a]
prema sjeveru 474 [MJ / m²a]

Faktor zasjenjenja, FS (FS1*FS2*FS3) 0.8 [-]

Iskorištenje slobodne topline, η_g 0.6 [-]

U-faktor prozora bez gubitaka pri ugradnji:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g}{A_w}$$



Slika 19. Proračun ugradbenih toplinskih mostova

U-faktor prozora s gubicima pri ugradnji:

$$U_{w,E} = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g + l_E \cdot \psi_E}{A_w}$$

U-faktor prozora, U_w

U_w sa staklom varijante 1

U_w sa staklom varijante 2

U_w (bez ugradbenih toplinskih mostova)

0.613 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

0.613 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

$U_{w,E}$ (s ugradbenim toplinskim mostovima)

0.683 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

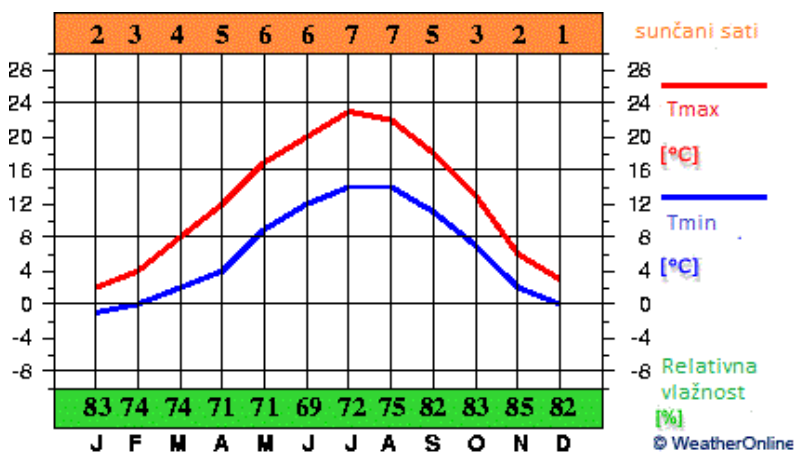
0.683 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

U vrijednost različitih stakala s referentnim dimenzijama 155/115 i rubom stakla od nehrđajućeg čelika ($\psi_g = 0,05 \text{ W/mK}$)

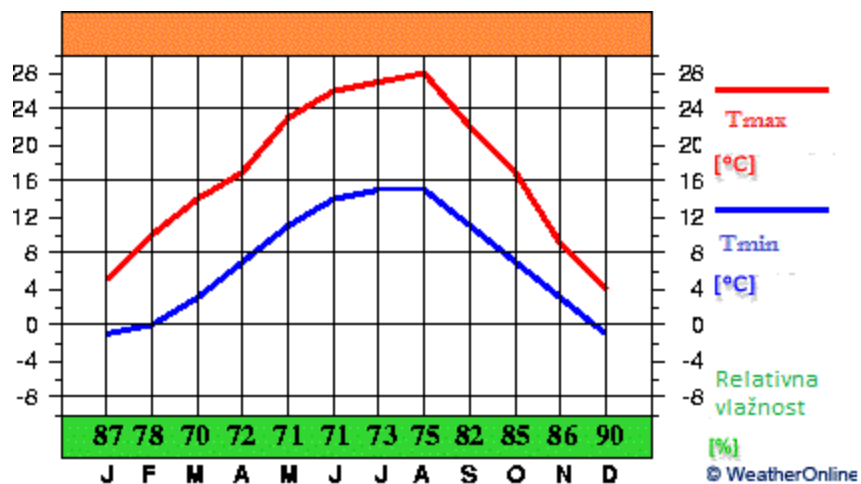
U_g [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	U_w [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
1.200	1.277
1.100	1.183
1.000	1.088
0.700	0.803
0.600	0.708
0.500	0.613

