

Energetski učinkoviti prozori

Jurić, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:854070>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ana Jurić

ENERGETSKI UČINKOVITI PROZORI

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ana Jurić

ENERGETSKI UČINKOVITI PROZORI

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ana Jurić

ENERGY EFFICIENT WINDOWS

FINAL EXAM

Supervisor: izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Ana Jurić (Ime i prezime)	0082066479 (JMBAG)
------------------------------	-----------------------

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Energetski učinkoviti prozori (Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)
Energy efficient windows (Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

 (Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

 (Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum: 27.8.2024.

Mentor: izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Potpis mentora: 

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Ana Jurić, 0082066479

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Energetski učinkoviti prozori

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

27.8.2024.

Potpis:

Jurić



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

Ana Jurić, 05748405786

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

Energetski učinkoviti prozori

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

3.9.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

27.8.2024.

Potpis:

Jurić

SAŽETAK

Razmatrana tema ovog završnog rada je "Energetski učinkoviti prozori". Za postizanje energetski učinkovitih prozora nužno je poznavati njegove prednosti i nedostatke kako bi se odabrao materijal koji će ispunjavati zahtjeve energetske učinkovitosti ne narušavajući vanjski izgled zgrade.

Projektirani i ugrađeni prozori moraju biti funkcionalni i trajni. Najvažniji zahtjev energetske učinkovitosti je toplinska izolacija. Izborom materijala nužno je zimi zadovoljiti zaštitu od nepotrebnog gubitka energije, ali i zaštitu od prekomjernog zagrijavanja ljeti. Prozori se najčešće proizvode od drveta, aluminija i PVC-a, no postoje i njihove kombinacije. Stakla mogu biti dvoslojna, troslojna ili četveroslojna. Stakla se često premazuju raznim premazima, a prostor između stakala ispunjava se plinom. Za kvalitetnu izvedbu prozora bitna je završna ugradnja s materijalima nepropusnima na zrak i vodu kojima se osigurava kontinuirana ovojnica zgrade otporna na atmosferske utjecaje i gubitke energije. Nužno je okovima postići odgovarajuću razinu sigurnosti zaštite od provala. Ovaj rad daje pregled teorije o energetske bilanci prozora, ali i prikaz čestih tehnologija izvođenja okvira, stakala i rubova stakla.

Ključne riječi: energetska učinkovitost; ekološka održivost; izolacija; prozori; udobnost

SUMMARY

The discussed topic of this final paper is "Energy efficient windows". In order to achieve energy-efficient windows, it is necessary to know its advantages and disadvantages in order to choose a material that will meet the requirements of energy efficiency without disturbing the external appearance of the building.

Designed and installed windows must be functional and durable. The most important requirement of energy efficiency is thermal insulation. With the choice of materials, it is necessary to satisfy protection against unnecessary energy loss in winter, but also protection against excessive heating in summer. Windows are most often made of wood, aluminum and PVC, but there are also combinations of them. Glass can be two-layer, three-layer or four-layer. The glasses are often coated with various coatings, and the space between the glasses is filled with gas. For a high-quality performance of windows, the final installation with air- and water-impermeable materials is essential, which ensures a continuous envelope of the building resistant to atmospheric influences and energy losses. It is necessary to achieve the appropriate security level of protection against burglary with locks. This paper provides an overview of the theory of the energy balance of windows, but also a presentation of common technologies for the production of frames, glass and glass edges.

Key words: energy efficiency; ecological sustainability; isolation; windows; comfort

SADRŽAJ	
SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
1. UVOD	5
2. METODE I TEHNIKE RADA	Error! Bookmark not defined.
3. ENERGETSKA UČINKOVITOST ZGRADE	6
3.1. Energetsko certificiranje zgrade	8
3.2. Energetski standard zgrade	10
3.2.1. Zgrade gotovo nulte energije.....	14
4. ULOGA PROZORA U ENERGETSKOJ UČINKOVITOSTI ZGRADE	16
4.1. Zahtjevi za prozore	17
4.1.1. Osvjetljenje prostorija.....	18
4.1.2. Provjetravanje prostorija	18
4.1.3. Toplinska zaštita	20
4.1.4. Zvučna zaštita.....	27
4.1.5. Zaštita od atmosferskih utjecaja	31
4.1.6. Zaštita od osunčanja (insolacije).....	31
4.1.7. Osiguranje građevine	33
4.2. Projektiranje i proizvodnja prozora.....	33
4.3. Ugradnja prozora.....	35
4.3.1 Energetski učinkovita ugradnja prozora	35
5. MATERIJALI PROZORSKIH OKVIRA	38
5.1. Drveni prozorski okviri	39
5.2. Aluminijski prozorski okviri.....	41
5.3. Polimerski prozorski okviri.....	42
5.4. Usporedba.....	44
6. PROZORSKA STAKLA	45
6.1. Vrste stakla.....	45
6.1.1. Čisto staklo	45
6.1.2. Sigurnosno staklo	45
6.1.3. Ukrasno staklo.....	46
6.1.4. Staklo s premazima.....	46
6.2. Termoizolacijsko staklo	47

7. PROZORSKI OKOVI	48
8. ZAKLJUČAK	51
POPIS LITERATURE.....	52
POPIS SLIKA.....	54
POPIS TABLICA.....	55

1. UVOD

Energetski učinkoviti prozori ključan su faktor cjelokupne energetske učinkovitosti zgrade i uštede energije. Zbog svoje konstrukcije, prozori su točke na kojima dolazi do većeg gubitka energije u odnosu na ostatak ovojnice zgrade. Iz tog je razloga izuzetno bitno da se pri projektiranju prozora uzmu u obzir sve prednosti i nedostaci prozorske konstrukcije kao elementa ovojnice zgrade.

Cilj ovog rada je ukazati na važnost izbora pojedinih dijelova prozora pri njegovom projektiranju kako bi se ispunili svi zahtjevi energetske učinkovitosti, a da se ujedno ne narušava vanjski izgled zgrade.

Na početku rada će se govoriti o važnosti postizanja standarda energetske učinkovitosti zgrade te koji sustavi zgrade utječu na određivanje njezinog energetskeg razreda. Kako je već spomenuto da su prozori ključan faktor za postizanje željenog energetskeg standarda, govorit će se o zahtjevima postavljenih pri projektiranju prozora u cilju ostvarivanja njihove energetske učinkovitosti. Također, govorit će se o pravilnom načinu njihove ugradnje u otvore zgrade s ciljem realizacije neprekidne ovojnice zgrade.

2. METODE I TEHNIKE RADA

Za oblikovanje ovog rada korištena je razna stručna literatura poput knjiga, studija, članaka stručnih i znanstvenih časopisa te zakona Republike Hrvatske. Svi izvori podvrgnuti su procjeni njihove relevantnosti i pouzdanosti.

Analizom, usporedbom i kompilacijom prikupljenih podataka dobiven je sveobuhvatni uvid u temu završnog rada. Podaci su spojeni u smisljena poglavlja koja zajedno čine jednu cjelinu i vizualno su upotpunjeni fotografijama i tablicama koje približavaju razumijevanje sadržaja.

3. ENERGETSKA UČINKOVITOST ZGRADE

Proizvodnja i potrošnja energije neki su od indikatora gospodarsko-tehnološkog razvoja i modernizacije, ali isto tako i ključni uzročnici onečišćenja okoliša. Zgradarstvo je višestruka djelatnost koja obuhvaća projektiranje, izvedbu i održavanje zgrada pa je time i znatan potrošač energije. Kao takva djelatnost, sudjeluje otprilike u potrošnji energije s oko 40%. Energetska učinkovitost predstavlja djelotvornu uporabu energije, odnosno niz mjera kako bi se koristila minimalna količina energije za jednaku razinu udobnosti boravka.

Pojednostavljeno, energetska učinkovitost znači uporabiti manju količinu energije (energenata) za obavljanje istog posla – funkcije (grijanje ili hlađenje prostora, rasvjetu, proizvodnju raznih proizvoda, pogon vozila, i dr.). [1]

Treba istaknuti da energetska učinkovitost ne predstavlja štednju, nego najučinkovitiji način njezina korištenja primjenom tehničkih rješenja, ali prije svega, svijesti ljudi.

Osim što proizvodnja energije znatno utječe na okoliš, isto tako se za nju troši određeni novčani iznos. Energija se uvijek proizvodi kako bi zadovoljila potrošnju - potrošnjom utječemo na proizvodnju, a samim time na troškove. Prema tome, možemo zaključiti da nekontroliranom proizvodnjom i potrošnjom energije dolazi do značajnijih troškova pa je razumljivo da planiranim i kontroliranim korištenjem energije pridonosimo zaštiti okoliša i novčanih ušteda.

U cilju povećanja energetske učinkovitosti u Europi, a tako i u Republici Hrvatskoj, prihvaćena je Direktiva 2002/91/EC Europskog parlamenta o energetske svojstvima zgrade. Istom su Direktivom praćeni mnogi pravilnici i tehnički propisi koji se primjenjuju u Republici Hrvatskoj, pri čemu Republika Hrvatska ima zakonsku obavezu provođenja mjera prema Zakonu o energetske učinkovitosti.

Mjere energetske učinkovitosti obuhvaćaju: energetske pregled i energetske certificiranje zgrade za potrebe energetske obnove, izradu projektne dokumentacije za energetske obnovu zgrade kojom se dokazuje ušteda energije, povećanje toplinske zaštite ovojnice zgrade, unapređenje tehničkih sustava zgrade koji uključuju tehničku opremu za grijanje, hlađenje, ventilaciju, klimatizaciju i pripremu potrošne tople vode, sustav rasvjete te sustav automatizacije i upravljanja zgrade ili njezina dijela te uvođenje sustava obnovljivih izvora energije. [2]

Efikasna energetske učinkovitost stambene ili nestambene zgrade pogoduje većoj udobnosti boravka, smanjenju pojavljivanja zdravstvenih problema, većoj produktivnosti i kvaliteti rada.

3.1. Energetsko certificiranje zgrade

Kako bi se provjerilo stanje zgrade, odnosno njezina potrošnja energija i utvrdili načini smanjenja iste, provode se razna ispitivanja koja utvrđuju njeno energetsko stanje i rezultiraju izdavanjem energetskog certifikata.

Energetski certifikat dokument je koji potvrđuje stanje zgrade, odnosno njezina energetska svojstva. Izrađuju ga osobe za koje imaju ovlaštenje Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine prema Pravilniku o uvjetima i mjerilima za osobe koje provode energetske preglede građevina i energetsko certificiranje zgrada.

Izdaje se na temelju energetskog pregleda koji treba biti proveden sukladno Pravilniku o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju.

Energetski pregled zgrade uključuje sve pripremne radnje, prikupljanje svih potrebnih podataka o zgradi koji su nužni za provođenje postupka energetskog certificiranja i određivanja energetskog razreda, analizu potrošnje i troškova svih oblika energije, prijedlog mjera za poboljšanje energetskih svojstava zgrade te izvješće i zaključak s preporukama za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrade. [3]

Analize energetskog pregleda odnose se na sustave:

- grijanja i hlađenja,
- ventilacije i klimatizacije,
- pripreme potrošne tople vode,
- električne energije i rasvjete,
- opskrbe vodom. [3]

Obavljanjem energetskog pregleda zgrade ukazuje se na ključne podatke prema kojima se stambene i nestambene zgrade svrstava u osam energetskih razreda od A+ do G. U spomenutoj ljestvici, A+ označava energetski najpovoljniji, a G energetski najnepovoljniji razred. [3]

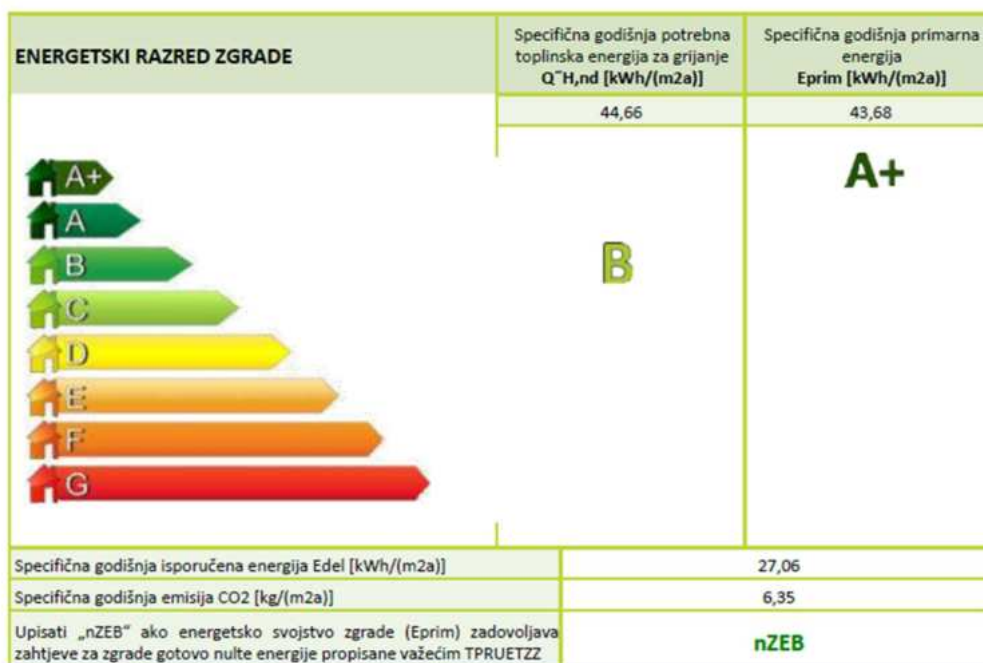
Energetski bolji razred predstavlja manju potrošnju energenata za grijanje, odnosno godišnju potrebnu energiju za grijanje. Više o godišnjoj potrebnoj energiji govorit će se dalje u tekstu.

Važno je istaknuti da energetski certifikat izrađen jednom za cijelu zgradu vrijedi deset godina od datuma izdavanja te vrijedi za svaki stan pojedinačno, čime su troškovi zakonske obaveze bitno umanjeni.

Tablica 1. i Slika 2. prikazuju primjer podataka temeljem kojih je određen energetska razred stambeno poslovne zgrade nakon svih potrebnih proračuna. Rezultati proračuna su objavljeni u rekapitulaciji u Tablici 1., a na Slici 2. je dodijeljen energetska razred određen prema rezultatima sa Tablice 1.

Tablica 1.: Primjer rekapitulacije proračuna potrebne energije zgrade (Izvor: [4])

Rekapitulacija ZONE: OSNOVNA ZONA - Toplinska zona zgrade s najvećom Ak	
Potrebna spec. topl. za grijanje, Q^*H_{nd} (kWh/m ² a)	44,66
Dozv. spec. topl. za grijanje, $Q^*H_{nd,dop}$ (kWh/m ² a)	63,34
Potrebna spec. en. za hlađenje, Q^*C_{nd} (kWh/m ² a)	20,15
Dozv. spec. en. za hlađenje, $Q^*C_{nd,dop}$ (kWh/m ² a)	50,00
Edel (kWh)	26.688
Eprim (kWh)	43.075
Eprim/Ak (kWh/m ² a)	43,68
Eprim/Ak, dopušteno (kWh/m ² a)	80,00
CO ₂ emisije (kg/a)	6.267
Eren (kWh)	41.114
Eren1 (kWh)	0
UOIE (%)	60,64
UOIE, minimalno (%)	30
UCSG (%)	0,00
UCSG, minimalno (%)	60



Slika 1.: Primjer energetska razreda stambeno poslovne zgrade (Izvor: [4])

3.2. Energetski standard zgrade

Energetski učinkovite zgrade dijele se prema godišnjoj potrebnoj toplini za grijanje:

- niskoenergetske zgrade $\leq 40 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$,
- pasivne zgrade $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$,
- zgrade nulte energije $\approx 0 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$.

Ukratko, niskoenergetski standard se može postići kvalitetnom stolarijom i vanjskom izolacijom zgrade. Kod pasivnih je kuća bitno da se minimalizira gubitak energije i maksimalizira dobitak energije sunčevom energijom. Zgrade nulte energije su modernija verzija pasivne kuće. One svoju potrebu za energijom, osim sunčevom energijom, osiguravaju upotrebom novih tehnologija poput solarnih panela, geotermalnih pumpi ili dizalica topline.

Zakonom o gradnji propisano je da sve zgrade, odnosno zgrade građene nakon 2020., moraju biti zgrade gotovo nulte energije kojima se dodjeljuje oznaka nZEB (eng. *Nearly Zero – Energy Buildings – nZEB*).

Dakako, ne postoji univerzalni način za postizanje standarda zgrade gotovo nulte energije, nego je nužno sveobuhvatno znanje i pristup svih struka koje sudjeluju u projektiranju i izvođenju zgrade te definirati idealno učinkovito rješenje.

U cilju postizanja što manjih potreba energije zgrade, sagledan je niz područja moguće uštede energije, a tako i smanjenje troškova. Mjere energetske učinkovitosti u zgradarstvu:

- povećanje toplinske zaštite zgrade toplinskom izolacijom i energetski učinkovitim stolarijom,
- povećanje učinkovitosti sustava grijanja, hlađenja i ventilacije,
- povećanje učinkovitosti sustava rasvjete i električnih uređaja,
- korištenje obnovljivih izvora energije. [5]

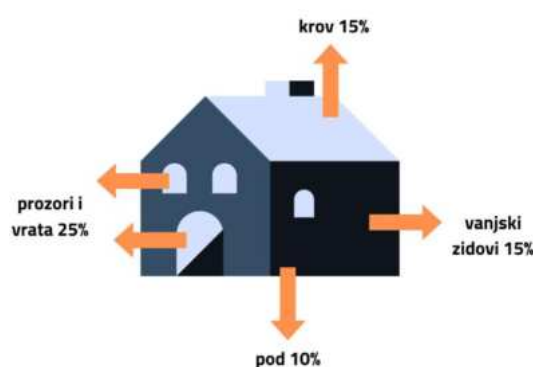
Osim što koristi obnovljive izvore energije, radi čega se direktno smanjuju troškovi potrošnje energije, nZEB ima mnoge prednosti što krajnje rezultira kvalitetnijim i ugodnijim životom.

Prednosti nZEB u odnosu na druge zgrade:

- sadrži vrlo učinkovite sustave za grijanje i hlađenje,
- koristi energetske učinkovite potrošače električne energije (uređaje i rasvjetu),
- samostalno proizvodi minimalno 30% potrebne energije što dovodi do smanjenja troškova.

Zgrada je zbog svoje konstrukcije podložna gubicima energije. Kako bi se kontrolirao gubitak topline, nužno je poznavanje zgrade kao cjeline sastavljene od poda, stropa, zidova i otvora. Tijekom zime se najviše toplinske energije gubi kroz vanjske zidove te je zbog toga neophodno pravilno postaviti toplinsku izolaciju na svim vanjskim zidovima zgrade. Najpoželjnija je kamena vuna, koja ujedno štiti i od buke.

Na Slici 2. vidljiv je pojednostavljeni prikaz približnih postotaka gubitka topline tijekom zime kroz pojedine elemente zgrade. Važno je napomenuti kako prikazani postoci ovise o raznim faktorima kao što su geometrijska veličina i debljina pojedinih elemenata, ali i njihova orijentacija prema suncu.



Slika 2.: Grafički prikaz okvirnih gubitaka toplinske energije (Izvor: [6])

Raznim preporučenim mjerama, koje se dobiju nakon energetske pregleda, mogu se poboljšati energetska svojstva zgrade i time utjecati na udobnost i kvalitetu životnog prostora uz manje troškove i istovremenim povećanjem vrijednosti nekretnine.

Osim preporučenih mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrade, iz energetske certifikata možemo iščitati podatke o energetske potrebama zgrade, točnije potrebnoj i primarnoj energiji (Tablica 1.). Što su vrijednosti potrebne i primarne energije niže, to je energetske razred zgrade viši, odnosno energetske učinkovitost je bolja.

Potrebna energija za grijanje ona je energija koju je potrebno osigurati kako bi se u prostoru održala željena temperatura. Potrebnu energiju označavamo s $Q_{H,nd}$, a izražavamo u kWh/god. Specifičnu potrebnu energiju označavamo s $Q''_{H,nd}$, a izražavamo u kWh/m²·a.

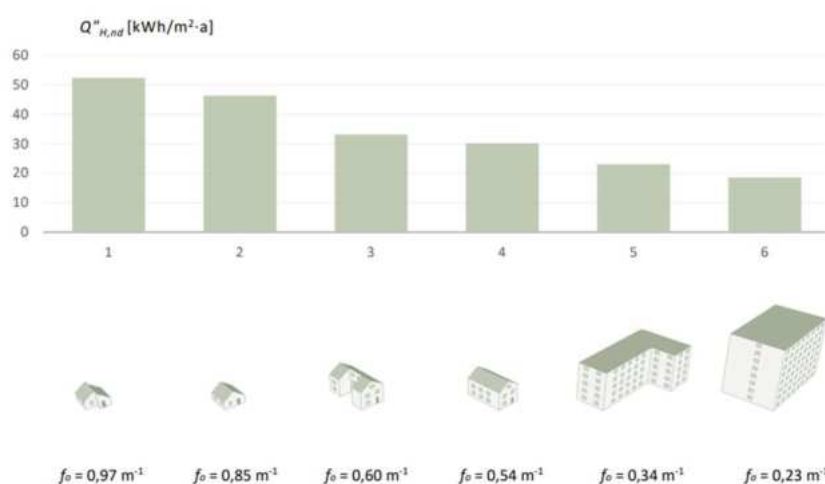
Ovisi o:

- namjeni zgrade,
- načinu provjetravanja,

- klimatskim uvjetima lokacije te
- arhitektonsko-građevinskim karakteristikama zgrade.

Ovisnost potrebne energije za grijanje o arhitektonsko-građevinskim karakteristikama zgrade promatramo na sljedeći način:

- utjecaj kvalitete ovojnice zgrade
 - debljom toplinskom izolacijom smanjuje se potrebna energija za grijanje
- kompaktnost zgrade (faktor oblika f_o)
 - manjim faktorom oblika smanjuje se potrebna energija za grijanje



Slika 3.: Faktori oblika f_o prema veličini i razvedenosti zgrade (Izvor: [7])

- orijentacija otvora od sunca
 - doprinosi iskorištavanju solarne energije i manjoj potrebnoj energiji
- zaštita od sunca

Primarna energija jednaka je umnošku faktora primarne energije i isporučene količine energenata, točnije količine energije koju je potrebno isporučiti zgradi za rad tehničkih sustava grijanja, hlađenja, ventilacije, pripreme potrošne tople vode. Energenti kao izvori energije mogu biti plin, električna energija, loživo ulje ili drvo. Kako bismo izračunali ukupnu primarnu energiju različitih spomenutih energenata, potrebno je faktorom primarne energije korigirati njihove razlike.

Primarnu energiju označavamo s E_{prim} .

Energetski razred zgrade određuje se analizom toplinskih parametara zgrade potrebne i primarne energije. U Tablici 2. grafički su vidljivi energetski razredi zgrade s podatkom o specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji. Energetski razredi zgrade prema

primarnoj energiji ovise o namjeni i lokaciji zgrade, odnosno nalazi li se zgrada u kontinentalnom ili priobalnom području i određeni su u Pravilniku o energetske pregledu zgrade i energetske certificiranju (Tablica 3.).

Tablica 2.: Energetski razredi zgrade prema specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje (Izvor: [3])

ENERGETSKI RAZRED ZGRADE	Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q''_{H,nd}$, [kWh/m ² ·a]
A+	≤15
A	≤25
B	≤50
C	≤100
D	≤150
E	≤200
F	≤250
G	>250

Tablica 3.: Energetski razredi zgrade prema primarnoj energiji (Izvor: [3])

E_{prim} (kWh/m ² ·a)	STAMBENA		OBITELJSKA		UREDSKA		OBRAZOVNA		BOLNICA		HOTEL I RESTORAN		SPORTSKA DVORANA		TRGOVINA		OSTALE NESTAMBENE	
	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P
A+	≤80	≤50	≤45	≤35	≤35	≤25	≤55	≤55	≤250	≤250	≤90	≤70	≤210	≤150	≤170	≤150	≤80	≤50
A	>80	>50	>45	>35	>35	>25	>55	>55	>250	>250	>90	>70	>210	>150	>170	>150	>80	>50
	≤100	≤75	≤80	≤55	≤55	≤50	≤60	≤58	≤275	≤275	≤110	≤75	≤305	≤160	≤310	≤210	≤115	≤75
B	>100	>75	>80	>55	>55	>50	>60	>58	>275	>275	>110	>75	>305	>160	>310	>210	>115	>75
	≤120	≤90	≤115	≤70	≤70	≤70	≤65	≤60	≤300	≤300	≤130	≤80	≤400	≤170	≤450	≤280	≤150	≤100
C	>120	>90	>115	>70	>70	>70	>65	>60	>300	>300	>130	>80	>400	>170	>450	>280	>150	>100
	≤265	≤220	≤280	≤230	≤100	≤90	≤125	≤120	≤345	≤325	≤160	≤95	≤465	≤225	≤475	≤290	≤280	≤225
D	>265	>220	>280	>230	>100	>90	>125	>120	>345	>325	>160	>95	>465	>225	>475	>290	>280	>225
	≤410	≤350	≤445	≤385	≤125	≤110	≤175	≤175	≤395	≤350	≤190	≤110	≤530	≤280	≤495	≤340	≤410	≤350
E	>410	>350	>445	>385	>125	>110	>175	>175	>395	>350	>190	>110	>530	>280	>495	>340	>410	>350
	≤515	≤435	≤560	≤485	≤155	≤140	≤220	≤220	≤495	≤440	≤240	≤140	≤665	≤350	≤620	≤425	≤515	≤435
F	>515	>435	>560	>485	>155	>140	>220	>220	>495	>440	>240	>140	>665	>350	>620	>425	>515	>435
	≤615	≤520	≤670	≤580	≤190	≤165	≤265	≤265	≤590	≤525	≤290	≤165	≤795	≤415	≤745	≤510	≤615	≤520
G	>615	>520	>670	>580	>190	>165	>265	>265	>590	>525	>290	>165	>795	>415	>745	>510	>615	>520

K- kontinentalna Hrvatska;
P- primorska Hrvatska

3.2.1. Zgrade gotovo nulte energije

Zgrada gotovo nulte energije jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ta gotovo nulta, odnosno vrlo niska količina energije, trebala bi se u vrlo značajnoj mjeri pokrivati energijom iz obnovljivih izvora, uključujući energiju iz obnovljivih izvora koja se proizvodi na zgradi ili u njezinoj blizini. [8]

Zgrade gotovo nulte energije usmjerene su prema korištenju obnovljivih izvora energije i provođenju određenih mjera za poboljšanje učinkovitosti. Prema Tehničkom propisu, zahtjevi za nZEB referiraju se još na potrebnu energiju $Q''_{H,nd}$ i primarnu energiju E_{prim} .

Stambena zgrada i nestambena zgrada gotovo nulte energije, jest zgrada kod koje:

- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine zgrade, $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²·a)], nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih u Tablici 2.;
- godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine zgrade E_{prim} [kWh/(m²·a)], nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih u Tablici 3. [8]

Tablica 4.: Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili višu. (Izvor:[9])

ZAHTEVI ZA NOVE ZGRADE i nZEB / GOEZ	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]			
	NOVA ZGRADA i nZEB / GOEZ						NOVA		nZEB / GOEZ	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont	prim	kont	prim
VRSTA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$\theta_{mm} \leq 3$ °C	$\theta_{mm} > 3$ °C	$\theta_{mm} \leq 3$ °C	$\theta_{mm} > 3$ °C
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	115	70	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	400	170	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	450	280	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	150	100	/	/

Zgrade gotovo nulte energije ispunjavaju zahtjeve u pogledu primjene obnovljivih izvora energije ako je najmanje 30% godišnje isporučene energije podmireno iz obnovljivih izvora energije. [8]

Gotovo nula energetske zgrade u pogledu energetskog razreda prema primarnoj energiji moraju zadovoljiti energetski razred A+ za stvarne klimatske podatke. [10]

Pet ključnih faktora za nZEB:

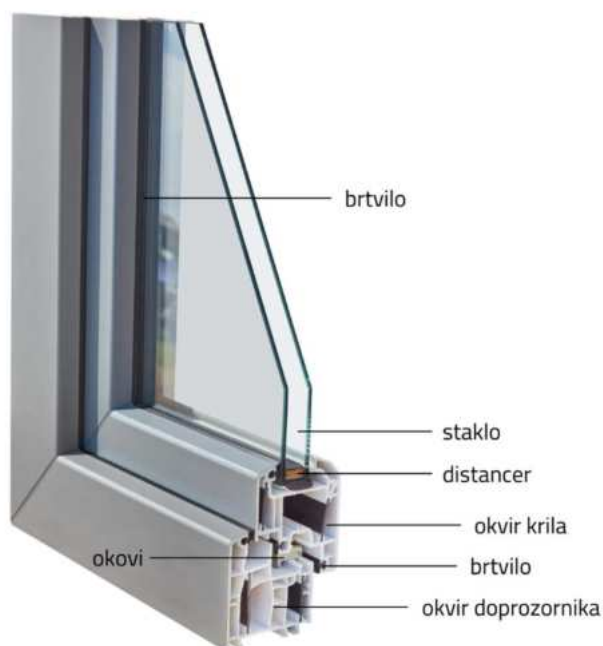
- optimalna razina toplinske izolacije ovojnice zgrade,
- *toplinski izolirani prozorski okviri s optimalnim staklom,*
- *prekinuti toplinski mostovi,*
- *zrakonepropusnost ovojnice,*
- ventilacija s povratom topline. [11]

4. ULOGA PROZORA U ENERGETSKOJ UČINKOVITOSTI ZGRADE

Ključni faktori za zgrade gotovo nulte energije poznati su iz prošlog poglavlja. Može se primijetiti da prozori direktno utječu na tri faktora što upućuje da su važan dio oblikovanja objekta i definiranja njezinog energetskeg, ekonomskog, ali i estetskog karaktera.