4. RASPRAVA

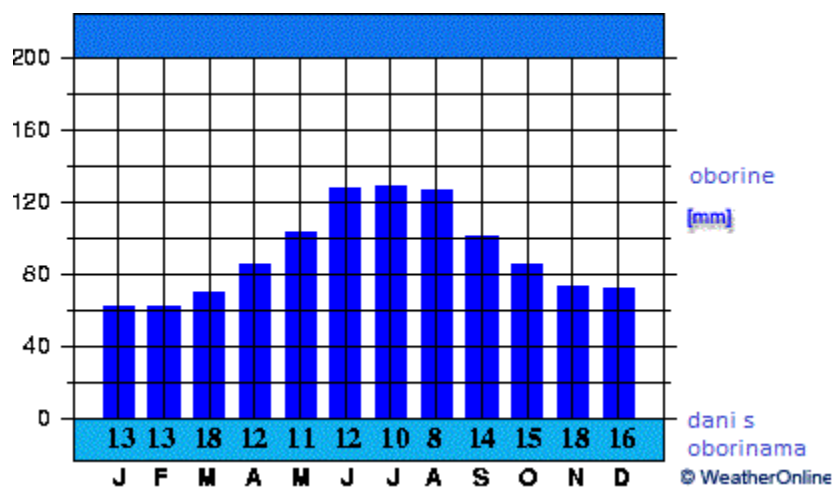
Zbog nemogućnosti provedbe vlastitih proračuna, prikazani su primjeri proračuna za Švicarsku, točnije šire područje Züricha. Rezultati tih proračuna su primjenjivi i za područje Zagreba, s obzirom na slične klimatske uvjete. Uvrstimo li u proračun klimatske podatke za Zagreb, razlika ne bi bila značajna. Za ostatak Hrvatske, npr. južnu Dalmaciju, nužni su pak korekcijski faktori. Zagreb (122 metara nadmorske visine) i Zürich (408 metara) dijele sličnu, umjerenu srednjoeuropsku klimu s dnevnim temperaturama oko 18 do 28 °C ljeti i -2 ° do 7 °C zimi, s čestom pojavom snijega. Najhladniji mjeseci su prosinac, siječanj (posebno vrijedi za Zagreb) i veljača, dok su u Zürichu srpanj i kolovoz jedini mjeseci u kojima vladaju vrućine. Na klimatskim dijagramima (slike 20 i 21) je vidljivo da se prave ljetne temperature u Zagrebu protežu kroz duži vremenski period. Količina oborina je, iako varira s obzirom na mjesec, približno jednaka, a vjetrovi su u Zürichu ipak češći nego u Zagrebu. Neugodni vjetrovi sa zapada uzrokuju mnogo oborina, a hladne temperature uzrokuju istočni vjetrovi. Ipak, klimatska podneblja u kojima se nalaze Zagreb i Zürich i njihove karakteristike se ipak dovoljno dobro poklapaju da bi se rezultati proračuna mogli primijeniti i na stambene objekte u Zagrebu. [6][7] Bitno je naglasiti i da su svi proračuni provedeni bez ubrajanja utjecaja uređaja za zasjenjivanje i zamračivanje (rolete, žaluzine, zavjese).



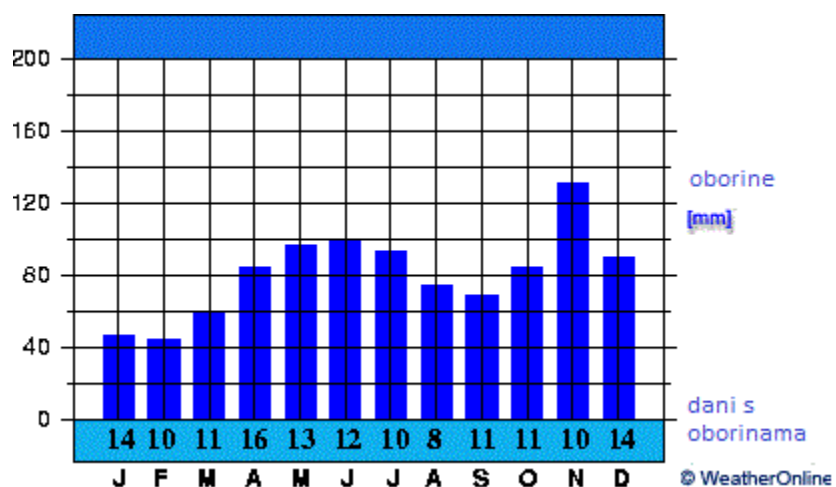
Slika 20. Klimatski dijagram za Zürich [8]



Slika 21. Klimatski dijagram za Zagreb [9]



Slika 23. Dijagram oborina za Zürich [8]



Slika 22. Dijagram oborina za Zagreb [9]

Tablica 1. Rezultati provedenih proračuna

	U_f , W/m^2K	U_g , W/m^2K	ψ_g	A_g , %	A_w , m^2	U_w , W/m^2K
1	1.173	0.6	0.035	74.4	1.783	0.877
2	1.104	0.5	0.05	87.7	1.783	0.777
3	1.104	0.5	0.05	94.9	11.25	0.613

1 – okvir – drvo s aluminijskom oblagom, trostruko ostakljenje, 1.55 x 1.15

2 – okvir – drvo, dvostruko i trostruko ostakljenje, 1.55 x 1.15

3 – okvir – drvo, dvostruko i trostruko ostakljenje, 4.5 x 2.5

Na temelju rezultata provedenih proračuna moguće je procijeniti utjecaj dimenzija prozora kod prozora istog materijala (prozor 2 i 3), materijala okvira prozorskog sklopa kod prozora istih dimenzija (1 i 2) i nedostataka neizbježnih pri ugradnji prozora (ugradbenih toplinskih mostova) (2 i 3).

- Pri ocjeni utjecaja materijala okvira treba voditi računa da to budu prozori istih dimenzija, dakle prozor 1 i prozor 2 s dimenzijama 1.55 x 1.15.

Veća vrijednost koeficijenta U za prozor 1 ($0.877 W/m^2K$) nego prozora 2 ($0.777 W/m^2 K$) je posljedica aluminijske oblage na okviru prozora 1 budući da je aluminij materijal kojeg karakterizira velika provodljivost ($k = 237 W/mK$ za čisti aluminij, $k = 120 - 180 W/mK$ za legure).

- Na temelju energetske bilance prozora u proračunu 2 i 3 može se ocijeniti utjecaj dimenzija prozora na cjelokupnu energetska izvedbu. Iako je prozor broj 3 (4.5 x 2.5) skoro trostruko viši i dvostruko širi pa je puno veća površina kroz koju se može dogoditi gubitak topline, velika površina omogućuje dobitak topline putem Sunčeve svjetlosti, pogotovo ako je orijentiran prema jugu.

- Prozor dimenzija 1.55 x 1.15

- **Energetska bilanca prozora**

	bez UTM*	sa UTM
U-vrijednost prozora, U_w	0.777 [W/m ² K]	0.949 [W/m ² K]
Gubitak topline transmisijom, Q_T	123 [kWh/a]	151 [kWh/a]
Dobitak topline kroz Sunčevu svjetlost, Q_S		
Prema jugu	173 [kWh/a]	173 [kWh/a]
Prema zapadu	103 [kWh/a]	103 [kWh/a]
Prema istoku	98 [kWh/a]	98 [kWh/a]
Prema sjeveru	48 [kWh/a]	48 [kWh/a]
Energetska bilanca, $Q_T - Q_S$		
Prema jugu	- 50 [kWh/a]	-22 [kWh/a]
Prema zapadu	21 [kWh/a]	48 [kWh/a]
Prema istoku	26 [kWh/a]	53 [kWh/a]
Prema sjeveru	75 [kWh/a]	103 [kWh/a]