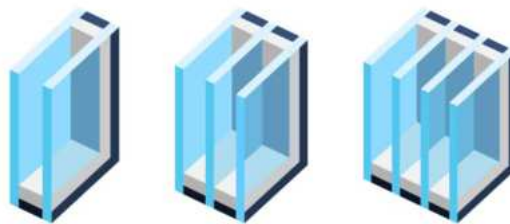
Prozor je ostakljena konstrukcija ugrađena u otvor, s pokretnim ili nepokretnim krilima za osvjetljenje i provjetravanje prostora. Kao takva konstrukcija, prozor pruža najmanji otpor u prijenosu topline u ovojnici zgrade, stoga je izuzetno važno težiti ispunjavanju svih tehničkih zahtjeva prozora u cilju očuvanja topline i energetske učinkovitosti zgrade.

Na energetske učinkovitost prozora jasno je da utječu same karakteristike njegovih dijelova: okvira (krila i doprozornika), stakla i distancera, brtvila, okova, kutija za rolete te ostalih elemenata za zaštitu od sunca. (Slika 4.)



Slika 4.: Prikaz dijelova profila prozora (Izvor: autor)

Staklo je zbog svoje veličine najdominantnija komponenta cijelog prozora i zato ima najveći utjecaj na otpornost cijelog prozora. Prozorska stakla su najčešće sastavljena od dvije ili više međusobno paralelnih staklenih ploča (okna) međusobno odvojenih distancerima. Prostor između ploča ispunjava se zrakom ili drugim plinovima.



Slika 5.: Grafički prikaz dvoslojnog, troslojnog i četveroslojnog stakla (Izvor: autor)

Ukupnoj energetskej učinkovitosti također pridonosi orijentacija prozora. Južna se orijentacija poklapa s potrebom za grijanjem zgrade, dok su toplinski dobici zapadnom i jugozapadnom orijentacijom kroz cijelu godinu jednaki, jedino orijentacija na zapad ljeti uzrokuje veće probleme zbog pregrijavanja stambenih prostora. [12]

Koliki će učinak na energetske učinkovitost stolarija ustvari imati, ovisi o samim njezinim elementima. Kvaliteta ugrađenog prozora i njegova uloga u energetskej učinkovitosti zgrade, uvjetovana je međusobno povezanim procesima: projektiranjem, proizvodnjom i konačnom ugradnjom.

Profesionalan pristup svim procesima rezultira energetske učinkovitim prozorom i očuvanjem energije. Takav je pristup nerijetko praćen većim novčanim iznosima, ali dovodi do ekološki održivog objekta pa je poticaj za ulaganje u kvalitetno ugrađene niskoenergetske prozore posve razuman.

Do gubitaka energije dolazi zbog nesavršenosti sustava, u ovom slučaju zgrade. Na Slici 2. bilo je vidljivo da se kroz otvore zgrade gubi oko 25% energije. Iz tog se daje zaključiti kako na poboljšanje energetske učinkovitosti zgrade primjetno utječe odabir kvalitetne stolarije te da je investicija u prozore i vrata smisljeno, ekonomski isplativo i ekološki održivo rješenje.

4.1. Zahtjevi za prozore

Funkcije prozora su:

- osvjetljenje prostorija,
- provjetravanje prostorija,
- toplinska zaštita,
- zvučna zaštita,
- zaštita od atmosferskih utjecaja,
- zaštita od osunčanja (insolacije) i
- osiguranje građevine. [11]

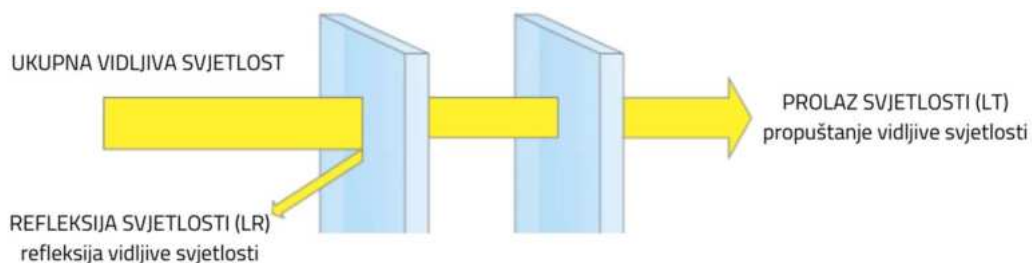
Svaka funkcija, a ujedno i zahtjev, uvjetovana je pojedinim komponentama prozora. Definiranjem komponenata utječe se na razna tehnička svojstva kojima se postižu vrijednosti za niskoenergetske prozore. Prema Tehničkom propisu za prozore i vrata, svojstva prozora moraju biti takva da prozori podnesu sve vanjske utjecaje u projektiranom roku trajanja građevine. Ukoliko je rok trajanja građevine duži od roka trajanja stolarije, potrebno je ugrađenu stolariju zamijeniti novom ne narušavajući energetske učinkovitost zgrade.

Osim Tehničkog propisa za prozore i vrata, zahtjevi za prozore istodobno se promatraju kroz Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama.

4.1.1. Osvjetljenje prostorija

Dobro osvijetljena prostorija glavni je faktor u ostvarivanju udobnosti radnog ili stambenog okruženja. Prozor omogućava prirodnu osvijetljenost, a količina dobivene svjetlosti i sunčeve energije ovisi o veličini i zatamnjenosti stakla.

Svakoj prostoriji, ovisno o svojoj namjeni, propisani su zahtjevi rasvjetljenosti koji se mogu minimalizirati maksimalnim iskorištavanjem dnevnog svjetla. Takav pristup dovodi do manjeg korištenja električne energije za rasvjetu, a time i manjih troškova.



Slika 6.: Prikaz prolaska (transmisije) i odbijanje (refleksije) svjetlosti. (Izvor: [13])

Osim u dekorativne svrhe, bojanjem stakla u svakojake boje može se utjecati na koeficijente prolaska (LT) i odbijanja (LR) svjetlosti. Detaljnije o staklu, njegovim vrstama i svojstvima pisat će se kasnije.

4.1.2. Provjetravanje prostorija

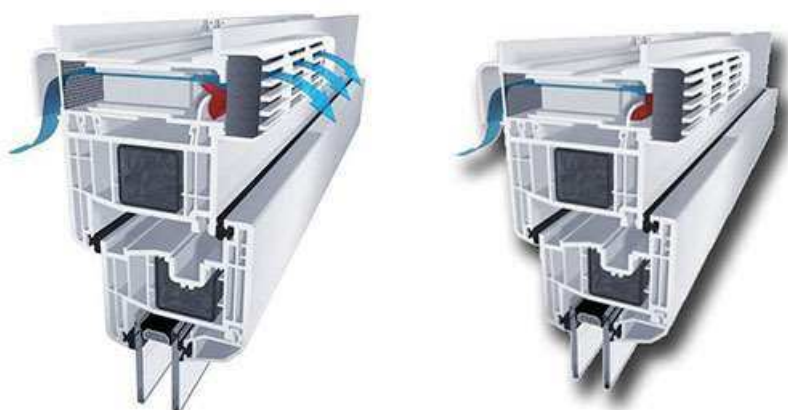
Ako se provjetravanje promatra kao prolazak zraka kroz šupljine profila zatvorenog prozora (Slika 7.), govori se o nepovoljnoj pojavi zbog čega se postavljaju brtve kako bi se prolazak zraka kroz šupljine sveo na minimum.

Šupljine se nalaze na spojevima okvira krila i doprozornika te na spoju stakla s okvirom krila. Brtve su dovoljno fleksibilne kako bi se učinkovito zatvorile pukotine, ali i dostatno elastične kako ne bi došlo do kompresije ako je prozor duže vremena zatvoren.

Provjetravanje se također može promatrati kao cirkulacija zraka kroz prozor. Prema smjericama za zdrave unutarnje klimatske uvjete, preporuča se vlažnost zraka zatvorenog prostora 35-60% na temperaturi zraka 20 do 22°C. Kako bi se u prostorijama osigurala ujednačenost vlažnosti i temperature za ugodniji boravak, potrebna je kontinuirana cirkulacija zraka. Cirkulacija zraka može se postići otvaranjem prozora ili korištenjem posebnih profila s ugrađenim dijelom za provjetravanje (Slika 8.) koji omogućuju izmjenu zraka bez gubitka toplinske energije.



Slika 7.: Provjetravanje kroz šupljine profila zatvorenog prozora (Izvor: [14])



Slika 8.: Samoregulirajući sustavi za provjetravanje prostora zrakom u otvorenom (lijevo) i zatvorenom (desno) položaju. (Izvor: [15])

4.1.3. Toplinska zaštita

Prozor je element koji razdvaja dva prostora različite temperature pri čemu on postaje granica dobitaka i/ili gubitaka topline, odnosno sredstvo prijenosa energije. Izmjena topline se odvija iz područja više temperature u područje niže temperature i ona se ne može potpuno prekinuti, nego samo usporiti. Analiziranjem je utvrđeno da se 1/3 gubitka topline događa kroz otvore prozora što naglašava da su prozori najslabija točka u ovojnici zgrade i da je ispitivanje toplinskih karakteristika neophodno.

Ako se promatra zimski period, kada je vanjska temperatura bitno niža od temperature u zatvorenom prostoru, toplinska zaštita predstavlja zaštitu od gubitka topline. U ljetnom periodu je vanjska temperatura viša od unutarnje te je tada važno osigurati zaštitu od prekomjernog dobitka topline i time smanjiti potrebu za rashlađivanjem. Dakle, toplinski izolirati objekt znači osigurati uštedu energije za grijanje i hlađenje, udobnost boravka te zaštitu od mogućih oštećenja.

Toplinska svojstva prozora i prijenos topline kroz njega uobičajeno je promatrati u tri područja: okvir prozora, rubna zona stakla i središnja ostakljena zona. (Slika 9.)



Slika 9.: Grafički prikaz okvira prozora, rubne zone stakla i središnje ostakljene zone.
(Izvor: [16])

4.1.3.1. Gubitak topline

Gubitak topline promatra se kao ukupni prijenos topline:

- radijacijom (zračenjem) - prijenos zračenjem elektromagnetskim valovima,
- kondukcijom (vođenjem) - prijenos dodiranjem dvaju tijela,
- konvekcijom (strujanjem) - prijenos strujanjem plinova ili tekućine.



Slika 10.: Gubitak topline radijacijom, kondukcijom i konvekcijom. (Izvor: [14])

Količina energije koja se gubi kroz prozor zbog temperaturne razlike [K] vanjskog i unutarnjeg prostora označava se koeficijentom prijelaza topline U [$W/m^2 \cdot K$]. Interpretira se kao gubitak topline kroz prozor po kvadratnom metru površine.

U – vrijednost prozora (dalje u tekstu: U_w) predstavlja opis energetske izvedbe cijelog prozora. Kao ukupni koeficijent prijelaza topline uključuje koeficijente prijelaza topline sva tri područja prozora (okvira prozora, ruba stakla i središnjeg dijela ostakljenja). Pretpostavlja se da je U – vrijednost konstantna za svako područje.

Pojednostavljeno za sada, koeficijent prijelaza topline prozora U_w jednak je:

$$U_w = \frac{U_{okvir} \cdot A_{okvir} + U_{rubna\ zona\ st.} \cdot A_{rubna\ zona\ st.} + U_{sred.\ zona\ st.} \cdot A_{sred.\ zona\ st.}}{A_{ukupno}}$$

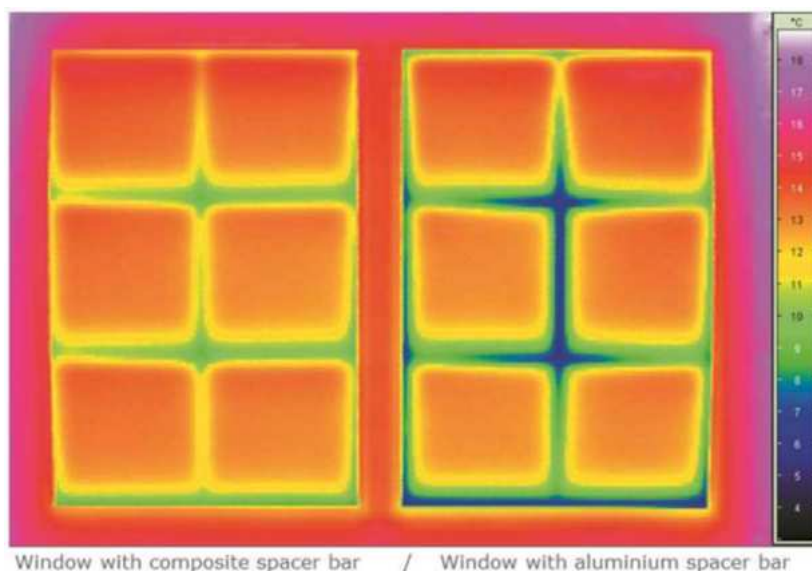
gdje je A površina promatranog područja. [17]

Razlog zašto će se U – vrijednosti ruba stakla i središnjeg dijela stakla za sada promatrati odvojeno jest njihova temperaturna razlika uzrokovana distancerima, odnosno njihovim materijalom. Primjerice, aluminijski distanceri imaju dobru toplinsku provodljivost što dovodi do zagrijavanja rubova stakla i većih gubitaka topline. S druge strane, u hladnijim dijelovima godine može dovesti do stvaranja kondenzacije. Zbog svega navedenog, rubovi stakla su točke većeg prijenosa topline u odnosu na ostatak staklene površine te se takva mjesta nazivaju toplinskim mostovima. (Slika 11.)