- Prozor dimenzija 4.5 x 2.5

- **Energetska bilanca prozora**

	bez UTM*	sa UTM
U-vrijednost prozora, U_w	0.613 [W/m ² K]	0.683 [W/m ² K]

Gubitak topline transmisijom, QT	615 [kWh/a]	686 [kWh/a]
Dobitak topline kroz Sunčevu svjetlost, QS		
Prema jugu	1184 [kWh/a]	1184 [kWh/a]
Prema zapadu	704 [kWh/a]	704 [kWh/a]
Prema istoku	668 [kWh/a]	668 [kWh/a]
Prema sjeveru	328 [kWh/a]	328 [kWh/a]
Energetska bilanca, QT – QS		
Prema jugu	-569 [kWh/a]	-498 [kWh/a]
Prema zapadu	-89 [kWh/a]	-18 [kWh/a]
Prema istoku	-54 [kWh/a]	18 [kWh/a]
Prema sjeveru	286 [kWh/a]	358 [kWh/a]

- Pomoću primjera proračuna 2 i 3 pokazan je i utjecaj instalacije prozora na njegovu energetska izvedbu. Nemoguće je potpuno izbjeći nastajanje ma koliko malih toplinskih mostova, pa je i U-faktor ugrađenog prozora veći za od U-faktora neugrađenog prozora.

➤ Proračun 2

U_w (bez ugradbenih toplinskih mostova)

0.777 [W/m²K] **0.777** [W/m²K]

U_{w,E} (s ugradbenim toplinskim mostovima)

0.949 [W/m²K] **0.949** [W/m²K]

➤ Proračun 3

U_w (bez ugradbenih toplinskih mostova)

0.613 [W/m²K] **0.613** [W/m²K]

Uw,E (s ugradbenim toplinskim mostovima)

0.683 [W/m²K]

0.683 [W/m²K]

Verifikacija proračuna je provedena s obzirom na Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama koji je donesen na temelju članka 19. Zakona o prostornom uređenju i gradnji Republike Hrvatske i Minergie standard. Švicarski standard Minergie je svjetski priznat standard za nove i modernizirane zgrade u cilju uštede energetske i financijskih resursa, financiran od strane švicarske ekonomije, kantona i federalnih vlada.

➤ Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama

Vrijednosti u tablici 1. dane su u odnosu na srednju mjesečnu temperature vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade, $\Theta_{e,mj,min}$.

Tablica 2. Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [W/(m²/K)], građevnih dijelova novih zgrada, i nakon rekonstrukcije postojećih zgrada [10]

Redni broj	Građevni dio	U [W/(m ² ·K)]			
		$\Theta_{int,set,H} \geq 18\text{ °C}$		$12\text{ °C} < \Theta_{int,set,H} < 18\text{ °C}$	
		$\Theta_{e,mj,min} \leq 3\text{ °C}$	$\Theta_{e,mj,min} > 3\text{ °C}$	$\Theta_{e,mj,min} \leq 3\text{ °C}$	$\Theta_{e,mj,min} > 3\text{ °C}$
1.	Vanjski zidovi, zidovi prema garaži, zidovi prema provjetranom tavanu	0,30	0,45	0,50	0,60
2.	Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, ostali prozirni elementi ovojnice zgrade	1,60	1,80	2,50	2,80
3.	Ostakljeni dio prozora, balkonskih vrata, krovni prozori, prozirni elementi ovojnice zgrade (U)	1,10	1,40	1,40	1,40
4.	Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora, stropovi prema provjetranom tavanu	0,25	0,30	0,40	0,50

Vidljivo je da dobiveni rezultati za U- faktor za sva tri prozora ($0.877 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0.949 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $0.683 \text{ W/m}^2\text{K}$) zadovoljavaju standarde zadane Tehničkim propisom propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama.