Kako bi se poboljšala energetska učinkovitost prozora, to jest smanjenje gubitaka topline na rubovima stakla, koriste se kompozitni materijali kao što su spoj plastike, stakla ili

nehrđajućeg čelika. Takvi materijali imaju znatno manju toplinsku vodljivost što rezultira i manjim toplinskim gubicima.

Toplinski mostovi nisu vidljivi golim okom pa je utvrđivanje njihovog položaja otežano što predstavlja velike probleme.



Slika 11.: Toplinski mostovi prozora s kompozitnim distancerima (lijevo) i aluminijskim distancerima (desno) (Izvor:[18])

Kako bi se što preciznije utvrdio utjecaj materijala distancera, dodjeljuje se linearni koeficijent prijelaza topline Ψ_g [W/m·K] koji uzima u obzir gubitke topline toplinskih mostova odnosno gubitke između rubnog dijela stakla i okvira krila. Manji linearni koeficijent predstavlja manji toplinski gubitak, a primjeri njegove veličine ovisno o materijalu prikazani su u Tablici 5.

Tablica 5.: Vrijednosti koeficijenta Ψ_g ovisno o materijalu na primjeru PVC prozora s dvoslojnim staklom ispunjenim argonom. (Izvor: [19])

MATERIJAL DISTANCERA	Ψ_g [W/m·K]
ALUMINIJ	0,065
NEHRĐAJUĆI ČELIK	0,051
PLASTIKA SA STAKLENIM VLAKNIMA	0,040

Ukupni toplinski koeficijent prozora U_w određuje se prema koeficijentima danih od strane proizvođača okvira, stakla i distancera korištenih pri proizvodnji prozora pa će se u sljedećem izrazu (i dalje u tekstu) parametri elemenata prozora označavati sukladno kao i na svome tržištu.

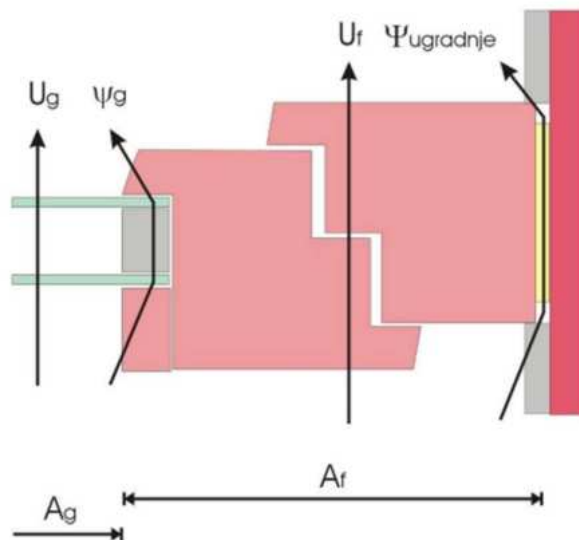
Promatrajući prošli izraz:

- $U_{okvir} \cdot A_{okvir}$ će se označavati s $U_f \cdot A_f$,
- utjecaj materijala distancera će se prikazati linearnim koeficijentom prijelaza topline Ψ_g na svojoj duljini ruba l_g .
- $U_{sred. zona st.} \cdot A_{sred. zona st.}$ će se označavati kao koeficijent prijelaza topline stakla U_g .

Sada je U_w jednak:

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot l_g + U_g \cdot A_g}{A_{ukupno}}$$

Iz izraza za U_w može se zaključiti da što je vrijednost Ψ_g manja, to je niži toplinski gubitak.



Slika 12.: Prikaz gubitka topline preko prozora gdje su: U_g – koeficijent prijelaza topline stakla, Ψ_g – linearni koeficijent prijelaza topline stakla, U_f – koeficijent prijelaza topline okvira, $\Psi_{ugradnje}$ – linearni koeficijent prijelaza topline šupljinama između okvira prozora i špaleta, A_g – površina stakla, A_f – površina prozorskog okvira. (Izvor:[11])

Koeficijent prijelaza topline stakla U_g može se izraziti kao:

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{prostor}} + \frac{1}{h_e}$$

gdje su:

h_i – unutarnji koeficijent prolaska topline,

$h_{prostor}$ – unutarnji koeficijent prolaska topline kroz prostor između staklenih ploča,

h_e – vanjski koeficijent prolaska topline.

Kako bi se postigla što bolja U – vrijednosti stakla koriste se višestruka stakla čime se zrak između staklenih ploča zadržava i usporava prijenos topline. Prijenos topline jednostrukog stakla s $5,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ se korištenjem dvostrukog stakla smanji na $2,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, a korištenjem trostrukog na $1,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Koeficijent prijelaza topline okvira U_f predstavlja vrijednost koeficijenta prozora bez staklenog dijela. Povećanjem broja staklenih ploča i njihovog razmaka povećava se i dostatna širina okvira za zahvat prozorskog stakla. Veća debljina okvira znači manji prijenos topline koji uz to ovisi o konfiguracijama profila, materijalu i njihovoj kombinaciji.

U Tablici 6. prikazane su reprezentativne vrijednosti koeficijenata prijelaza topline okvira ovisno o materijalu okvira i slojevitosti stakla za lakše razumijevanje. Detaljnije o materijalima okvira tumačit će se u nastavku rada.

Tablica 6.: Reprezentativne U – vrijednosti fiksiranih vertikalnih prozora (Izvor: [20])

MATERIJAL	U_f [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$].
ALUMINIJ	
jednostruko staklo	7,24
dvostruko staklo	4,93
trostruko staklo	4,11
DRVO ILI VINIL	
jednostruko staklo	5,05
dvostruko staklo	3,13
trostruko staklo	2,45

Zaključno, cilj je postići što nižu U_w – vrijednost prozora, odnosno što manji gubitak topline jer osim što je kontrola prijenosa topline važna u energetskej smislu, predstavlja veliki značaj u postizanju udobnosti prostora. Gubitak topline se može reducirati raznim načinima gledajući procese prijenosa topline: radijaciju, konvekciju i kondukciju.

Prijenos topline radijacijom značajno se može smanjiti niskoemisivnim premazima (dalje u tekstu: Low-E premazi) staklenih površina s jedne ili obje strane stakla. LOW-e premazi predstavljaju vrlo tanki i nevidljivi sloj metala koji propušta samo sunčeve zrake, dok istovremeno odbija zračenje infracrvenih zraka.

Smanjenje prijenosa topline kondukcijom i konvekcijom može se postići povećanjem prostora između paralelnih staklenih ploča i popunjavanjem praznog prostora plinom koji ima nisku toplinsku vodljivost kao što su argon ili kripton.

Studije su pokazale da u staklima s razmakom manjim do 13 mm nema prijenosa topline plinovima, odnosno nema konvekcije. Ukoliko se razmak povećava, pojavljuju se konveksijske struje. Smanjenje prijenosa topline većim razmakom je poništeno dobitkom topline novonastalom konvekcijom i stoga se preporučuje koristiti zračni prostor dvostrukog stakla do 13 mm. Ukoliko se koristi zračni prostor veći od 13 mm, preporučuje se tanka folija koja potiskuje konveksijske struje i pruža izolaciju bez povećanja težine i cijene prozora.

Prema EN 673, koeficijent prijenosa u dvostrukom staklu se korištenjem argona smanji s $1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ na $1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, a korištenjem kriptonu na $1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Iako je kripton energetskej učinkovitiji, najčešće se koristi argon zbog niže cijene i jednostavne upotrebe.

Treba se uzeti u obzir kako navedeni postupci, osim što smanjuju prijenos topline, istovremeno povećaju cijenu prozora. Zato je potrebno pronaći najučinkovitije i najisplativije rješenje koje će ispunjavati sve tehničke zahtjeve prozora.

U Tablici 7. vidljive su najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline u cilju postizanja nZEB standarda zgrade određene propisom.

Tablica 7.: Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [$W/(m^2 \cdot K)$], građevnih dijelova novih zgrada i nakon zahvata na postojećim zgradama (Izvor: [8])

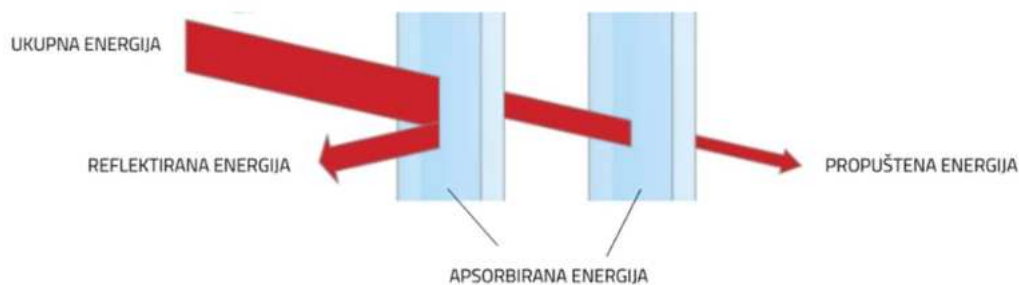
Građevni dio	U [$W/(m^2 \cdot K)$]			
	$\Theta_i \geq 18^\circ C$		$12^\circ C < \Theta_i < 18^\circ C$	
	$\Theta_{e,mj,min} > 3^\circ C$	$\Theta_{e,mj,min} \leq 3^\circ C$	$\Theta_{e,mj,min} > 3^\circ C$	$\Theta_{e,mj,min} \leq 3^\circ C$
Prozori, balkonska vrata, krovni prozori, prozirni elementi pročelja	1,80	1,80	3,00	3,00
Stijenka kutije za rolete	0,80	0,80	0,80	0,80

Napomena: $\Theta_{e,mj,min}$ je srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade.

4.1.3.2. Dobitak topline

Toplinsku zaštitu, osim kada je u pitanju gubitak energije topline, može se promatrati i kao zaštitu od nepotrebnog dobitka topline.

Dio energije koja dolazi je reflektirana (odbijen), a dio propuštena do unutrašnjosti objekta. Preostali dio energije koji nije reflektiran niti propušten, apsorbiran je i povećava temperaturu stakla koja se u konačnici emitira unutra i/ili vani. (Slika 13.)



Slika 13.: Prikaz reflektirane, apsorbirane i propuštene energije. (Izvor: [13])

Ukupnim toplinskim dobitkom se smatra zbir propuštene i apsorbirane (emitirane) energije i definira koeficijent dobitka solarne topline (solarni faktor) kojeg se označava s oznakom SF ili G – vrijednost.

Potpuno neprozirno tijelo ima solarni faktor jednak 0, a potpuno prozirno jednak 1.

Na veličinu G – vrijednosti utječe isključivo tip ostakljenja koji se razlikuje slojevitošću, premazima i sličnim obilježjima. (Tablica 8.)

Tablica 8.: Računske vrijednosti stupnja propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje za slučaj okomitog upada sunčeva zračenja (Izvor: [8])

TIP OSTAKLJENJA	G – vrijednost
jednostruko staklo (bezbojno, ravno float staklo)	0,87
dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka)	0,80
trostruko izolirajuće staklo (s dva međusloja zraka)	0,70
dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (Loe-E obloge)	0,60
trostruko izolirajuće staklo s dva stakla niske emisije (dvije Low-E obloge)	0,50
dvostruko izolirajuće staklo sa staklom za zaštitu od sunčeva zračenja	0,50

4.1.4. Zvučna zaštita

Čovjek biološki nije strukturiran za stalnu izloženost buci te svakodnevna prekomjerna izloženost može izazvati ozbiljne mentalne i fizičke smetnje kao što su povećan umor, nesanica, jake glavobolje, gubitak koncentracije i pažnje te u konačnici, trajno oštećenje sluha. Sve je to rezultiralo potrebom za istraživanjem izvora buke, njezinog utjecaja i provođenja zaštitnih mjera.

Važno je napomenuti da iako neke zvukove navikom lakše podnosimo, čovjek se na buku ne može naviknuti. Buka od 35 dB do 65 dB označava granicu bezopasne buke bez većih psiholoških i fizičkih posljedica.

Tablica 9.: Prikaz vrijednosti intenziteta zvuka u svakodnevnom životu (Izvor: [21])

dB(A)	POSTUPAK	OSJEĆAJ
20	kucanje tihog sata, mirna soba noću	vrlo tiho
40	šaptanje blizu neke osobe	prilično tiho
60	uredska buka, restoran	srednje glasno
80	ulična buka pri jakom prometu	glasno
100	pneumatski čekić	glasno do neizdržljivo
≥120	mlazni pogon, raketa	glasno do neizdržljivo

Premda ga je u današnjem suvremenom svijetu teško postići, jasno je da je odmor od buke nužan za održivost čovjekovog psihofizičkog zdravlja. Rezultat tomu, zakonskom regulativom utvrđeni se zahtjevi i vrijednosti koje je potrebno ispunjavati kako bi se osigurao miran i udoban boravak.

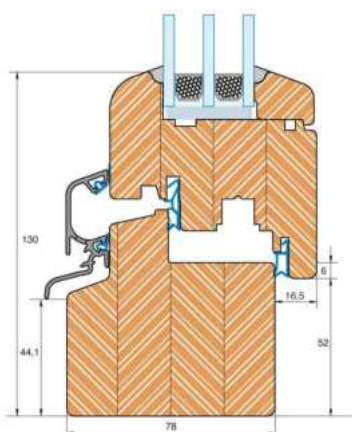
Zaštita od buke jedan je od sedam temeljnih zahtjeva za građevinu definiranih Zakonom o gradnji. Uzimajući u obzir da prozori nisu potpuno nepropusni elementi, oni su slaba točka ovojnice zgrade u pogledu zvučne izolacije kao i kod zvučne izolacije pa je detaljniji pogled na njihov utjecaj na zaštitu od buke također neophodan.

Zvučna izolacija gotovog prozora sastoji se od zvučne izolacije:

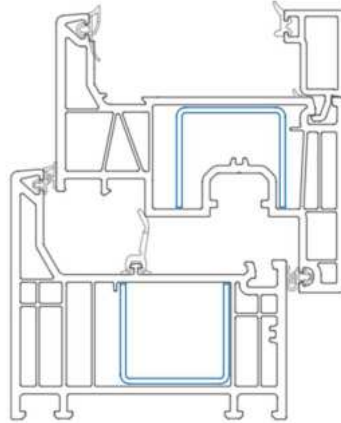
- ostakljenja,
- doprozornika i okvira prozorskih krila,
- spojeva i preklopa,
- uređaja i elemenata za provjetranje i
- kutije za roletu. [22]

Imajući u vidu da staklo zauzima najveći udio ukupne površine prozora, prijelaz zvuka preko stakla znatno definira zvučnu izolaciju gotovog prozora. Vrijednost zvučne izolacije R_w [dB] stakla debljine 3 mm jednaka je 28 dB, a stakla debljine 4 mm je 29 dB, može se zaključiti da se vrijednost zvučne izolacije povećava za 1 dB svakim milimetrom debljine stakla. Pored debljine stakla, na veličinu zvučne izolacije utječe vrsta stakla, razmak između stakala, upetost staklene jedinice u okvir prozora te veličina samog ostakljenja.