Tablica 3. Računske vrijednosti stupnja propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje, $g_{okomito}$, za slučaj okomitog upada sunčeva zračenja [10]

Redni broj	Tip ostakljenja	$g_{\perp} (-)$
1.	Jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0,87
2.	Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka)	0,80
3.	Trostruko izolirajuće staklo (s dva međusloja zraka)	0,70
4.	Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (Low-E obloga)	0,60
5.	Trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)	0,50
6.	Dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od sunčeva zračenja	0,50-0,25
7.	Staklena opeka	0,60
8.	Dvostruke staklene talpe	0,60

Vrijednost $g_{okomito}$ od 0.54 u proračunu 2 i 3 (za dvostruko i trostruko staklo) zadovoljava propisane vrijednosti.

➤ Minergie standard

Izolacijski prozor: $U_w = 1.0 \text{ W / m}^2\text{K}$

Staklo: $U_g = 0.7 \text{ W / m}^2\text{K}$

Udio stakla u otvoru prozora: $\geq 75\%$ [11] m^2

Tablica 1. Rezultati provedenih proračuna

	U_f , $\text{W/m}^2\text{K}$	U_g , $\text{W/m}^2\text{K}$	ψ_g	A_g , %	A_w , m^2	U_w , $\text{W/m}^2\text{K}$
1	1.173	0.6	0.035	74.4	1.783	0.877
2	1.104	0.5	0.05	87.7	1.783	0.777
3	1.104	0.5	0.05	94.9	11.25	0.613

Usporedbom proloženih rezultata i zahtjeva Minergie standarda jasno je vidljivo da energetski pokazatelji prozora opisanih izvršenim proračunima ispunjavaju i ove zahtjeve.

Proračun energetskih pokazatelja prozora (U_f , U_g i Ψ) je baziran na međunarodnim normama i vrijedi za cijelu Europu.

Norma ISO 10077-2: 2011 specificira metodu i daje referentne ulazne podatke za izračun koeficijenta prolaska topline od okvira profila i linearnog koeficijenta prolaska topline njihovog spajanja sa staklom ili neprozirnih ploča. Ne uključuje učinke sunčevog zračenja, učinke toplinskog mosta između okvira i strukture zgrade topline uzrokovane curenjem zraka ili trodimenzionalni prijenos topline. [12]

- HRN EN ISO 10077-1:2002 Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 1. dio: Pojednostavnjena metoda (ISO 10077-1:2000; EN ISO 10077-1:2000)
- HRN EN ISO 10077-2:2004 Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 2. dio: Numerička metoda za okvire (ISO 10077-2:2003; EN ISO 10077-2:2003)
- HRN EN 410:2011 Staklo u graditeljstvu -- Određivanje svjetlosnih i sunčanih značajka ostakljenja

Norma ISO 12567-1 : 2010 određuje metodu za mjerenje koeficijenta prolaska topline sustava vrata ili prozora koja je primjenjiva na sve učinke okvira, krila, roleta, žaluzina, sita, ploča, listova vrata i elemenata. Ne uključuje učinke ruba koji se javljaju van promatranog predmeta, prijenos Sunčeve energije, učinke propuštanja zraka , i krovne prozore i proizvode kojima vanjska strana strši dalje od ruba krova. [13]

Norma ISO 18292: 2011 specificira postupak za izračun energetskih pokazatelja prozorskih sustava koji se koriste u stambenim zgradama, za ocjenu sustava prozora, vrata i krovnih prozore, uključujući efekte okvira, prozorskih krila, stakla i uređaja za zasjenjivanje. Ti postupci mogu se primijeniti za sve klimatske uvjete i metode ugradnje. [14]

Norma EN 14351-1: 2006 je norma čiji je cilj europski standard i definiranje svojstava i klase značajke prozora i vanjskih vrata neovisno o materijalu kao i potrebne provjere i ovjere. Norma je rezultat rada Europske Direktive građevinskih proizvoda prema specifikacijama iz Dodatka

ZA za oznaku CE koja pokazuje sukladnost proizvoda s europskim direktivama I obvezna je u cijeloj Europi. Ipak, ako je norma u sukobu s nacionalnim propisima, povlači se. [15]