Prozorski profili doprozornika i okvira krila rađeni su od različitih materijala ili njihove kombinacije pa akustički gledano mogu biti puni (Slika 14.) ili profili s komorama (Slika 15.) koji su skloniji nepovoljnijim akustičnim svojstvima.



Slika 14.: Grafički prikaz punog profila. (Izvor: [23])



Slika 15.: Grafički prikaz profila s komorama. (Izvor: [24])

Standard DIN 4109 naglašava važnost kontrole buke i specificira minimalne uvjete zvučne izolacije prozora i vrata. Postoji šest klasa zaštite prozora od zvuka koji moraju minimalizirati buku prema određenim vrijednostima:

- Zvučna izolacija prozora **klasa 1**
 - debljina stakla je 4 mm
 - smanjuje buku od 25 do 29 dB
 - prozor s jednim staklom
- Zvučna izolacija prozora **klasa 2**
 - debljina stakla je 4 mm
 - smanjuje buku od 30 do 34 dB
 - prozor s dvije staklene ploče s razmakom od 16 mm punjenog argonom ili kriptonom
- Zvučna izolacija prozora **klasa 3**
 - debljina vanjskog stakla je 6 mm, a unutarnjeg 4 mm
 - smanjuje buku od 35 do 39 dB
 - prozor s dvije staklene ploče s razmakom od 16 mm punjenog argonom ili kriptonom
- Zvučna izolacija prozora **klasa 4**
 - debljina vanjskog stakla je 9 mm, a unutarnjeg 6 mm
 - smanjuje buku od 40 do 44 dB
 - prozor s dvije staklene ploče s razmakom od 16 mm punjenog argonom ili kriptonom
 - na stakleno punjenje je navučena PVC folija što dodatno smanjuje stvaranje buke.

- Zvučna izolacija prozora **klasa 5**
 - debljina vanjskog stakla je 11,5 mm, a unutarnjeg 9,5 mm
 - smanjuje buku od 45 do 49 dB
 - prozor s dvije staklene ploče s razmakom od 20 mm punjenog argonom ili kriptonom
 - na stakleno punjenje je navučena PVC folija što dodatno smanjuje stvaranje buke.
- Zvučna izolacija prozora **klasa 6**
 - takozvane kutije prozora
 - smanjuje buku za više od 50 dB

Zakonom o zaštiti od buke (NN 30/09) propisano je da se mjerama zaštite od buke mora spriječiti nastajanje prekomjerne buke, odnosno postojeću buku smanjiti na dopuštene razine te da se zaštita provodi danonočno. U Tablici 10. prikazane su maksimalne veličine nivoa zvuka udara zatvorenih prozora propisane Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 143/21).

Tablica 10.: Najviše dopuštene razine buke L [dB] u zatvorenim boravišnim prostorima po zonama (Izvor: [25])

RAZDOBLJE	1	2	3	4	5
dan	30	35	35	40	40
večer	27	30	30	35	35
noć	25	25	25	30	30

Napomena: Zona 1 – zona zaštićenih tihih područja namijenjena odmoru i oporavku

Zona 2 – zona namijenjena stalnom stanovanju, tiha područja unutar naseljenog područja

Zona 3 – zone mješovite, pretežito stambene namjene

Zona 4 – zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem

Zona 5 – zona gospodarske, ugostiteljsko turističke, uslužne ili sportsko rekreativne namjene

Evidentno je da cijela konstrukcija prozora utječe na njegovu sposobnost zaštite od buke stoga je važno razumijevanje postizanja bolje izolacije korištenjem: debljih stakla, kombinacije debljeg stakla izvana i tanjeg iznutra, većeg razmak između staklenih ploča, PVC folija, materijala koji apsorbiraju zvuk te kvalitetno brtvljenje kako bi se učinkovito zatvorile sve šupljine gotovog prozora.

4.1.5. Zaštita od atmosferskih utjecaja

Razne vremenske prilike mogu izazvati građevinske štete pa se zaštitom od atmosferskih utjecaja podrazumijevaju:

- propusnost zraka (HRN EN 12207)
- vodonepropusnost (HRN EN 12208)
- otpornost na opterećenje vjetrom (HRN EN 12210)

Od velike je važnosti poznavanje vremenskih prilika na mjestu ugrađivanja prozora jer se ovisno o njima biraju prikladni materijali za izvođenje građevine i njezinih dijelova pa tako i prozora.

Hrvatskom normom HRN EN 1026 određene su metode ispitivanja i određivanja klase provjetravanja. Definirane su četiri klase provjetravanja: klasa 1 označava najveću količinu propuštanja, a klasa 4 najmanje propuštanja.

Tablica 11.: Razredi zrakopropusnosti prozora, balkonskih vrata i krovnih prozora.
(Izvor: [8])

Br. katova zgrade	Razred zrakopropusnosti prema HRN EN 12207-1:2002
zgrada do 2. kata	razred 2
zgrada s više od 2 kata	razred 3
razred 1 je najveće, a razred 4 najmanje zrakopropusnosti	

Najučinkovitiji način kontrole propusta zraka kroz šupljine cijelog prozora je njihovo kvalitetno brtvljenje. Brtvila svojom gumenom teksturom sprječavaju prodor zraka pa time i vodene pare, odnosno vlage i onemogućuju nepoželjne posljedice pojave plijesni i gljivica.

4.1.6. Zaštita od osunčanja (insolacije)

Kada se govori o dobitku topline, tumačio se solarni faktor SF (G – vrijednost), odnosno vrijednost ukupnog toplinskog dobitka i u konačnici zagrijavanja prostora. Kao i kod većine zahtjeva, najveći utjecaj na količinu insolacije ima staklo zbog svoje veličine i samih svojstava. U ljetnim mjesecima cilj je spriječiti nepotrebno grijanje unutrašnjosti objekta, i

time smanjiti rashladno opterećenje elementima vanjske zaštite, elementima unutarnje zaštite i elementima između staklenih ploča.

Elementi vanjske zaštite smatraju se najučinkovitijima jer pružaju zaštitu prije nego sunčeve zrake dođu do stakla. Vanjskom zaštitom smatramo rolete, vanjske žaluzine, brisoleje, tende i druge.

Elementima unutarnje zaštite se presreće prijenos topline u zgradu apsorbirane energije. Ona uključuju unutarnje rolete (zaštita od smrzavanja u područjima vrlo niskih temperatura), unutarnje žaluzine, roloi, zavjese i druge.

Elementima unutar stakala obuhvaćaju se reflektirajuća stakla i folije, stakla koja usmjeravaju svjetlo, staklene prizme, unutarnja sjenila ili sama višestruka stakla.

Svi spomenuti elementi osim što pridonose sposobnosti prozora u smanjenju prijenosa topline i uštedi energije, doprinose osjećaju privatnosti i estetskim efektima.

Tehničkim propisima o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama specificirani su faktori umanjena naprave za zaštitu od sunčeva zračenja F_c .

Faktor F_c jednak je količniku između prosječne sunčeve energije koja dospije u zgradu kroz prozor s napravom za zaštitu od sunčeva zračenja i sunčeve energije koja bi dospjela u zgradu kroz prozor bez te naprave. [8]

Tablica 12.: Faktor umanjena naprave za zaštitu od sunčeva zračenja. (Izvor: [8])

NAPRAVA ZA ZAŠTITU OD SUNČEVA ZRAČENJA	F_c (-)
bez naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	1
NAPRAVA S UNUTRAŠNJE STRANE ILI IZMEĐU STAKLA	
bijele ili reflektirajuće površine i malene transparentnosti	0,75
svijetle boje ili malene transparentnosti	0,80
tamne boje ili povišene transparentnosti	0,90
NAPRAVA S VANJSKE STRANE	
žaluzine, lamele koje se mogu okretati, otraga provjetravano	0,25
žaluzine, rolete, kapci (škure, grilje)	0,30
strehe, lođe	0,50
markize, gore i bočno provjetravane	0,40

4.1.7. Osiguranje građevine

Od presudne je važnosti osigurati sigurnost boravka u prostorijama koje sadrže prozore, to jest najslabije točke ovojnice zgrade. Neke od metoda za postizanje sigurnosti mogu biti potpuno jednostavne poput postavljanja uređaja za otvaranje prozora samo s unutarnje strane kako nepoželjni pristup prostoriji s druge strane ne bi bio moguć.

Osim toga, osiguranje građevine podrazumijeva:

- otpornost prozora na požar i propuštanje dima (HRN EN 1634),
- otpornost na provale (HRN EN 1627),

a sve ujedinjeno čini otpornost prozora na lom.

4.2. Projektiranje i proizvodnja prozora

Proizvodnji i ugradnji kvalitetnih prozora prethodi njihovo projektiranje. Prozori moraju biti projektirani na način da kvalitetno izvršavaju svoju funkciju ispunjavajući sve prethodno navedene zahtjeve u predviđenom vremenskom roku.

Tehničkim propisom za prozore i vrata određeno je da se prozori smiju ugraditi u građevinu ako:

- ispunjavaju zahtjeve propisane dane tim propisom
- su za prozor izdane izjave o sukladnosti u skladu s odredbama posebnog propisa.

Lako je onda zaključiti da se zahtjevi definiraju i ispunjavaju prije same proizvodnje i ugradnje, odnosno u fazi projektiranja. Osim što prozori trebaju ispunjavati zahtjeve svoje funkcionalnosti kao dio ovojnice zgrade, izuzetno je važno da upotpunjuju arhitektonski stil zgrade ne narušavajući njezinu estetiku.

Prozori moraju biti trajni, odnosno imati sposobnost posjedovanja zahtijevane razine sigurnosti i uporabljivosti u predviđenom razdoblju. Također, neophodno je ispunjavati zahtjeve mehaničkih svojstava propisanim HRN EN 133115.

Jesu li prozori ekološko održivi, ovisi o materijalima od kojih su napravljeni. Iz toga razloga se potiče korištenje materijala koje je moguće reciklirati i ponovno upotrijebiti kroz novi proizvod te tako smanjiti otpad i potrošnju sirovina.

U fazi projektiranja je potrebno odrediti:

- poziciju objekta,
- vrstu objekta (staro gradnja ili novogradnja) i
- visinu objekta.

Za potrebe proizvodnje prozora potrebno je definirati:

- veličinu prozora,
- vrstu materijala i njegove specifičnosti,
- boju,
- čelična ojačanja,
- način otvaranja prozora,
- elemente za zaštitu od insolacije i
- dodatne zahtjeve ako je potrebno.

Proizvodnja prozora složeni je proces podržan raznom tehnološkom mehanizacijom koja se razlikuje ovisno o materijalu prozorskih okvira. Za jamčenu uspješnu proizvodnju, svaki prozor uz svoje specifikacije treba biti praćen smjernicama izrade i spajanja pojedinih elemenata.

U projektu zgrade moraju biti specificirana:

- tehnička svojstva prozora,
- svojstvo propusnosti zraka,
- svojstva otpornosti na opterećenje vjetrom,
- svojstva vodonepropusnosti,
- svojstva prolaska topline,
- svojstva zvučne izolacije,
- svojstva otpornosti na požar i propuštanje dima,
- uvjeti ugradnje, uporabe i održavanja prozora te
- uvjeti i način zamjene prozora ukoliko je uporabni vijek zgrade duži od uporabnog vijeka prozora.

4.3. Ugradnja prozora

Razmatrajući sve zahtjeve koje prozori moraju ispunjavati, neosporno je da prozori imaju važnu ulogu u kvaliteti čovjekovog boravka u svome domu. Dakako, kada se razmatra njihova funkcionalnost obuhvaćajući sve te propisane zahtjeve i njihovu energetske učinkovitosti, ne smije se umanjiti važnost ukupne ekonomičnosti i trajnosti prozora.

Gubitak topline koji se odvija kroz spojeve prozora sa zidom deset je puta veći od onog koji se odvija kroz same zidove. Preko tih istih spojeva vodena para prolazi u unutrašnjost objekta koja na kraju dovodi do pojave vlage koja narušava termičku stabilnost. Gubitkom topline se povećavaju troškovi energije za hlađenje, a pojava plijesni i gljivica dovodi do neplaniranih sanacija pa se jednostavno može reći da gubitak energije i prolazak vlage košta.

Iz tog razloga, u cilju prevencije neplaniranih troškova je Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti u zgradama propisano sljedeće:

- Zgrada koja se grije na temperaturu višu od 12 °C mora biti projektirana i izgrađena na način da utjecaj toplinskih mostova na godišnju potrebnu toplinu za grijanje bude što manji.
- Na prozorima, balkonskim vratima, krovnim prozorima i ostakljenim elementima pročelja dopušteno je prolazno nastajanje manje količine kondenzata ukoliko su predviđene odgovarajuće mjere kojima se sprječava dodir kondenzata sa susjednim, na vlagu osjetljivim, materijalima. [8]

Kako bi se spriječile neželjene posljedice važno je ne samo pravilno projektirati prozor, nego ga pravilno i ugraditi. Pravilnom ugradnjom za postizanje energetske učinkovitih prozora smatra se ugradnja koja osigurava maksimalnu izolaciju prostora između prozora i zidova.

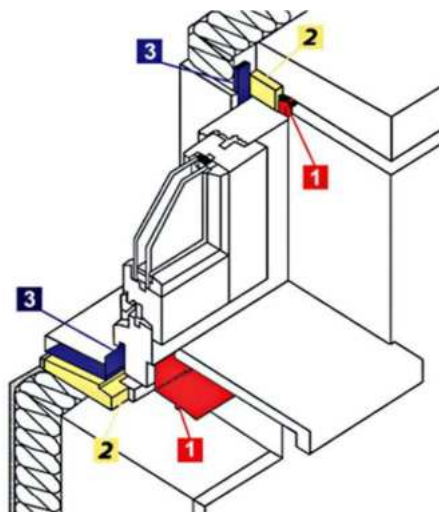
4.3.1 Energetske učinkovite ugradnje prozora

Energetske učinkovite ugradnje prozora predstavlja maksimalnu toplinsku i zvučnu izolaciju uz minimalnu propusnost zraka i vode. Drugim riječima, očekuje se postizanje neprekidne ovojnice zgrade.