- Tehnički propis za prozore i vrata, NN 69/2006

PRILOG: Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za prozore i vrata, te način potvrđivanja sukladnosti

“Tehnička svojstva prozora i vrata, ovisno o vrsti prozora odnosno vrata moraju ispunjavati opće i posebne zahtjeve bitne za njihovu krajnju namjenu u građevini i moraju biti specificirana prema normi HRN EN 14351-1 odnosno prema posebnom propisu.” [16]

Međutim, zbog različitih klimatskih uvjeta i metoda proračuna bilance energetska bilanca prozora nije ista za cijelu Europu. Zato postoje razlike u proračunu (drugačija pojednostavljenja) i rezultatima energetskog proračuna prozora za različita klimatska podneblja, iako je proračun u zemljama Europske unije temeljen na istim normama.

S obzirom na već prikazanu sličnost klimatskih uvjeta Zagreba i Züricha, dobiveni rezultati su primjenjivi za obiteljske stambene zgrade za šire područje Zagreba.

5. ZAKLJUČAK

Na kraju možemo ponovno naglasiti iznimnu važnost prozora kako za percepciju određenog prostora, tako i za energetske izvedbe. Glavni parametar koji služi za usporedbu različitih izvedbi prozora je koeficijent prolaska topline, U , čija se vrijednost pokušava sniziti pomoću izolacijskih stakala, premaza niske emisije, punjenjem međuprostora inernim plinom ili povećavanjem debljine međuprostora i debljine stijenki. Zadovoljavajuće vrijednosti koeficijenta U određene su državnim propisima i međunarodno priznatim standardima (Minergie standard). Proračun ukupnog koeficijenta prolaza topline za prozor i svih ostalih koeficijenata potrebnih za proračun vrši se prema međunarodnim normama. Iako sve europske države poštuju iste norme, izgled proračuna i rezultati često variraju zbog velike klimatske raznolikosti Europe. Pri proračunu U faktora posebno se računaju koeficijenti prolaska topline i gubici topline za staklo, okvir, spoj prozora s okvirom i gubitak topline zbog ugradbenih toplinskih mostova koji se, uz površine elemenata prozora, uvrstavaju u jedinstvenu jednadžbu za izračun U faktora cijelog prozorskog sklopa. Prikazanim primjerima proračuna u radu pokazano je da energetska izvedba prozora ovisi o dimenzijama, korištenom materijalu i načinu ugradnje i da prozori podvrgnuti proračunu zadovoljavaju standard Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama Republike Hrvatske, kao i međunarodno priznati standard Minergie. U procesu poboljšanja energetske učinkovitosti prozora nužno je uzeti u obzir klimatsko podneblje, orijentaciju koju će prozor imati, konstrukciju zgrade za koju je namijenjen i optimalan način instalacije budući da izvedba prozora uvelike ovisi o svim tim faktorima. Zaboravljajući neki od ovih elemenata, umanjujemo učinak svega što je napravljeno u smjeru povećanja energetske učinkovitosti. Cijena prozora s boljom energetskom izvedbom je viša od cijene običnog prozora s obzirom na zahtjevniju proizvodnju, no dugoročno se višestruko isplati smanjujući toplinske gubitke pa samim time i iznos mjesečnih režija.

6. POPIS SIMBOLA

U_w - U-faktor prozora, W/m^2K	A_w - cjelokupna površina prozora, m^2
U_{cog} - U-faktor srednjeg dijela stakla, W/m^2K	A_{cog} - površina srednjeg dijela stakla, m^2
U_f - U-faktor okvira, W/m^2K	A_f - površina okvira, m^2
U_{edge} - U-faktor ruba stakla, W/m^2K	A_{edge} - površina ruba stakla, m^2
U_g - U-faktor stakla, W/m^2K	A_g - površina stakla, m^2
$U_{w, ugrađeni}$ – U-faktor ugrađenog prozora, W/m^2K	
f_{Rsi} - temperaturni faktor na rubu stakla, -	
g – faktor propuštanja Sunčevog zračenja, -	
Ψ_g - toplinski gubici uzrokovani toplinskim mostovima ruba stakla i odvajača, W/mK	
L_g - duljina ruba stakla, m	
Ψ_E - toplinski gubici uzrokovani ugradnjom prozora, W/mK	
L_E - duljina ruba ugrađenog prozora, m	
Q_T - gubitak topline transmisijom, kWh/a	
Q_S - dobitak topline kroz Sunčevu svjetlost, kWh/a	
FS - faktor zasjenjenja, -	
η_g - iskorištenje slobodne topline, -	
$\Theta_{e,mj,min}$ - srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade	

7. LITERATURA

- [1] USAID ECO-III Project Office AADI Building, Hauz Khas, New Delhi, Glazing Design and Selection Guide, nacrt dokumenta: 2007., str. 6-25
- [2] Alex McGowan, Design, Selection and Commissioning of Window Installations
- [3]http://www.arhitekt.unizg.hr/SU/Javni%20dokumenti/ARHIVA%20ODR%C5%BDANIH%20TE%C4%8CAJEVA/2013/ZG_3_Energetska%20sanacija%20zgrada_2013/PREDAVANJA%2020131121/ZG_3_07_Toplinski_mostovi_JBV.pdf (pristup 3.travnja 2016.)
- [4] W. Jehl, F. Feldmeier, G. Strasser, U. Sieberath, Planung und Konstruktion von Fensteranschluss Teil 1, 2002, str.2
- [5] B. Barry, A Tale of Two Rating Systems: NFRC & PHI window testing protocols Apples to apples?, 2011, ažurirano: 2014., str. 3-12, 16
- [6] <http://www.croatia.eu/article.php?lang=1&id=10> (pristup 20. lipnja 2016.)
- [7] <https://www.klimatabelle.info/europa/zuerich> (pristup 20. lipnja 2016.)
- [8]<http://www.hr.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?LANG=hr&CEL=C&SI=kph&MAPS=over&CONT=euro&LAND=SW®ION=0001&WMO=06660&UP=0&R=0&LEVEL=160&NOREGION=1>
- [9]<http://www.hr.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?WMO=14241&CONT=hrhr&LAND=RH&LEVEL=160&PAG=0>
- [10] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine, **128** (25.studenoga 2015.), str. 31-32
- [11] <http://www.minergie.ch/fenster.html>
- [12] ISO 10077-2: 2011 Thermal performance of windows, doors and shutters -- Calculation of thermal transmittance -- Part 2: Numerical method for frames
- [13] HRN EN ISO 10077-1:2002 Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 1. dio: Pojednostavnjena metoda
- [14] HRN EN ISO 10077-2:2004 Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona – Proračun koeficijenta prolaska topline – 2. dio: Numerička metoda za okvire

[15] HRN EN 410:2011 Staklo u graditeljstvu -- Određivanje svjetlosnih i sunčanih značajka ostakljenja

[16] ISO 12567-1 : 2010 Thermal performance of windows and doors

[17] ISO 18292: 2011 Energy performance of fenestration systems for residential buildings -- Calculation procedure

[18] EN 14351-1: 2006 Windows and doors. Product standard, performance characteristics. Windows and external pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics

[19] Tehnički propis za prozore i vrata, Prilog: Tehnička svojstva i drugi zahtjevi za prozore i vrata, te način potvrđivanja sukladnosti Narodne novine, **69** (9.9.2009.), str.5.

8. ŽIVOTOPIS

Ime i prezime: Anja Marković

Rođena: 3.12.1994., Kiseljak, Bosna i Hercegovina

Narodnost: Hrvatica

Obrazovanje: Osnovna škola dr. Franje Tuđmana Knin

Srednja škola Lovre Montija Knin

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu,
preddiplomski studij Kemijskog inženjerstva

Jezici: engleski, pasivno njemački