Energetske učinkovite ugradnje se može podijeliti na tri osnovne razine: unutarnju, srednju i vanjsku razinu. (Slika 16.)

Unutarnja razina mora biti nepropusna na vodu i zrak kako bi se u potpunosti spriječio prodor vlage kao i pojava plijesni i gljivica. Na taj su način klime unutarnjeg i vanjskog prostora potpuno odvojene pa je izmjena vlage onemogućena. Srednja razina mora osigurati dobru zvučnu i termičku izolaciju, to jest prekidanje toplinskih mostova. Za kraj, nužno je da

vanjska razina bude vodonepropusna, ali istovremeno i paropropusna. Tim putem je spriječen ulazak oborinske vode uz jaki vjetar, ali ipak omogućena difuzija vodene pare prema vani i spriječena kondenzacija vode unutar spoja.



Slika 16.: Grafički prikaz razina brtvljenja pri ugradnji prozora: unutarnja razina (1), srednja razina (2) i vanjska razina (3). (Izvor: [11])

Potrebni materijali prema razinama ugradnje:

UNUTARNJA RAZINA (1)

- unutarnja ljepljiva traka (vodonepropusna, paronepropusna),
- sredstva za obradu ovoja zida,
- unutarnja okapnica (drvo, kamen, keramika, PVC)

SREDNJA RAZINA (2)

- PUR ekspanirajuća pjena ili ekspanirajuća traka,
- spojna sredstva,

VANJSKA RAZINA (3)

- vanjska ljepljiva traka (vodonepropusna, paropropusna),
- EPDM ljepilo/brtvilo,
- sredstva za obradu ovoja zida,
- vanjska okapnica otporna na atmosferske utjecaje (kamen, lim).

Prije svega, otvori u zidovima (špalete) moraju biti obrađeni i bez neravnina, a okvire prozora potrebno je očistiti od prljavština s unutarnje i vanjske strane kako bi se osigurala dostatna prionjivost ljepljivih traka. Važno je trake lijepiti kontinuirano što znači da se u kutovima prozora trake ne režu, nego rotiraju i lijepe dalje po okviru do mjesta gdje je lijepljenje početo. Očigledno je da se vanjska traka nalazi u vanjskoj razini ugradnje, a unutarnja traka u unutarnjoj razini.

Nakon što su trake zalijepljene, prozor se postavlja na predviđeno mjesto. Trake se prepuštaju preko špaleta te će na kraju biti obrađene fasadom i okapnicom (klupčica) s vanjske strane te glet masom s unutarnje. Prije nego se prozor fiksira spojnim sredstvima (srednja razina), provjerava se vertikalnost i horizontalnost prozora libelom (germ. *vaser vage*).

Zatim, vanjsku je traku potrebno zalijepiti na špalete EPDM ljepljivom/brtvilom čime se ostvaruje vodonepropusnost. Međuprostor koji je ostao između prozora i špaleta treba dodatno učvrstiti i osigurati potrebnu izolaciju ekspanzirajućom trakom (stariji način: PUR ekspanzirajućom pjenom). Traku je potrebno zalijepiti na okvir prije postavljanja prozora na predviđeno mjesto ugradnje zbog njenog povećanja volumena. Nadalje, unutarnja traka je ljepljiva s obje strane pa za njeno lijepljenje nije potrebno nikakvo ljepljivo ili brtvilo.

Na završetku, trake se prekrivaju (obrađuju) prije navedenim načinom preko čega se postavlja izolacija i na nju unutarnje i vanjske okapnice. Vanjske okapnice su napravljene od materijala koji može podnijeti atmosferske utjecaje kao što su lim i kamen, dok su unutarnje napravljene od manje izdržljivijih materijala primjerice drveta, keramike ili kamena.

Nedostaci ovakve ugradnje su veći troškovi i dulje vrijeme ugradnje, no uzeći u obzir sva poboljšanja energetske učinkovitosti, energetske učinkovite ugradnje predstavlja dugoročno ekonomski isplativu investiciju.

5. MATERIJALI PROZORSKIH OKVIRA

Najbitnija stavka kod odabira kvalitetnije stolarije je što manji koeficijent prolaska topline prozora U_w , to jest što veća ušteda energije za hlađenje i grijanje. Kako je već istaknuto u Tablici 6., U_w prozora i balkonskih vrata ne smije biti veći od $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Već je poznato da proizvođači elemenata prozora pri prodaji navode koeficijente prolaska topline svojih proizvoda. Tako i proizvođači okvira prozora ovisno o njihovim specifikacijama navode njihov U_f .

Među energetski štedljive okvire smatraju se okviri s koeficijentom prolaska topline U_f između $1,5$ i $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [26]

Svaka vrsta profila okvira ima svoja tehnička svojstva koja određuju njegove prednosti i nedostatke. Zato se u fazi projektiranja trebaju u potpunosti iskoristiti prednosti i poduzeti mjere za sprječavanje štetnih pojava nastalih zbog nedostataka istog tog materijala.

Na tehnička svojstva okvira i njihovu energetsku učinkovitost utječe nekoliko značajki:

- karakteristike materijala od kojih su napravljeni,
- težina,
- širina/debljina profila,
- šupljikavost (komore) i punina te
- brtvila.

Jedna od važnijih specifikacija materijala je termički koeficijent širenja, odnosno njegova sposobnost odupiranja deformacija uzrokovanih promjenama temperature. Takve pojave mogu uzrokovati probleme rukovanja s prozorima ili čak pucanje okova. Ukupnoj težini prozora najviše pridonosi težina njegova okvira i stakla. Prozori veće težine pružaju bolju potporu cijeloj strukturi stolarije, pružaju osjećaj veće sigurnosti i imaju dulji vijek trajanja. Povećanjem širine profila se povećava čvrstoća i toplinski otpor prozora. Iako to znači porast cijene cijelog prozora, dovoljna motivacija za njihovo ulaganje je poboljšanje zvučne i toplinske izolacije. Gumena brtvila pružaju zaštitu od prašine i buke te smanjuju propusnost zraka i vode. U suvremenoj proizvodnji se projektiraju sustavi s 2 ili 3 brtve.

Osim što promatramo funkcionalnost i trajnost okvira prozora, u pogledu estetike nužno je osigurati postojanost boje i teksture ugrađenog prozora.

Prozorski se okviri mogu izrađivati od:

- drveta (hrast, bor, jela, smreka),
- metala (aluminij, čelik),

- polimernih materijala (polivinil – klorid, poliuretan, poliester) ili
- njihovih kombinacija (drvo – aluminij, PVC – aluminij).

Zbog široke ponude vrsta materijala i njihove opsežnosti, u radu će se promatrati najučestaliji materijali za izradu okvira prozora, a to su: drvo, aluminij i PVC.

5.1. Drveni prozorski okviri

Drvo je prirodni materijal i zbog svojih je svojstava najbolji materijal za izradu prozora ukoliko ga se tijekom njegovog vijeka redovito održava brušenjem površine i ponovnim nanošenjem potrebne zaštite.

Drveni okviri su najstariji okviri u građevinarstvu, a razlog predanosti njihove primjene su iznimno dobra tehnička svojstva i sam ugođaj koji pružaju. Kažu da je drvo materijal koji „ima dušu“, odnosno pruža osjećaj topline i udobnosti prostora, podložan je oblikovanju što mu daje prostora za kreativnost i postizanje željenog estetskog dojma. Isto tako se drvo smatra materijalom koji „diše“. Drugim riječima, drvo sposobnošću difuzije regulira vlagu i temperaturu prostora pa nema formiranja hladnih mostova i pojave kondenzacije.

Drveni okviri su lamelirani puni profili hrasta, bora, jele, smreke ili neke egzotične vrste drveta (Slika 17.). Punina profila doprinosi ukupnoj težini (čvrstoći) prozora pa pruža veliku mogućnost oblikovanja i izrade većih prozora i stijena. Isto tako, puninom profila se postigla iznimna toplinska i zvučna izolacija jer se na taj način spriječio prolazak topline konvekcijom (zrakom) pa je ušteda energije puno veća u odnosu na šuplje profile aluminija i PVC – a. Unatoč tome što se drvo koristi za tradicionalni način grijanja potpalom vatre, drvo se u pogledu energetske učinkovitosti prozora najbolje ponaša pod požarnim opterećenjem u usporedbi s aluminijem i PVC – om. Objašnjenje za to je njegova manja toplinska vodljivost, postepeno, a ne izvanredno gubljenje nosivosti, lakše sanacije i proizvodnja manje toksičnih plinova prilikom izgaranja.



Slika 17.: Puni profil drvenog prozorskog okvira (Izvor: [27])

Ako promatramo drvo promatramo kao sirovinu za izradu okvira, ono ne zahtijeva nikakvu proizvodnju u usporedbi s drugima. Štoviše, drvo je prirodni i obnovljivi materijal, no potrebna mu je dostatna priprema i obrada koja zahtijeva majstorska znanja izrade, spajanja, ostakljivanja i bojanja njegovih profila.

Osim svih prednosti za primjenu drvenih okvira u izradi vanjske stolarije, oni posjeduju i neke nedostatke svoje organske strukture. Mehanička svojstva drveta su inače, zbog odstupanja vlakna godovima i grbama, veoma neujednačena (anizotropna). Pored toga, drveni okviri mogu biti jako osjetljivi na atmosferske utjecaje ukoliko nisu zaštićeni na ispravan način zbog svoje osjetljivosti na vlažnost (pojava bubrenja i skupljanja) i promjene temperature (napuknuća). Zbog sve većeg smanjenja zaliha kvalitetnog drveta, potrebnog znanja za njegovo oblikovanje i obavezne postupke njegovog održavanja, ukupni troškovi drvenih prozora su značajni.

Uzeći sve osobine u obzir sve osobine drvenih okvira postiže se vrijednost koeficijenta prolaska topline okvira U_f između 1,1 i 1,8 $W/(m^2 \cdot K)$.

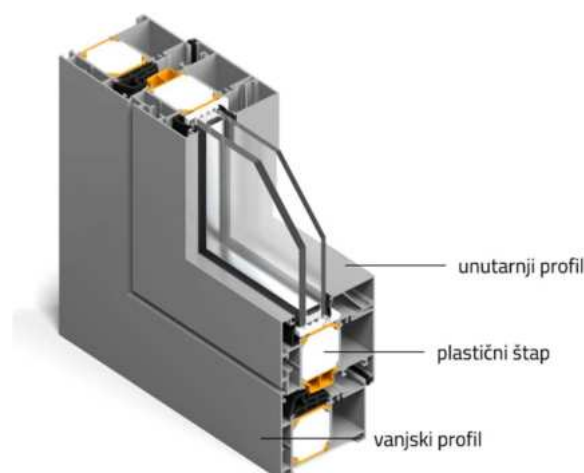
Zagovornici prirodnih materijala mogu ugraditi drvene prozore koji su na vanjskoj strani zaštićeni aluminijskim profilom. Takav prozor udružuje prednosti drvenoga prozora – toplina drva, dobra toplinska izolacija, dimenzijska stabilnost, visoka postojanost, zaštita drva od ultraljubičastih zraka, mraza i vrućine. Zrak između drvenoga i aluminijskog profila omogućava i dobro prozračivanje. [26]

5.2. Aluminijski prozorski okviri

Ako su neki od zahtjeva investitora veliki ostakljeni otvori koji su istovremeno iznimno postojani, trajni, velike čvrstoće, ali isto tako i lagani, jasno je da su aluminijski profili pravi izbor. Unatoč tome što su šuplji i lagani, aluminijski profili imaju potrebnu razinu čvrstoće i nosivosti za izradu prozora i stijena velikih dimenzija. Mala težina je u pogledu ugradnje velika prednost jer se u usporedbi s drvenim i PVC profilima puno lakše rukuje.

Proizvodnja aluminijskih profila puno je jednostavnija od drvenih. Aluminijski profili se izvlače u jednom komadu, a izrada i strojna obrada, spajanje profila i ostakljivanje gotovih okvira u specijaliziranim radionicama jedni su od razloga njihove brze i lake proizvodnje. Aluminijski profili su estetski najprihvatljiviji zbog svog decentnog i glatkog izgleda nakon bojanja, plastifikacije i/ili eloksiranja. Aluminij je sam po sebi otporan na atmosferske utjecaje i koroziju. Ipak glavni problem aluminija je njegova velika toplinska provodljivost koja dovodi do velikog toplinskog produljenja profila i iznimno loših termoizolacijskih svojstava. Upravo u tom pogledu, aluminijske profile dijelimo na one s prekinutim i neprekinutim toplinskim mostom.

Ukoliko je riječ o profilu s prekinutim toplinskim mostom, profil se sastoji od unutarnjeg i vanjskog profila s plastičnim štapom između njih (Slika 18.). Budući da aluminij ima veliku toplinsku provodljivost, plastičnim štapom se prekida toplinski most i uvelike poboljšava njegova termoizolacijska sposobnost.



Slika 18.: Aluminijski profil s prekinutim toplinskim mostom (Izvor: [28])

Profili s neprekinutim toplinskim mostom (Slika 19.) su profili skoro nikakve termoizolacije pa se takvi profili koriste samo tamo gdje toplinska izolacija nije potrebna. Primjerice unutarnji prozori, unutarnja vrata i pregradne stijene, grilje i drugo.



Slika 19.: Aluminijski profil s neprekinutim toplinskim mostom (Izvor: [29])

Na kraju, aluminij je zbog svojih prednosti sve češći izbor investitora iako je cijena njegove proizvodnje veća od ostalih. Aluminij čvrst i jednostavan za ugradnju, ali njegova velika provodljivost topline povećava koeficijent prijenosa topline što znači da povećava potrebnu energiju za grijanje i hlađenje. Koeficijent prolaska topline aluminijskih okvira U_f je između 2,0 i 2,5 $W/(m^2 \cdot K)$.

5.3. Polimerski prozorski okviri

Polimerni prozorski profili mogu biti proizvedeni od polivinil – klorida (dalje u tekstu: PVC-a), poliuretana ili poliestera ojačanim staklenim vlaknima. U nastavku rada će se opisivati svojstva PVC prozorskih okvira kao najčešćeg materijala za izradu polimernih prozorskih okvira.

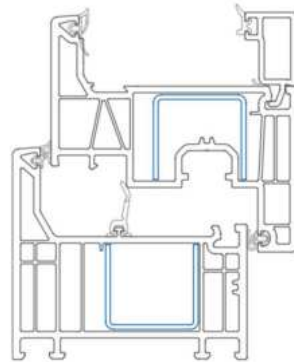
Već je spomenuto kako na energetske učinkovitost cijelog prozora utječu značajke poput mehaničkih svojstava samog materijala, težini i širini profila te kvaliteti brtvljenja.

PVC je izuzetno izdržljiv materijal koji nakon proizvodnje ne zahtijeva velike radove i troškove održavanja, štoviše, ne zahtijeva ništa više od obične vode i blagog deterdženta. Ne korodira niti blijedi pod utjecajem kiše i sunca pa se može zaključiti da je otporan na vremenske

utjecaje. Kao polimerni materijal, jako je prilagodljiv i jednostavan za oblikovanje što pojednostavljuje njegovu strojnu izradu i daljnje spajanje te ostakljivanje. Lagan je i malog modula elastičnosti što ga čini nedovoljno krutim za preuzimanje očekivanog opterećenja.

PVC profili se sastoje od zračnih komora. Trokomorni profil ima U – vrijednost otprilike $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, dok profili s pet komora postižu vrijednost otprilike $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [26]

Poznato je da je jedna od značajki energetske učinkovitosti prozora njegova težina pa se komore PVC profila ispunjavaju čeličnim ojačanjima kako bi se postigla veća težina, čvrstoća i krutost profila. (Slika 20.). Unatoč tome što su ojačani, PVC profili se ne mogu koristiti za zatvaranje većih otvora kao što mogu primjerice aluminijski. Komore jednako tako pridonose poboljšanju zvučne i toplinske izolacije jer smanjuju međuprostore u šupljem profilu pa sprječavaju pojavu konvekcijskih sila i prolaska topline i buke unutar njih.



Slika 20.: Grafički prikaz poprečnog presjeka PVC 6-komornog profila s čeličnim ojačanjima označenim plavom bojom. (Izvor: [24])

Brtvila su kod svakog okvira, neovisno o materijalu, ključna za postizanje dobre zvučne, ali i toplinske izolacije kako ne bi došlo do pojave kondenzacije.

Sirovina za proizvodnju polimernih materijala se ne može dobiti iz prirode, ali jednostavna izrada profila (rezanje, varenje i sastavljanje) razlog je zašto je cijena PVC prozora izuzetno pristupačna. Polivinil – klorid nije prirodan materijal, no razvojem tehnologije se počeo reciklirati i iznova koristiti. Svi zahtjevi i ispitne metode profila od PVC – a za proizvodnju prozora i vrata opisane su normom HRN EN 12608:2003.

Uzimajući u obzir sve karakteristike materijala i prateći zahtjeve dane normom, može se pretpostaviti da će U – vrijednost ovih profila biti između $0,9$ i $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Na kraju se može zaključiti da su prethodno opisani profili ekonomski isplativi, trajni i energetske učinkoviti pa je omjer uloženog i dobivenog u odnosu s drugim profila nedvojbeno najbolji.

5.4. Usporedba

Budući da je razvojem tehnologije razvijen veliki broj drvenih, aluminijskih i PVC profila različitih mehaničkih karakteristika, težine, širine i načina brtvljenja, jasno je da će investitori morati odabrati onu vrstu profila koja će nabolje ispunjavati tražene zahtjeve otpornosti i trajnosti te upotpunjavati estetiku cijelog vanjskog izgleda zgrade.

Tablica 13.: Približna usporedba prednosti i nedostataka vrsta prozora. (Izvor: [12])

TEHNIČKE I EKONOMSKE KARAKTERISTIKE PROZORA	VRSTA MATERIJALA		
	Drvo (zaštićeno bojom)	Aluminij (eloksiran)	Tvrđi PVC (ojačan iznutra čeličnim profilima)
Prednosti	velike	najveće	velike
Nedostaci	veliki	najmanji	srednji
Trajnost materijala	velika	najveća	velika
Nabavna cijena i cijena ugradbe	velika	najveća	velika
Troškovi održavanja	veliki (redovito pranje i bojenje)	mali (redovito pranje)	mali (redovito pranje)
Higijenska svojstva	dobra	odlična	dobra
Garancija proizvođača	velika	velika	velika
Zrakopropusnost nakon brtvljenja (pri promjenljivim tlakovima zraka – vjetar)	mala	najmanja	mala
Vodopropusnost nakon brtvljenja (pri kišenju bez tlaka i pod tlakom zraka – vjetar)	mala	najmanja	vrlo mala
Otpornost na djelovanje vjetra (progib, otpornost na djelovanje promjenljivog tlaka zraka, otpornost na djelovanje impulsa i najveći tlak opterećenja)	velika	najveća	velika
Zvučna izolacija od buke – indeks zvučne izolacije, R_w	dobra	dobra	dobra
Toplinska izolacija – koeficijent prolaska topline, U_f	vrlo dobra	dobra	dobra
OCJENA	vrlo dobar	najbolji	vrlo dobar

Izučavanjem Tablice 13. može se zaključiti da su aluminijski prozori tehničkim obilježjima najkvalitetniji, ali isto tako i najskuplji. PVC i drveni profili su kvalitetom i cijenom približno jednaki, no zbog radova i troškova održavanja je PVC češći izbor investitora.

Drveni prozori će se koristiti u rustikalnim kućama ili muzejima zbog svojih tehničkih karakteristika, estetike, uklapanja u interijer i eksterijer te pružanja osjećaja prirodne ljepote. Aluminijski prozori se očituju velikom nosivosti, čvrstoćom i izdržljivošću pa je jasno da će se koristiti za velike otvore, poslovne zgrade ili zgrade javne namjene. PVC prozori su najčešći izbor za obiteljske kuće zbog svoje pristupačne cijene, jednostavnog održavanja i dobre izolacijske sposobnosti što pridonosi ukupnoj energetske učinkovitosti kuće i smanjenju troškova.

6. PROZORSKA STAKLA

Staklo je zbog svoje veličine u većini slučajeva najdominantniji element prozora što znači da uvelike utječe na njegova svojstva i energetska učinkovitost. Kako je već poznato, da bi se postigao što manji gubitak topline koriste se prozorska stakla sastavljena od više staklenih ploča. Staklene ploče mogu biti obrađene na više načina ili premazane raznim premazima ovisno o potrebi. Prostor između njih popunjen je zrakom ili plinom (argon, kripton) i osiguran je distancerima punjenim molekularom koji sprječava nakupljanje vlage. Najčešće se upotrebljavaju dvoslojna stakla, ali su moguća i troslojna ili četveroslojna prozorska stakla. Iako se porastom slojevitosti stakla povećava i njegova cijena, uporabom većeg broja slojeva se smanjuje koeficijent prijenosa topline koji je jedan od glavnih zahtjeva za energetska učinkovite prozore.

Kako vrijeme prolazi i tehnologija napreduje, proizvodnja stakla se razvijala i širila svoju ponudu prema potrebama korisnika. U nastavku rada će se opisati vrste stakla koja se koriste u proizvodnji prozorskih stakala.

6.1. Vrste stakla

Kada se govori o vrstama stakla, govori se o vrstama staklenih površina, odnosno o staklima koji se mogu koristiti kao jednoslojna stakla ili kao dijelovi višeslojnih staklenih jedinica.

6.1.1. Čisto staklo

Čistim staklom se smatra obično staklo u svojem najosnovnijem obliku. Zbog svog načina proizvodnje *float* postupkom, naziva se još i float staklo. Čisto staklo je vizualno glatka, prozirna i tanka staklena ploča slabije kvalitete te može imati debljinu 2 – 25 mm.

Prozirno čisto staklo se može bojati dodavanjem boje tijekom njegove proizvodnje. Osim u dekorativne svrhe, bojanjem se može postići zatamnjeno staklo koje pridonosi osjećaju privatnosti i smanjenju prolaska sunčeve svjetlosti.

6.1.2. Sigurnosno staklo

Poznato je da su prozori slaba točka ovojnice zgrade u pogledu sigurnosti pa se iz istog tog razloga stvorila potreba za proizvodnjom jačih stakla boljih mehaničkih karakteristika koji će pružiti veću sigurnost i udobnost.

Laminirano staklo predstavlja dva ili više float stakla povezana polivinil butiralom (PVB) u debljini od 0,38 mm. Glavna prednost ovog stakla je što njegovi komadići u slučaju sloma ostaju zalijepljeni za PVB. Osim toga, smanjuje razinu buke i štiti od UV zraka.

Kaljeno staklo se dobiva zagrijavanjem na temperaturu od 600 °C i ima pet puta veću mehaničku otpornost od float stakla. Kaljeno staklo se prilikom sloma rasipa u male komadiće tupih rubova što smanjuje mogućnost ozljeda.

Armirano staklo u svojoj unutrašnjosti ima umetnutu žicu za koju komadići stakla ostaju prilijepljeni u slučaju loma. Ova stakla se često koriste u školama, vrtićima, bolnicama i slično.

Vatrootporno staklo je višeslojno staklo koje ne propušta toplinu do 30, 60, 90 ili 120 minuta. Pruža zaštitu od dima, plamena i toplih plinova. Koristi se u unutarnjoj stolariji bolnica, škola, restorana i slično kako bi se spriječilo širenje požara u druge prostorije.

6.1.3. Ukrasno staklo

Ornament stakla su prozirna stakla (mogu biti i u boji) s utisnutim uzorcima što čini njihovu površinu neravnom. Propušta sunčevi svjetlost, ali sprječava poglede što pruža osjećaj privatnosti.

Satinato staklo je staklo glatke površine i bijele boje kroz koje se ne vidi, ali se istovremeno djelomično propušta svjetlost.

Pjeskareno staklo se dobiva usmjeravanjem sitnih čestica različitih materijala prema staklu pod visokim tlakom.

6.1.4. Staklo s premazima

Reflektirajuće staklo se dobiva nanošenjem metaliziranog premaza zbog kojeg se reflektira 50 – 60 % toplinskog zračenja čime se smanjuje prolaz svjetla i prekomjerno grijanje prostorije u ljetnom periodu.

Apsorbirajuće staklo se ne dobiva premazom, nego dodavanjem željeznog oksida za vrijeme proizvodnje stakla. Na taj način staklo apsorbira 50% toplinskog zračenja.

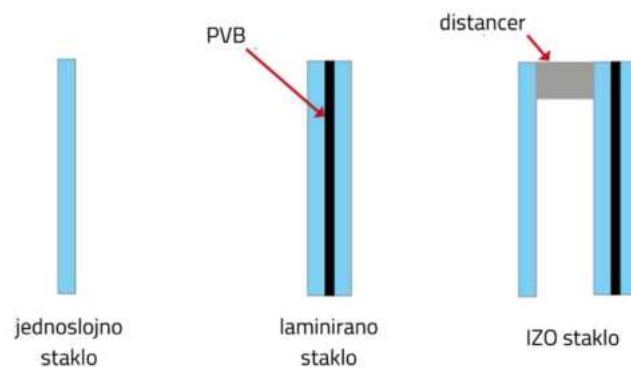
Zrcalno staklo postiže metalnim premazima na jednoj strani stakla što kreira efekt zrcala.

Staklo **niske emisije (Low-E)** se ostvaruje nanošenjem tankog premaza metalnog oksida s unutarnje strane višeslojnog stakla kako bi se spriječile moguće štete uzrokovane vanjskim

utjecajima. Premaz tada djeluje kao reflektor i čuva temperaturu u prostoriji te je na taj način gubitak topline smanjen za 60%.

6.2. Termoizolacijsko staklo

Termoizolacijsko staklo je najrašireniji oblik prozorskog stakla. Ono je cjelina više staklenih jedinica međusobno odvojenih distancerima čiji je razmak ispunjen zrakom ili plinom, ali zajedno spojenih butilom i dobrim brtvljenjem. Staklene jedinice mogu biti od bilo koje vrste stakla prethodno spomenute u radu ili njihove kombinacije. (Slika 21.)



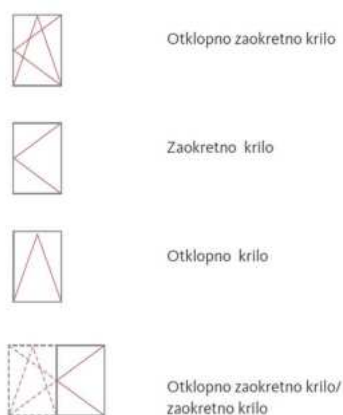
Slika 21.: Primjer staklenih ploča i njihovih kombinacija (Izvor: [30])

Korištenjem IZO stakla dolazi do značajnog smanjenja gubitka topline i utjecaja buke, uštede energije pa time i novca.

7. PROZORSKI OKOVI

Okovi su metalni dijelovi prozora koji omogućuju njegovo otvaranje (zaokretanje), otklapanje (naginjanje) ili potpuno zatvaranje (Slika 22.). Svaka navedena radnja odvija se pomoću poluoliva, odnosno kvaka za prozor.

Osim što omogućuju njegovo otvaranje, okovi su dijelovi koji prozorsko krilo pričvršćuju i pridržavaju za nepomični doprozornik. Okovi imaju svoju nosivost kao i svaki drugi konstrukcijski element pa se prilikom projektiranja prozora i odabira njegovih okova treba uzeti u obzir njegova nosivost i ukupna težina prozorskog krila kojeg pričvršćuje.



Slika 22.: Grafički prikaz i oznake načina otvaranja prozora (Izvor: [31])

Nakon svoje proizvodnje, okovi se podliježu testiranju razine sigurnosti i njihovim se završetkom certificiraju prema normi HRN EN 1627. Što je razred otpornosti viši, to proizvod pruža veću razinu sigurnosti. Razredi sigurnosti su sljedeći:

RC 1: Slučajni provalnik pokušava ući u prostor koristeći jednostavne alate i fizičko nasilje. Rizik koji provalnik preuzima je nizak. [32]

RC 2: Slučajni provalnik pokušava ući u prostor koristeći jednostavne alate kao što su odvijač, kliješta ili klin. Rizik koji provalnik preuzima je nizak. Trajanje provale je od 3 do 15 minuta. [32]

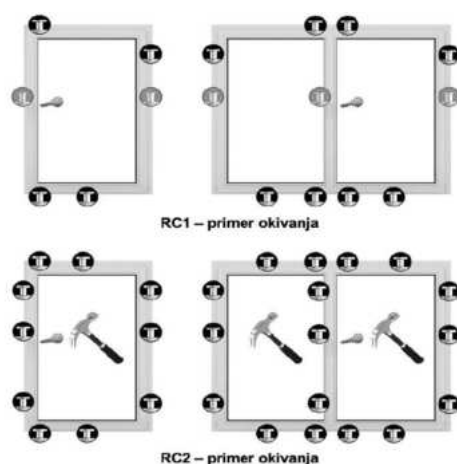
RC 3: Provalnik pokušava ući koristeći polugu, čekić ili bušilice te veću fizičku silu. Rizik koji provalnik preuzima je srednji. Trajanje provale je od 5 do 20 minuta. [32]

RC 4: Iskusni provalnik koristi alate uz veće napore. Rizik koji provalnik preuzima je veći. Trajanje provale je od 10 do 30 minuta. [32]

RC 5: Iskusni provalnik koristi i električne alate kao što su bušilice i ubodne pile. Rizik koji provalnik preuzima je visok. Trajanje provale je od 15 do 40 minuta. [32]

RC 6: Iskusni provalnik pokušava ući koristeći čekić za lomljenje i razne električne alate. Provalnik preuzima veliki nivo rizika. Trajanje provale je od 20 do 50 minuta. [32]

Važno je napomenuti da vrijeme koje se navodi nije točna mjera vremena koje je potrebno za provalu, već opisuje relativni nivo napora.



Slika 23.: Ilustracija okivanja prema razredu sigurnosti (Izvor: [32])

Vrste okova koji se koriste za upravljanje prozorom su:

- šarke
 - omogućuju otvaranje i zatvaranje prozora (Slika 25.)
- srednji zatvarači
 - osiguravaju zaključavanje prozora duž cijele visine i širine
 - direktna veza s poluolivom prozora (Slika 26.)
- škare
 - okovi otklopno zaokretnog prozora
 - omogućuju otklapanje (naginjanje) prozora do određenog kuta naginjanja
 - nalazi se na gornjem horizontalnom spoju doprozornika i krila (Slika 27.)
- spojnice
 - spajaju prozorsko krilo s doprozornikom
 - mogu biti kutne, srednje ili spojnice kao nosači škara
- kapice za škare i kutne spojnice
 - pokrivaju vidljive okove u svojoj određenoj boji kako se nebi narušavao estetski izgled prozora



Slika 24.: Šarka (Izvor: [33])



Slika 25.: Srednji zatvarač (Izvor: [33])



Slika 26.: Škare (Izvor: [34])

8. ZAKLJUČAK

Ljudi su danas jedni od najvećih potrošača energije jer ju u znatnoj količini troše svojim svakodnevnim aktivnostima. Kako bi se smanjila njezina potrošnja i emisija stakleničkih plinova, gradnja energetske učinkovite zgrade, predstavlja ispravno, ekonomski i ekološki prihvatljivo, rješenje za osiguranje održive budućnosti.

Na energetske učinkovitosti zgrade uvelike utječe izvedba njezinih prozora. Kvaliteti energetske učinkovitosti prozora pridonosi svaka karakteristika njegovog elementa: doprozornika, krila okvira, stakla i distancera, brtvila i okova. Zato je potrebno pristupiti projektiranju, proizvodnji i ugradnji cijele prozorske konstrukcije prema zahtjevima energetske učinkovitosti kako bi se osigurala njena funkcionalnost te udoban i zdrav boravak. Za udoban boravak potrebno je postići dovoljno prirodnog svjetla i cirkulaciju svježeg zraka, zadovoljavajuću zaštitu od sunca i buke, zaštitu od atmosferskih utjecaja te osjećaj sigurnosti. U pogledu energetske učinkovitosti, potrebno je maksimalno iskoristiti prirodne izvore energije i minimalizirati gubitke iste. Ovaj rad ukazuje da se primjenom višestrukog stakla ispunjenih plinom smanjuje gubitak toplinske energije zimi i smanjuje prekomjerno zagrijavanje ljeti. Isto tako, staklo treba omogućiti dovoljno prirodnog svjetla i pružiti zaštitu od UV zračenja. Kako bi se postigla kontinuirana neprekidna ovojnica zgrade i spriječila pojava vlage i vlaženja materijala, nužno je kvalitetno brtvljenje spojeva prozorske konstrukcije i provedba adekvatne ugradnje. Osim svega navedenog, za postizanje željenih zahtjeva energetske učinkovitosti ključan je i izbor materijala za prozore. Iz rada se može zaključiti da je drvena stolarija trajna i kvalitetna, ali uzrokuje velike troškove održavanja. Aluminijska stolarija je najotpornija i ima najveću nosivost, no predstavlja i najskuplju varijantu stolarije. PVC stolarija ima najbolji omjer uloženog i dobivenog. Očituju je pristupačna cijena, lako održavanje i odlične izolacijske sposobnosti. Osim energetske učinkovitosti, potrebno je postavljenim okovima pružiti potrebnu razinu sigurnost i spriječiti neovlašteni pristup.

Zaključno, važno je aktivno usmjeravati na odabir materijala za proizvodnju i ugradnju prozora koji sprječavaju gubitke energije kako bi se poboljšala kvaliteta života, zaštita okoliša i smanjili troškovi potrošnje.

POPIS LITERATURE

- [1] Vlasta. Zanki i Vesna. Bukarica, *Priručnik za energetske savjetnike*. Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, 2008.
- [2] *Zakon o energetskej učinkovitosti*. Narodne novine (NN 127/14), 2014.
- [3] *Pravilnik o energetskej pregledu zgrade i energetskej certificiranju*. Narodne novine (NN 88/17), 2017.
- [4] V. Keindl, „Projekt racionalne uporabe energije, toplinske zaštite zgrade i projekt zaštite od buke“, 2023.
- [5] „Energetska učinkovitost u zgradarstvu“, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. Pristupljeno: 24. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/enu-u-zgradarstvu/7571>
- [6] „Zašto trebamo toplinsku zaštitu“, Čančar d.o.o. Pristupljeno: 24. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://cancar.hr/korisne-informacije/zasto-trebamo-toplinsku-zastitu/>
- [7] *Smjernice za zgrade gotovo nulte energije - prvi dio*. Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Republika Hrvatska, 2019.
- [8] *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštite u zgrada*. Narodne novine (NN 73/15), 2015.
- [9] *Smjernice za zgrade gotovo nulte energije - drugi dio*. Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Republika Hrvatska, 2019.
- [10] Z. Veršić, „Smjernice za zgrade gotovo nulte energije“, 2020.
- [11] Z. Veršić, „Zahtjev za prozore pri projektiranju i izvedbi nZEB“, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, 2019.
- [12] Ž. Štromar i M. Zagorec, „Tehnički uvjeti, odabir i ispitivanje prozora prije ugradnje“, 2009.
- [13] „Parametri koji određuju staklo“, Kristal d.o.o. Pristupljeno: 24. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://kristal.eu/tehnice-informacije/>
- [14] „Windows: Heat loss & Heat gain“, GreenSpec. Pristupljeno: 24. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/windows/>
- [15] „Sustav prozračivanja“, Finar Forma d.o.o. Pristupljeno: 24. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.pvc-stolarija.hr/slider/gealan-sustavi-prozracivanja/>
- [16] Joakim. Karlsson, *Windows: optical performance and energy efficiency*. 2001.
- [17] „Windows and infiltration“, McGraw-Hill Education.
- [18] B. Milovanović, S. Zagrebu, i G. fakultet, „Bojan Milovanović - Toplinski mostovi kod nZEB-a“, 2020.
- [19] „Stakla s toplim distantnim profilom“, PressGlass. Pristupljeno: 25. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.pressglass.hr/ponuda/slojevito-staklo/stakla-s-toplim-distantnim-profilom-2/>
- [20] *2001 ASHRAE Handbook - Fundamentals*. 2013.

-
- [21] „Buka“, Preventa. Pristupljeno: 25. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <file:///C:/Users/anaju/Dropbox/GFZG/ZAVR%C5%A0NI%20ISPIT/Literatura/buka/Buka.html>
- [22] Z. Veršić, *ARHITEKTONSKA AKUSTIKA*. Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, 2012. [Na internetu]. Dostupno na: www.arhitekt.hr
- [23] „Softline Timber Windows Timeless; Wood with a Modern Look“, NEUFFER. Pristupljeno: 27. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.neuffer.de/en/timber-window-softline.php>
- [24] „Sustav profila Elegant“. [Na internetu]. Dostupno na: www.deceuninck.hr
- [25] *Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka*. Narodne novine (NN 145/09).
- [26] T. Vrančić, „PREDNOSTI I NEDOSTACI PVC I DRVENIH PROZORA“, *Građevinar*, 2008.
- [27] „WIN WOOD 68“, WINDOR. Pristupljeno: 25. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.windor.hr/hr/prozor-drvo-win-wood-68>
- [28] „Prozori i vrata s prekinutim termičkim mostom“, FEAL. Pristupljeno: 25. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://feal.ba/prozori-i-vrata-s-prekinutim-termickim-mostom/>
- [29] „Prozori i vrata bez prekinutog termičkog mosta“, FEAL. Pristupljeno: 25. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://feal.ba/prozori-i-vrata-bez-prekinutog-termickog-mosta/>
- [30] „Why and when to use laminated glass“, Glazing centre. Pristupljeno: 26. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://glazingcentre.co.uk/why-and-when-to-use-laminated-glass/>
- [31] „ARX spin“, 2016. [Na internetu]. Dostupno na: www.kovinoplastika.si
- [32] Vladitto, „SMERNICE O TEHNIČKIM ZAHTEVIMA ZA UGRADNJU PROZORA, SPOLJNIH VRATA I ZID ZAVESE-PROZORSKIH FASADA“, 2024.
- [33] „Window components“, ERA Everywhere. Pristupljeno: 26. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.eraeverywhere.com/>
- [34] „Mayer & Co Beschläge GmbH“. Pristupljeno: 26. kolovoz 2024. [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.maco.eu/hr-HR/Proizvodi/Prozore/MULTI-otklopno-zaokretni-okovi>

POPIS SLIKA

Slika 1.: Primjer energetskog razreda stambeno poslovne zgrade (Izvor: [4])	9
Slika 2.: Grafički prikaz okvirnih gubitaka toplinske energije (Izvor: [6])	11
Slika 3.: Faktori oblika f_o prema veličini i razvedenosti zgrade (Izvor: [7])	12
Slika 4.: Prikaz dijelova profila prozora (Izvor: autor)	16
Slika 5.: Grafički prikaz dvoslojnog, troslojnog i četveroslojnog stakla (Izvor: autor)	17
Slika 6.: Prikaz prolaska (transmisije) i odbijanje (refleksije) svjetlosti. (Izvor: [13])	18
Slika 7.: Provjetravanje kroz šupljine profila zatvorenog prozora (Izvor: [14])	19
Slika 8.: Samoregulirajući sustavi za provjetravanje prostora zrakom u otvorenom (lijevo) i zatvorenom (desno) položaju. (Izvor: [15])	19
Slika 9.: Grafički prikaz okvira prozora, rubne zone stakla i središnje ostakljene zone. (Izvor: [16])	20
Slika 10.: Gubitak topline radijacijom, kondukcijom i konvekcijom. (Izvor: [14])	21
Slika 11.: Toplinski mostovi prozora s kompozitnim distancerima (lijevo) i aluminijskim distancerima (desno) (Izvor: [18])	22
Slika 12.: Prikaz gubitka topline preko prozora gdje su: U_g – koeficijent prijelaza topline stakla, Ψ_g – linearni koeficijent prijelaza topline stakla, U_f – koeficijent prijelaza topline okvira, $\Psi_{ugradnje}$ – linearni koeficijent prijelaza topline šupljinama između okvira prozora i špaleta, A_g – površina stakla, A_f – površina prozorskog okvira. (Izvor: [11])	23
Slika 13.: Prikaz reflektirane, apsorbirane i propuštene energije. (Izvor: [13])	26
Slika 14.: Grafički prikaz punog profila. (Izvor: [23])	28
Slika 15.: Grafički prikaz profila s komorama. (Izvor: [24])	29
Slika 16.: Grafički prikaz razina brtvljenja pri ugradnji prozora: unutarnja razina (1), srednja razina (2) i vanjska razina (3). (Izvor: [11])	36
Slika 17.: Puni profil drvenog prozorskog okvira (Izvor: [27])	40
Slika 18. : Aluminijski profil s prekinutim toplinskim mostom (Izvor: [28])	41
Slika 19. : Aluminijski profil s neprekinutim toplinskim mostom (Izvor: [29])	42
Slika 20.: Grafički prikaz poprečnog presjeka PVC 6-komornog profila s čeličnim ojačanjima označenim plavom bojom. (Izvor: [24])	43
Slika 21.: Primjer staklenih ploča i njihovih kombinacija (Izvor: [30])	47
Slika 22.: Grafički prikaz i oznake načina otvaranja prozora (Izvor: [31])	48
Slika 23.: Ilustracija okivanja prema razredu sigurnosti (Izvor: [33])	49
Slika 24.: Šarka (Izvor: [34])	50
Slika 25.: Srednji zatvarač (Izvor: [34])	50
Slika 26.: Škare (Izvor: [35])	50

POPIS TABLICA

Tablica 1.: Primjer rekapitulacije proračuna potrebne energije zgrade (Izvor: [4])	9
Tablica 2.: Energetski razredi zgrade prema specifičnoj godišnjoj potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje (Izvor: [3])	13
Tablica 3.: Energetski razredi zgrade prema primarnoj energiji (Izvor: [3])	13
Tablica 4.: Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade i zgrade gotovo nulte energije grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više. (Izvor: [9])	14
Tablica 5.: Vrijednosti koeficijenta Ψ_g ovisno o materijalu na primjeru PVC prozora s dvoslojnim staklom ispunjenim argonom. (Izvor: [19])	22
Tablica 6.: Reprezentativne U – vrijednosti fiksiranih vertikalnih prozora (Izvor: [20])	24
Tablica 7.: Najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaska topline, U [W/(m ² · K)], građevnih dijelova novih zgrada i nakon zahvata na postojećim zgradama (Izvor: [8])	26
Tablica 8.: Računske vrijednosti stupnja propuštanja ukupne energije kroz ostakljenje za slučaj okomitog upada sunčeva zračenja (Izvor: [8])	27
Tablica 9.: Prikaz vrijednosti intenziteta zvuka u svakodnevnom životu (Izvor: [21])	27
Tablica 10.: Najviše dopuštene razine buke L [dB] u zatvorenim boravišnim prostorima po zonama (Izvor: [25])	30
Tablica 11.: Razredi zrakopropusnosti prozora, balkonskih vrata i krovnih prozora. (Izvor: [8])	31
Tablica 12.: Faktor umanjenja naprave za zaštitu od sunčeva zračenja. (Izvor: [8])	32
Tablica 13.: Približna usporedba prednosti i nedostataka vrsta prozora. (Izvor: [12])	44